

TUGAS AKHIR

ANALISIS LAJU PERPINDAHAN PANAS PADA TUNGKU PEMBAKARAN UNTUK PROSES PENGERINGAN GABAH PADI DENGAN *RICE DRYING BOX* MENGGUNAKAN SEKAM PADI DAN TEMPURUNG KELAPA

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

Disusun Oleh:

ARYA AMANDA P
2007230007



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2025**

HALAMAN PENGESAHAN

Penelitian Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Arya Amanda P
NPM : 2007230007
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Tugas Akhir : Analisis Laju Perpindahan Panas Pada Tungku
Pembakakaran Untuk Proses Pengeringan Gabah
Padi Dengan *Rice Drying Box* Menggunakan
Sekam Padi Dan Tempurung Kelapa
Bidang ilmu : Konversi Energi

Telah berhasil dipertahankan dihadapan tim penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, Februari 2025

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I



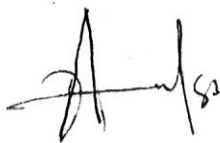
Muharnif M., S.T., M.Sc.

Dosen Penguji II



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

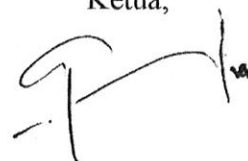
Dosen Penguji III



Arya Rudi Nasution, S.T., M.T

Program Studi Teknik Mesin

Ketua,



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

ABSTRAK

Penggunaan tungku pembakaran biomassa sebagai sumber panas untuk pengeringan gabah telah menjadi alternatif yang menarik. Bahan bakar seperti sekam padi dan tempurung kelapa tersedia melimpah dan dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan. Menurut penelitian sebelumnya, laju perpindahan panas pada tungku biomassa sangat dipengaruhi oleh kecepatan udara yang diberikan. Pada bahan bakar tempurung kelapa, laju perpindahan panas keseluruhan meningkat dari 15.272 watt pada kecepatan udara 8,5 m/s menjadi 23.326 watt pada kecepatan 14,5 m/s. Tujuan dari penelitian ini dilakukan adalah Menganalisis laju perpindahan panas pada tungku pembakaran untuk proses pengeringan gabah padi, Seberapa besar pengaruh energi panas pada box pengering mempengaruhi pengurangan kadar air pada gabah padi. Uji coba alat dilakukan di desa tanjung gusti dusun 3 kecamatan galang dengan gabah padi sebanyak 80 kg. Jadi pada setelah proses pengeringan gabah padi mengalami penurunan kadar air sebesar 7,5 %. Jika kadar air awal pada gabah adalah 21% maka kadar air pada gabah setelah dikeringkan adalah 21% - 7,5 %. Jadi kadar air pada gabah setelah dikeringkan adalah 13,5%. Laju perpindahan panas tertinggi pada sisi tungku atas dan bawah sebesar 1321,4 W. Energi yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu ruang pemanas adalah sekitar 58,35 kJ.

Kata kunci : Perpindahan panas, Tungku pembakaran, Temperatur, Pengeringan gabah

ABSTRACT

The use of biomass furnaces as a heat source for drying rice has become an attractive alternative. Fuels such as rice husks and coconut shells are abundantly available and can be used as renewable energy sources. According to previous studies, the rate of heat transfer in biomass furnaces is greatly influenced by the air velocity provided. In coconut shell fuel, the overall heat transfer rate increased from 15,272 watts at an air velocity of 8.5 m/s to 23,326 watts at a velocity of 14.5 m/s. The purpose of this study was to analyze the rate of heat transfer in the furnace for the drying process of rice grain, how much influence does the heat energy in the drying box affect the reduction of water content in rice grain. The trial of the tool was carried out in Tanjung Gusti Village, Hamlet 3, Galang District with 80 kg of rice grain. So after the drying process, the rice grain experienced a decrease in water content of 7.5%. If the initial water content in the rice is 21%, then the water content in the rice after drying is 21% - 7.5%. So the water content of the grain after drying is 13.5%. The highest heat transfer rate on the upper and lower sides of the furnace is 1321.4 W. The energy required to raise the temperature of the heating chamber is about 58.35 kJ.

Keywords: Heat transfer, Furnace, Temperature, Drying of grain

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini.

Nama :Arya Amanda P
Tempat, Tanggal Lahir :Manunggal, 30 Mei 2002
NPM :2007230007
Fakultas :Teknik
Program Studi :Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan tugas akhir saya yang berjudul: “ANALISI LAJU PERPINDAHAN PANAS PADA TUNGKU PEMBAKARAN UNTUK PROSES PENGERINGAN GABAH PADI DENGAN *RICE DRYING BOX* MENGGUNAKAN SEKAM PADI DAN TEMPURUNG KELAPA”.

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

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

Dengan demikian pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan atau paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, Februari 2025
Saya Yang Menyatakan,



Arya Amanda P

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur tak henti penulis panjatkan atas kehadiran ALLAH SWT yang senantiasa melimpahkan Rahmat serta karunianya dan atas izinnya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Analisis Laju Perpindahan Panas pada Tungku Pembakaran untuk Proses Pengeringan Gabah Padi dengan Rice Drying Box Menggunakan Sekam Padi dan Tempurung Kelapa”.

Banyak pihak telah membantu penulis dalam menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini, untuk itu pada kesempatan kali ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini, diantaranya yaitu kepada :

1. Bapak Arya Rudi Nasution S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing yang senantiasa membimbing penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Munawar Alfansyuri Siregar S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Chandra A Siregar S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Ahmad Marabdi Siregar S.T., M.T., selaku Sekertaris Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu dan pelajaran untuk membuka dan menambah wawasan penulis.
6. Kedua orang tua penulis yang telah berjasa besar dalam membesarkan dan membiayai segala kebutuhan serta studi penulis di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Dan atas doa dan semangat yang diberikan penulis bisa menyelesaikan proposal tugas akhir ini.
7. Bapak/Ibu Staff Administrasi Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Teman-Teman stanbuk 2020 kelas A2 siang yang telah Bersama berjuang, memberi semangat dan saling membantu selama masa perkuliahan.

Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran

bagi penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu keteknik-mesinan.

Medan, 17 Januari 2025

Arya Amanda P
2007230007

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iv
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3. Ruang Lingkup	2
1.4. Tujuan Penelitian	2
1.5. Manfaat Penelitian	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Kajian Terdahulu	4
2.2 Padi (<i>Oryza sativa</i> L)	5
2.3 Prinsip Dasar Pengeringan	6
2.3 Proses Pengeringan	7
2.4 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Pengeringan	9
2.5 Tipe Pengering Gabah	9
2.6 Komponen Utama Pada Alat Pengering Padi	13
2.6.1 <i>Box</i> (Wadah Gabah Padi)	13
2.6.2 Tungku Pembakaran	14
2.6.3 <i>Thermokopel</i>	15
2.6.4 Node MCU ESP 32	16
2.6.5 <i>Fan</i>	16
2.7 Teori Perpindahan Panas	17
2.7.1 Perpindahan Panas Secara Konduksi	17
2.7.2 Perpindahan Panas Konveksi	20
2.7.3 Perpindahan Panas Radiasi	23
2.8 Bahan Bakar Biomassa dan Tungku Biomassa	25
2.8.1 Bahan Bakar Biomassa Sekam Padi	26
2.8.2 Bahan Bakar Biomassa Tempurung Kelapa	27
2.9 Kombinasi Sekam Padi dan Tempurung Kelapa	28
2.10 Teknologi Pengendalian Suhu	29
BAB 3 METODE PENELITIAN	30
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	30
3.1.1 Tempat Penelitian	30
3.1.2 Waktu Penelitian	30
3.2 Bahan dan Alat Penelitian	30
3.2.1 Bahan	30
3.2.2 Alat Penelitian	32
3.3 Bagan Alir Penelitian	34

3.4 Rangkaian Alat	35
3.5 Prosedur Penelitian	36
3.5.1 Persiapan Alat dan Bahan	36
3.5.2 Pelaksanaan Eksperimen	36
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Hasil Penelitian	37
4.2 Pembahasan	41
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	52
5.1 Kesimpulan	52
5.2 Saran	52
DAFTAR PUSTAKA	53
LAMPIRAN	55

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Konduktivitas termal berbagai bahan	18
Tabel 2.2 Nilai Kalor Biomassa	25
Tabel 3.1 Waktu Kegiatan Penelitian	30
Tabel 4.1 Laju Perpindahan panas pada setiap sisi tungku	40
Tabel 4.2 Konduktivitas termal berbagai bahan	43
Tabel 4.3 Koefisien Perpindahan panas konveksi	43

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Struktur gabah	5
Gambar 2. 2 Pengeringan gabah secara alami	7
Gambar 2. 3 Flatbed Dryer	10
Gambar 2. 4 Screw Conveyor	11
Gambar 2. 5 Solar Tunel Dryer	12
Gambar 2. 6 Drum Dryer	13
Gambar 2. 7 Pembatas bak penampung gabah dan ruang pemanas	13
Gambar 2. 8 Rancangan Tungku	14
Gambar 2. 9 Spesifikasi rancangan tungku	15
Gambar 2. 10 <i>Thermokopel</i>	16
Gambar 2. 11 <i>Node MCU ESP 32</i>	16
Gambar 2. 12 <i>Fan</i>	17
Gambar 2. 13 perpindahan panas konduksi steady steady-state	18
Gambar 2. 13 Perpindahan Panas Konveksi	21
Gambar 2. 15 Spektrum gelombang electromagnet	23
Gambar 2. 14 Sekam Padi	26
Gambar 2. 17 Tempurung Kelapa	27
Gambar 2. 18 Kombinasi Sekam Padi dan Tempurung Kelapa	28
Gambar 2. 19 Ilustrasi Perpindahan Panas Dari Tungku	29
Gambar 3. 1 Sekam Padi	31
Gambar 3. 2 Tempurung Kelapa	31
Gambar 3. 3 Gabah Padi	32
Gambar 3. 4 Rice Drying Box (Kotak Pengeringan Padi)	32
Gambar 3. 5 Termokopel	33
Gambar 3. 6 Termometer	33
Gambar 3. 7 Timbangan Digital	33
Gambar 3. 8 Diagram Alir Penelitian	34
Gambar 4. 1 Alat Setelah Selesai Dirakit	36
Gambar 4. 2 Pembakaran Pada Tungku	38
Gambar 4. 3 Temperatur Pada Tungku	38
Gambar 4. 3 Temperatur Ruang Pemanas	39
Gambar 4. 4 Temperatur Pada Gabah	39
Gambar 4. 5 Suhu pada proses pengeringan gabah	40
Gambar 4. 6 Pengukuran Massa Gabah	41
Gambar 4.7 Spesifikasi bak penampung gabah	42

DAFTAR NOTASI

Simbol	Keterangan	Satuan
Q	Laju Perpindahan Kalor	(Joule)
K	Konduktivitas <i>Thermal</i>	(W/K)
A	Luas Penampang	(M ²)
ΔT	Perbedaan Temperatur	(°C)
H	Koefisien Perpindahan Panas Konveksi	(W/M ² .K)
ρ	Massa jenis baja	(kg/m ³)
C_p	Kapasitas panas jenis udara	(J/kg.K)
Σ	Konstanta Stefan Boltzman	(5,669x10 ⁻⁸ W/m ² .K ⁴)
M _i	Massa Awal Bahan	(gr)
M _d	Massa Akhir Bahan	(gr)
W _a	Laju Perpindahan Biomassa	(gr/s)
T	Waktu	(s)
Q _{out}	Kalor Yang Digunakan	(kJ)
Q _{in}	Energi Yang Dihasilkan	(kJ)
H	Efesiensi Pengeringan	(%)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara agraris dengan produksi padi yang signifikan. Setelah panen, gabah padi harus segera dikeringkan untuk mencegah kerusakan dan penurunan kualitas. Pengeringan tradisional yang mengandalkan sinar matahari memiliki keterbatasan, terutama saat kondisi cuaca tidak mendukung. Oleh karena itu, diperlukan metode pengeringan buatan yang efisien untuk memastikan kualitas gabah tetap terjaga.

Dalam proses pengeringan buatan, sumber panas yang digunakan memiliki peran penting dalam menentukan efisiensi perpindahan panas serta konsumsi bahan bakar. Tungku pembakaran yang menggunakan biomassa, merupakan solusi yang ramah lingkungan dan ekonomis karena memanfaatkan limbah pertanian sebagai sumber energi (Susanto et al., 2021).

Secara umum, pengeringan gabah dibedakan menjadi 2 jenis yaitu pengeringan gabah alami (menggunakan energi matahari) dan buatan (menggunakan alat pengering). Pengeringan alami menggunakan energi matahari dengan menjemur langsung di bawah sinar matahari, sedangkan pengeringan buatan menggunakan alat pengering. Pengeringan tradisional, atau pemanfaatan sinar matahari, adalah cara pengeringan yang sering digunakan oleh petani padi. Menggigit butiran gabah padi dilakukan untuk mengetahui apakah gabah sudah kering atau memiliki kadar air rendah. Bunyi "kletik" menunjukkan bahwa gabah sudah kering dan siap disimpan. Karena hanya berdasarkan pengalaman petani tanpa mengetahui jumlah air yang sebenarnya, pengujian kekeringan tersebut dianggap akurat (Raybian Nur, 2020).

Penggunaan tungku pembakaran biomassa sebagai sumber panas untuk pengeringan gabah telah menjadi alternatif yang menarik. Bahan bakar seperti sekam padi dan tempurung kelapa tersedia melimpah dan dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan. Menurut penelitian sebelumnya, laju perpindahan panas pada tungku biomassa sangat dipengaruhi oleh kecepatan udara yang diberikan. Pada bahan bakar tempurung kelapa, laju perpindahan panas

keseluruhan meningkat dari 15.272 watt pada kecepatan udara 8,5 m/s menjadi 23.326 watt pada kecepatan 14,5 m/s (Sulaiman, Ilham, 2018).

Dengan memanfaatkan limbah pertanian sebagai bahan bakar, selain mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, juga dapat meningkatkan nilai tambah limbah tersebut. Oleh karena itu, analisis laju perpindahan panas pada tungku pembakaran dengan bahan bakar sekam padi dan tempurung kelapa menjadi penting untuk mengoptimalkan proses pengeringan gabah padi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pada latar belakang masalah diatas. Maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana karakteristik perpindahan panas pada tungku pembakaran dalam sistem pengeringan gabah padi?
2. Seberapa besar laju perpindahan panas yang terjadi dalam tungku pembakaran yang menggunakan sekam padi dan tempurung kelapa sebagai bahan bakar?

1.3. Ruang Lingkup

Penelitian ini dibatasi pada analisis laju perpindahan panas pada tungku pembakaran yang menggunakan sekam padi dan tempurung kelapa sebagai bahan bakar utama dalam sistem Rice Drying Box. Fokus utama penelitian ini adalah:

1. Pengujian dilakukan menggunakan *rice drying box* yang dirancang untuk dialiri panas dari tungku biomassa.
2. Pengukuran dibatasi pada tungku pembakaran dan pada tiap sisi tungku.
3. Tungku pembakaran yang digunakan pada penelitian menggunakan bahan plat baja dengan ketebalan 1,6 mm.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis laju perpindahan panas pada tungku pembakaran untuk proses pengeringan gabah padi.
2. Seberapa besar pengaruh energi panas pada box pengering mempengaruhi pengurangan kadar air pada gabah padi ?

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Memberikan wawasan mengenai efisiensi perpindahan panas pada tungku pembakaran yang menggunakan bahan bakar biomassa.
2. Menjadi referensi bagi petani dan industri pertanian dalam memilih metode pengeringan yang lebih efektif dan hemat energi.
3. Menunjang pengembangan teknologi pengeringan gabah berbasis energi terbarukan untuk meningkatkan efisiensi produksi beras.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Terdahulu

Sejumlah penelitian telah membahas tentang pengeringan gabah. Secara umum penelitian-penelitian tersebut dapat dikelompokkan ke dalam beberapa kategori berdasarkan fokusnya.

Beberapa studi tentang Penggunaan Mikrokontroler dalam Otomatisasi Pengeringan, seperti yang dilakukan oleh Amram & Wardana (2023), Implementasi mikrokontroler dalam mesin pengering gabah memungkinkan kontrol suhu otomatis, yang meningkatkan efisiensi dan kualitas hasil pengeringan dibandingkan metode manual. Sistem ini memungkinkan pemantauan real-time suhu dan kadar air, sehingga mengurangi kesalahan manusia dalam proses pengeringan.

Studi lain tentang Pemanfaatan Biomassa Sebagai Sumber Energi Alternatif, seperti yang dilakukan oleh Elsanto et al. (2024), berbeda dari penelitian sebelumnya yang masih mengandalkan pengeringan konvensional atau listrik, penelitian ini menekankan penggunaan biomassa seperti sekam padi, sabut kelapa, dan pelepah kelapa sawit sebagai sumber panas utama. Biomassa terbukti lebih hemat energi, dengan efisiensi pengeringan mencapai 88,5% saat menggunakan sekam padi dibandingkan bahan bakar lainnya.

Beberapa penelitian tentang Optimasi Laju Pengeringan dan Efisiensi energi, seperti yang dilakukan oleh Elsanto et al. (2024) dan Suhelmi et al. (2022), menunjukkan bahwa laju pengeringan terbaik dicapai dengan pelepah kelapa sawit pada suhu 71,4°C. Studi ini juga membandingkan efisiensi pengeringan antara flat bed dryer dan batch dryer, menemukan bahwa flat bed dryer memiliki efisiensi 22,03% saat digunakan untuk mengeringkan 20 ton gabah dalam 20 jam.

Penelitian tentang pengeringan gabah telah banyak dilakukan, namun masih terdapat beberapa kesenjangan penelitian (research gap) yang perlu diisi. Pertama, Sebagian besar penelitian masih mengandalkan pengeringan tradisional dengan sinar matahari yang bergantung pada cuaca dan memerlukan waktu lama. Kedua, masih kurang penelitian yang membandingkan berbagai sumber energi pengeringan, seperti biomassa, listrik, dan kombinasi energi surya-biomassa, untuk menentukan metode yang paling efisien dan ramah lingkungan. Ketiga, Kurangnya

implementasi sistem berbasis mikrokontroler yang dapat mengontrol suhu dan kelembaban untuk meningkatkan efektivitas pengeringan.

Penelitian ini menawarkan kebaruan dalam menganalisis laju perpindahan panas pada tungku pembakaran untuk proses pengeringan gabah padi dengan *Rice Drying Box* berbahan bakar sekam padi dan tempurung kelapa. Dengan tujuan meningkatkan efisiensi energi dan kualitas gabah kering, studi ini diharapkan dapat menjadi solusi terhadap keterbatasan metode tradisional yang masih digunakan oleh petani.

2.2 Padi (*Oryza sativa* L)

Padi (*Oryza sativa* L) merupakan salah satu komoditas strategis yang mendapatkan prioritas dalam pembangunan sektor pertanian di Indonesia. Secara historis, tanaman padi diperkirakan berasal dari wilayah Asia Timur dan bagian utara India. Padi dapat tumbuh pada wilayah dengan rentang garis lintang 30° LU hingga 30° LS serta mampu beradaptasi pada berbagai ketinggian, mulai dari daerah dataran rendah hingga ketinggian 2500 meter di atas permukaan laut.



Gambar 2. 5 Struktur gabah

(Raybian Nur & Muhammad Arsad Al Banjari, 2020)

Di Indonesia, tanaman padi menunjukkan kemampuan adaptasi yang optimal pada kisaran ketinggian 0–1500 meter di atas permukaan laut. Suhu optimum untuk pertumbuhan padi berkisar antara 30–37°C, dengan batas toleransi suhu maksimum mencapai 40–42°C (Sadjat, 1976 dalam Maschuri, A., 2007). Selain itu, karakteristik fisiologis gabah menunjukkan kecenderungan mudah rontok, terutama ketika kadar airnya berada di bawah 20% (Stout, 1966).

2.3 Prinsip Dasar Pengeringan

Pengeringan merupakan penghidratan, yang berarti menghilangkan air dari suatu bahan. Proses pengeringan berlaku apabila bahan yang dikeringkan kehilangan sebahagian atau keseluruhan air yang dikandungnya. Proses utama yang terjadi pada proses pengeringan adalah penguapan. Penguapan terjadi apabila air yang dikandung oleh suatu bahan teruap, yaitu apabila panas diberikan kepada bahan tersebut. Panas ini dapat diberikan melalui berbagai sumber, seperti kayu api, minyak dan gas, arang ataupun tenaga surya (Hasibun, 2005 dalam Amram, 2023: 7). Menurut Maurif (2013), pengeringan adalah proses perpindahan panas dan massa yang kompleks yang sangat tergantung pada suhu, kelembapan, dan kecepatan aliran udara.

Proses pengeringan melibatkan perpindahan panas dan massa secara simultan. Panas ditransfer dari medium pemanas ke bahan, menguapkan air yang terkandung di dalamnya. Uap air yang terbentuk kemudian berpindah melalui struktur bahan menuju medium sekitarnya. Selama proses ini, cairan di dalam bahan bergerak keluar hingga kadar air mencapai tingkat yang diinginkan (Ramli et al., 2017).

Mekanisme pengeringan dijelaskan melalui teori tekanan uap, di mana air yang diuapkan terdiri dari air bebas dan air terikat. Air bebas di permukaan bahan menguap terlebih dahulu, kemudian diikuti oleh migrasi air dari dalam bahan akibat perbedaan konsentrasi atau tekanan uap antara bagian dalam dan luar bahan (Henderson & Perry, 1976 dalam Deramawan, 2003)

Pengering dilakukan dengan tujuan untuk mengurangi kadar air bahan sampai tingkat di mana aktivitas mikroorganisme dan enzim yang menyebabkan pembusukan Tujuan pengeringan adalah untuk mengetahui bahan dapat disimpan lebih lama dan tahan lama (Riansyah et al., 2013).

Pada dasarnya proses pengeringan dilakukan dengan dua cara, adalah sebagai berikut:

1. Pengeringan Secara Alami

Penggunaan panas sinar matahari saat penjemuran untuk mengeringkan gabah yang telah dipanen. hal ini mengurangi jumlah air pada gabah dan menghasilkan padi yang lebih baik. Pengering gabah basah dengan sinar matahari

disebut penjemur. Penjemuran harus dilakukan dengan menggunakan alas untuk menghindari campuran kotoran, menghilangkan butiran gabah, memudahkan pengumpulan gabah, dan memastikan penyebaran panas yang merata.



Gambar 2. 6 Pengeringan gabah secara alami

(Sumber: Amram, 2023)

2. Pengeringan Secara Buatan

Pada musim hujan para petani takut terkena hujan dan membuat gabah rusak karena kadar air yang tinggi. Jika, pengeringan gabah tidak dilakukan dengan cepat, akan merusak kualitas gabah dan menyebabkan butir padi menguning, yang mengakibatkan kerugian bagi petani. Petani dapat mencari pengering buatan, alat pengering buatan (dryer), yang menggunakan panas buatan mesin dan dapat menggunakan udara dipanaskan, karena waktu panen seluruhnya tidak dilakukan pada waktu kemarau.

2.3 Proses Pengeringan

Proses pengeringan terjadi akibat penguapan air dari bahan ke udara karena perbedaan kandungan uap air. Agar bahan dapat mengering, udara harus memiliki kelembaban nisbi lebih rendah dari bahan yang dikeringkan (Henderson & Perry, 1976 dalam Deramawan, 2003). Mekanisme pengeringan dijelaskan melalui teori tekanan uap, di mana air yang diuapkan terdiri dari air bebas dan air terikat. Air bebas di permukaan bahan menguap terlebih dahulu, kemudian diikuti oleh migrasi air dari dalam bahan akibat perbedaan konsentrasi atau tekanan uap antara bagian dalam dan luar bahan (Henderson & Perry, 1976 dalam Deramawan, 2003).

Saat mengeringkan zat padat, sejumlah kecil cairan dipisahkan dari bahan dan kandungan sisa cairan dalam zat padat dikurangi ke tingkat rendah yang dapat diterima. Pengeringan biasanya merupakan langkah terakhir dalam serangkaian operasi, dan hasil pengeringan biasanya siap untuk dikemas. Pengeringan melibatkan dua proses utama yang berlangsung secara simultan:

1. Proses perpindahan panas yaitu sebuah proses yang terjadi karena perbedaan temperatur, panas yang dialirkan akan meningkatkan suhu bahan yang lebih rendah yang menyebabkan tekanan uap air didalam bahan lebih tinggi dari tekanan uap air di udara.
2. Proses perpindahan massa terjadi karena kelembaban relatif udara pengering lebih rendah dibandingkan kelembaban relatif bahan. Panas yang dipindahkan melintasi permukaan bahan meningkatkan tekanan uap air bahan tersebut, sehingga tekanan uap air bahan tersebut lebih tinggi dari tekanan uap air di udara.(Syaiful dalam Amram, 2023).

Pada proses pengeringan, terdapat dua tahapan laju pengeringan: laju pengeringan konstan dan laju pengeringan menurun.

1. Laju Pengeringan Konstan

Tahap ini terjadi pada awal proses pengeringan, di mana perpindahan air dari dalam bahan lebih lambat dibandingkan penguapan air di permukaan. Selama periode ini, kecepatan pengeringan relatif stabil karena kelembaban permukaan bahan tetap jenuh.

2. Laju Pengeringan Menurun

Setelah kadar air mencapai titik tertentu yang disebut kadar air kritis, laju pengeringan mulai menurun. Pada tahap ini, air dalam bahan harus berpindah dari bagian dalam ke permukaan sebelum menguap, sehingga kecepatan pengeringan semakin berkurang.

Kedua periode ini dibatasi oleh kadar air kritis, yaitu kadar air di mana laju perpindahan air dari dalam bahan menjadi faktor pembatas utama dalam proses pengeringan (Henderson & Perry, 1976 dalam Deramawan, 2003).

2.4 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Pengeringan

1. Faktor yang berhubungan dengan udara pengering. Golongan udara pengering mencakup temperatur, kecepatan aliran fluida, dan kelembaban udara.

a. Temperatur

Proses perpindahan panas dan penguapan air dari permukaan bahan dipengaruhi oleh perbedaan suhu antara medium pemanas dan bahan. Tingkat udara yang diberikan akan menghasilkan uap air.

b. Kecepatan Aliran Fluida

Pergerakan udara didalam ruang pengering di pengaruhi oleh kecepatan aliran udara. Ketika udara bergerak atau bersikulasi, proses pengeringan lebih cepat. jika udara diam, kejenuhan udara meningkat, dan memperlambat proses pengeringan.

c. Kelembapan Udara

Proses pengeringan akan berjalan lebih cepat jika kelembapan udara dalam media pengeringan berkurang. Hal ini dikarenakan udara dengan kelembapan yang rendah mengandung sedikit uap air, sehingga kemampuan udara untuk mengikat uap air akan meningkat

2. Faktor yang termasuk dalam golongan sifat bahan adalah ukuran, kadar air awal, dan tekanan parsial bahan (Syahrul et al., 2016). Satuan berat digunakan untuk menunjukkan kadar air masing-masing bahan. Dua jenis basis, basah dan kering, menunjukkan kadar air. Secara teoritis, batasan maksimum basis basah adalah 100%, dan batasan maksimum basis kering adalah 100%.

2.5 Tipe Pengering Gabah

Peralatan ini digunakan untuk mengeringkan gabah. Pengering umumnya menggunakan pemanasan tidak langsung. Artinya, gabah yang dikeringkan tidak terkontaminasi oleh asap dan bau jelaga, atau bahkan abu hasil pembakaran. Alat ini didasarkan pada prinsip perpindahan panas konduksi dan konveksi. Sumber udara panas yang diperlukan dalam ruang pengering dihasilkan dari pembakaran biomassa di dalam ruang bakar, dan udara panas di dalam ruang bakar diarahkan ke ruang pengering dengan menggunakan fan. Pipa penukar panas menggunakan pipa

besi sehingga proses perpindahan panasnya cepat dan umur pipa juga sangat lama. Pipa penukar panas dibuat sebesar mungkin agar perpindahan panas lebih besar dan ruang pengering lebih cepat panas.

Ada berbagai jenis peralatan pengeringan yang ada di pasaran, seperti pengering *flatbed dryer*, *Screw Conveyor*, *Tunnel Dreyer*, *Tray Dryer*, dan *Drum Dryer*.

1. *Flatbed Dryer*

Pengering sistem “bed” yang populer di Indonesia adalah model “Box” atau dikenal juga dengan sebutan FBD (*flat bed type Dryer*). Kelemahannya adalah ketebalan lapisan gabah keringnya terbatas, namun tetap membutuhkan energi yang besar untuk mengisi dan mengeluarkan gabah.

Selain mengatasi permasalahan pengeringan gabah, diketahui juga bahwa penggunaan mesin pengering flatbed oleh petani dapat meningkatkan hasil dan kualitas beras giling. Peralatan pengeringan buatan umumnya terdiri dari sumber penggerak, kipas angin, alat pemanas, dan alat kendali. Alat pengering flat bed terdiri dari mesin penggerak, blower, oven, tangki pengering, dan cerobong asap (FBD).

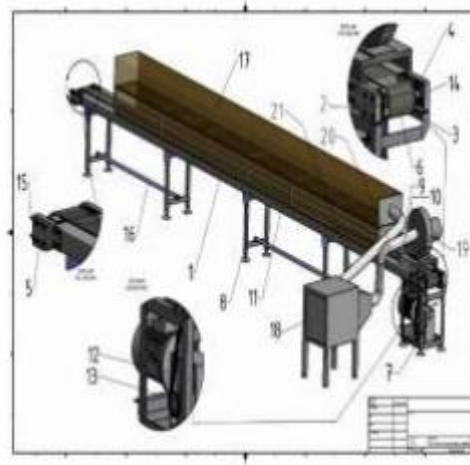


Gambar 2. 3 Flatbed Dryer (Dandy Z et al., 2022)

2. Screw Conveyor

Pengering *Konveyor Secrew* (Pengering *Konveyor Secrew*) Pengering konveyor *secrew* adalah pengering kontinu yang dipanaskan secara tidak langsung yang pada dasarnya terdiri dari *konveyor screw* horizontal (konveyor dayung) yang ditempatkan di dalam selongsong jaket silinder.

Lapisan bahan yang akan dikeringkan disalurkan secara perlahan ke atas logam melalui ruang pengering atau terowongan yang dilengkapi dengan kipas angin dan pemanas udara (tipe).



Gambar 2. 4 *Screw Conveyor* (Yefri Chan & Asyari Darius, 2018)

3. Solar Tunnel Dryer

Solar Tunnel Drying (STD) merupakan teknologi pengeringan unik yang dikembangkan di Jerman yang menggunakan energi matahari sederhana dan berbentuk terowongan.

Selama proses pengeringan dengan peralatan ini, bahan yang akan dikeringkan dikirim ke terowongan udara panas untuk dikeringkan. Material yang masuk berada di salah satu ujung terowongan dan material kering dikumpulkan di ujung terowongan yang lain. Bahan saluran keluar menyatu dengan udara masuk untuk memastikan kekeringan maksimum, dan udara keluar bersentuhan dengan udara lembab hingga udara hampir jenuh.

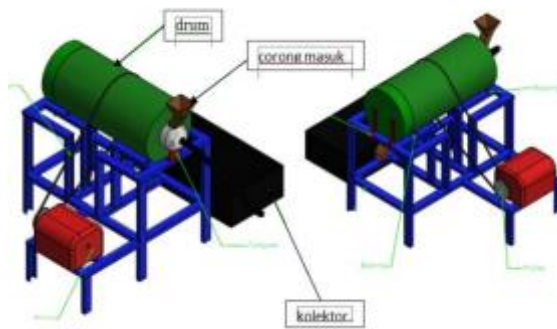


Gambar 2. 5 *Solar Tunnel Dryer* (Khatir R et al., 2021)

4. *Drum Dryer*

Pengering beras atau pengering putar disebut juga pengering drum atau pengering tabung, merupakan pengering berbentuk tabung panjang yang digunakan untuk mengeringkan bahan-bahan yang berbentuk bubuk, butiran, butiran, beras, jagung, atau bongkahan partikel berukuran besar. Mesin ini juga dilengkapi dengan kipas yang mengalirkan udara panas ke sepanjang tabung. Selain itu, pipa mesin ini dilengkapi dengan mekanisme penggerak yang memungkinkannya membalikkan bahan kering dengan sendirinya.

Cara kerja mesin ini sangat sederhana. Siapapun bisa menggunakannya dengan sedikit panduan terlebih dahulu. Saat bahan dimasukkan, tabung berputar dan ada pemanas di bawahnya. Kemudian udara panas dihembuskan ke dalam pipa dengan bantuan kipas angin hingga material di dalam pipa mengering. Dalam hal ini, kehati-hatian harus diberikan untuk menambahkan bahan secara bertahap dan berulang kali. Bahan kering secara otomatis dikeluarkan dari *hopper* pelepasan pengering putar.



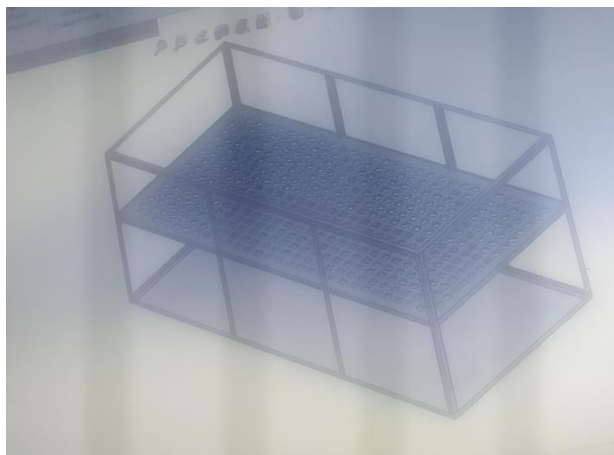
Gambar 2. 6 *Drum Dryer* (Hidayati Nur & Iskanda R, 2019)

2.6 Komponen Utama Pada Alat Pengering Padi

Adapun Komponen yang digunakan pada *rice drying box* adalah :

2.6.1 *Box* (Wadah Gabah Padi)

Box tersebut berfungsi sebagai wadah untuk mengeringkan bulir beras. Dinding kotak terbuat dari panel aluminium yang dirancang untuk menahan panas selama proses pengeringan. Bagian bawah kotak didesain menggunakan pelat pengocok yang berfungsi sebagai saluran masuk udara panas.



Gambar 2. 7 Pembatas bak penampung gabah dan ruang pemanas

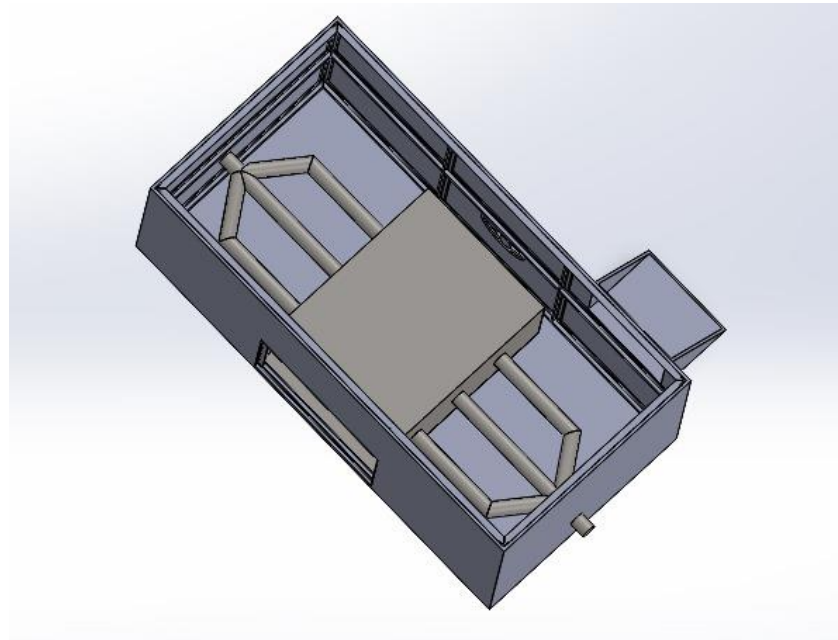
Box pengering dirancang dengan ukuran panjang 240 cm, lebar 120 cm, dan tinggi 100 cm. Box ini dapat menampung hingga 100 kg gabah padi basah untuk dikeringkan. Struktur box dibagi menjadi dua bagian dengan pembatas berupa pelat jaring. Pelat jaring berfungsi sebagai alas gabah yang akan dikeringkan, sementara di bawahnya terdapat tungku dan ruang pemanas. Ruang pemanas memiliki tinggi 60 cm, sedangkan wadah untuk menampung gabah yang dikeringkan setinggi 40 cm. Rangka box dibuat dari baja profil siku berukuran 40 × 40 mm dengan

ketebalan 2 mm. Ruang pemanas ditutup dengan pelat baja setebal 1,6 mm, sedangkan wadah gabah menggunakan pelat aluminium setebal 2 mm.

2.6.2 Tungku Pembakaran

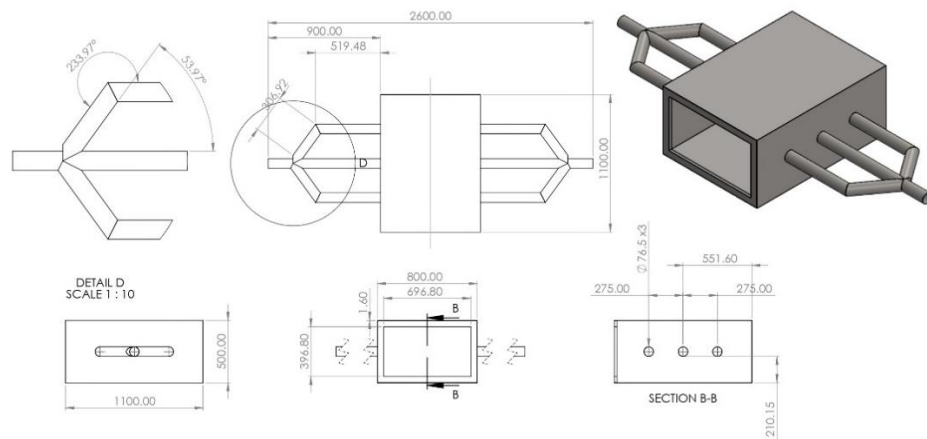
Tungku pembakaran berfungsi sebagai tempat pembakaran tempurung kelapa dan sekam padi, yang menjadi sumber panas untuk proses pengeringan gabah. Tungku ini dirancang berada di antara ruang pemanas dan tepat di bawah wadah penampung gabah dalam box pengering.

Desain ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi perpindahan panas, menggantikan sistem sebelumnya yang masih menggunakan blower. Posisi tungku dalam box pengering dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2. 8 Rancangan Tungku

Tungku pembakaran pada box pengering dibuat dari pelat baja setebal 1,6 mm. Tungku ini berukuran panjang 85 cm, lebar 110 cm, dan tinggi 50 cm. Detail lebih jelas dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2. 9 Spesifikasi rancangan tungku

Pada tungku pembakaran juga dirancang memiliki tempat pembuangan gas (asap) hasil pembakaran pada tungku (exhaust). Exhaust pada tungku pembakaran dirancang menggunakan pipa dengan bahan galvanis. Perancangan exhaust bertujuan untuk menjaga nyala api pada tungku sesuai dengan prinsip pembakaran yang harus memiliki tempat udara masuk dan udara keluar pada tempat pembakaran.

2.6.3 Thermokopel

Temperature dari sebuah objek secara kualitatif ditentukan dari sensasi panas atau dingin yang dirasakan dengan menyentuh obyek. Secara teknis, temperatur adalah pengukuran energi kinetik rata-rata partikel dari sebuah sampel materi, diukur dalam satuan derajat Celcius atau dalam Kelvin. Termokopel merupakan salah satu sensor yang umum digunakan untuk mengukur temperatur. Beberapa keuntungan menggunakan termokopel diantaranya memiliki struktur bentuk yang sederhana, mudah digunakan, akurat, inersia panas kecil, stabil dan mampu mengukur temperatur dalam jangkauan yang lebar.

Termokopel merupakan sensor suhu yang dibentuk dari 2 jenis logam yang berbeda dan ujung dari 2 logam tersebut direkatkan bersamaan. Pada termokopel dikenal istilah *hot-Junction* dan *cold-junction*. *Hot-Junction* berfungsi sebagai titik pengukuran, sedangkan *cold-Junction* berfungsi sebagai titik referensi. *Cold-Junction* dapat dihubungkan dengan sumber panas dengan suhu 0°C atau dihubungkan dengan rangkaian elektronika untuk mengkompensasi suhu 0°C tersebut. Apabila pada sambungan termokopel terkena panas, maka akan timbul

tegangan Seebeck yang merupakan fungsi hubungan antara suhu dan komposisi kedua logam. Apabila terdapat sedikit perubahan suhu diantara kedua logam, tegangan Seebeck akan berbanding linear dengan temperature (Jiwatami A M A, 2022).

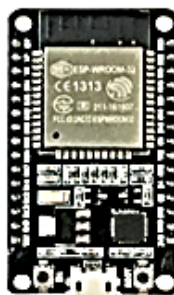


Gambar 2. 10 *Thermokopel*

(Sumber: <https://blog.unnes.ac.id>)

2.6.4 Node MCU ESP 32

Node MCU ESP 32 adalah mikrokontroler yang dikenalkan oleh Espressif System merupakan penerus dari mikrokontroler ESP 8266. Perbedaan yang menjadi keunggulan mikrokontroler ESP 32 dibanding dengan mikrokontroler yang lain, mulai dari pin out nya yang lebih banyak, *pin analog* lebih banyak, memori yang lebih besar, terdapat *bluetooth 4.0 low energy* serta tersedia *WiFi* yang memungkinkan untuk mengaplikasikan Internet of Things dengan mikokontroler ESP32 (Suriana I W et al., 2021).



Gambar 2. 11 *Node MCU ESP 32*

(Sumber: Anggrawan A et al., 2022)

2.6.5 *Fan*

Fan adalah mengatur *volume* panas udara agar ruangan yang tidak mengalami suhu panas dan dapat bersirkulasi udara secara normal. Pada umumnya kipas angin dimanfaatkan untuk pendingin udara, penyegar udara, ventilasi (*exhaust fan*), atau pengering (umumnya memakai komponen penghasil panas).

Terdapat dua jenis kipas angin berdasarkan arah angin yang dihasilkan, yaitu kipas angin *centrifugal* (angin mengalir searah dengan poros kipas) dan kipas angin *axial* (angin mengalir secara paralel dengan poros kipas) (Rachmat Aulia et al., 2021).



Gambar 2. 12 *Fan*

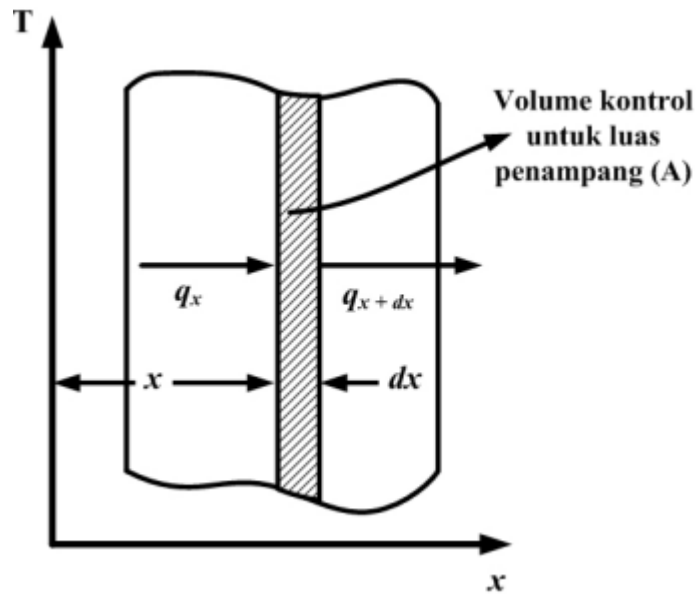
(Sumber: Navindran A et al., 2021)

2.7 Teori Perpindahan Panas

Panas adalah salah satu energi yang dapat dipindahkan dari suatu tempat ketempat lain, tetapi tidak dapat diciptakan dan dimusnahkan sama sekali (hukum kekekalan energi). Dalam suatu proses, panas dapat mengakibatkan terjadinya kenaikan suhu suatu zat dan atau perubahan tekanan, reaksi kimia dan kelistrikan. Pada umumnya perpindahan panas dapat terjadi dengan 3 cara, yaitu secara konduksi, konveksi, dan radiasi.

2.7.1 Perpindahan Panas Secara Konduksi

Konduksi merupakan perpindahan panas antara molekul-molekul yang saling berdekatan antar satu dengan yang lainnya dan tidak diikuti dengan perpindahan molekul-molekul tersebut secara fisik. Molekul-molekul benda yang panas bergetar lebih cepat dibandingkan dengan molekul-molekul benda yang dalam keadaan dingin. Getaran-getaran yang cepat ini, tenaganya dilimpahkan kepada molekul disekelilingnya sehingga menyebabkan getaran yang lebih cepat sehingga akan memberikan panas. Panas yang dipindahkan sebagai energi kinetik dari suatu molekul ke molekul lainnya, tanpa molekul itu berpindah tempat. Daya hantar panas konduksi (k) tiap zat berbeda-beda. Rumus daya hantar tinggi disebut penghantar panas (konduktor panas) dan yang rendah adalah penyekat panas (isolator panas). (Holman JP, 1994).



Gambar 2. 17 Skematik perpindahan panas konduksi steady state-satu dimensi pada bidang datar (dalam koordinat empat persegi panjang) (Perpindahan Panas, Ali Hasimi, 2015)

Tabel 2.1. Konduktivitas termal berbagai bahan (Zemansky, 2002)

Bahan (Logam)	Daya hantar, w/m.K	Bahan (Lain-lain)	Daya hantar, w/m.K	Bahan (Gas)	Daya hantar, w/m.K
Alumunium	205,0	Bata	0,6	Udara	0,0024
Kuningan	109,0	Merah	0,15	Argon	0,016
Tembaga	385,0	Bata	0,8	Helium	0,14
Timbal	34,7	Isolasi	0,04	Hidrogen	0,14
Perak	406,0	Beton	0,8	Oksigen	0,023
Baja	50,2	Gabus	0,04		
Raksa	8,3	Kaca	0,01		
Besi	73	Batu			
		<i>Styrofoam</i>			

Jika suatu benda terdapat gradien suhu, maka akan terjadi perpindahan energi dari bagian bersuhu tinggi kebagian bersuhu rendah. Kita katakan bahwa energi berpindah secara konduksi atau hantaran dan bahwa laju perpindahan kalor itu berbanding dengan gradien suhu normal.

$$Q = \frac{k \cdot A(T_1 - T_2)}{L}$$

Keterangan :

k = konduktivitas termal (W/m.K)

L = ketebalan material (m)

T_1 = Temperatur dalam tungku (°C)

T_2 = Temperatur Luar (°C)

Kelebihan Perpindahan Panas Konduksi :

1. Efisiensi Energi yang Tinggi
 - Konduksi memungkinkan perpindahan panas langsung melalui material tanpa membutuhkan media tambahan seperti fluida atau gas, sehingga mengurangi kehilangan energi.
 - Menurut Incropera & DeWitt (2011), perpindahan panas konduksi memiliki efisiensi tinggi dalam material dengan konduktivitas termal yang baik, seperti logam.
2. Proses yang Stabil dan Terprediksi
 - Perpindahan panas terjadi secara kontinu tanpa adanya gangguan eksternal seperti aliran udara atau cairan.
 - Studi oleh Holman (2010) menunjukkan bahwa konduksi memiliki pola perpindahan panas yang lebih stabil dibandingkan konveksi atau radiasi.
3. Tidak Membutuhkan Peralatan Tambahan
 - Konduksi tidak memerlukan kipas atau pompa seperti pada konveksi, sehingga lebih hemat energi dan biaya operasional.
 - Menurut Bejan (2013), konduksi merupakan metode perpindahan panas yang paling sederhana dalam desain sistem termal.

Kelemahan Perpindahan Panas Konduksi

1. Tergantung pada Konduktivitas Material
 - Material dengan konduktivitas termal rendah, seperti kayu atau plastik, menghambat perpindahan panas secara efektif.
 - Menurut Kreith & Manglik (2019), bahan isolasi termal yang buruk mengurangi efisiensi perpindahan panas melalui konduksi.

2. Proses Perpindahan Panas Lambat

- Dibandingkan dengan konveksi atau radiasi, konduksi memiliki laju perpindahan panas yang lebih lambat, terutama pada material dengan konduktivitas rendah.
- Holman (2010) menyebutkan bahwa konduksi membutuhkan waktu lebih lama dibandingkan dengan metode perpindahan panas lainnya dalam kondisi tertentu.

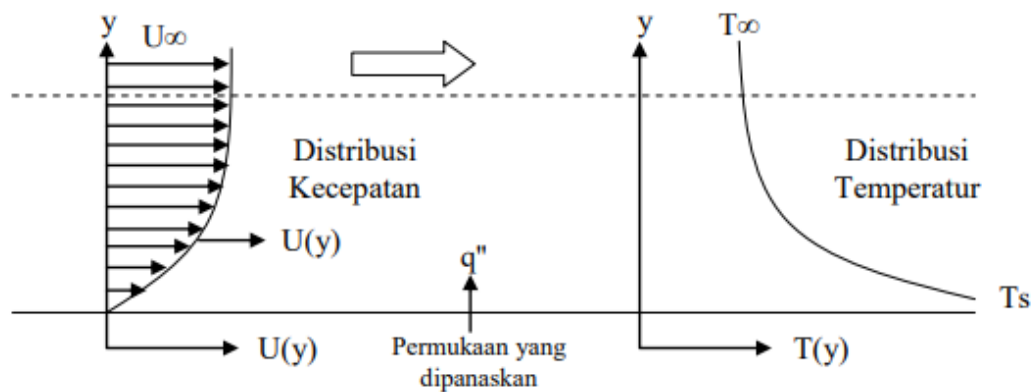
3. Terbatas pada Kontak Langsung

- Konduksi hanya terjadi melalui kontak langsung antar material, sehingga tidak dapat digunakan untuk mentransfer panas dalam jarak jauh tanpa adanya media penghantar.
- Menurut Bejan (2013), konduksi tidak efektif untuk sistem yang membutuhkan distribusi panas dalam skala besar.

2.7.2 Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas secara konveksi yaitu perpindahan panas dari suatu zat ke zat yang lain disertai dengan gerakan partikel atau zat tersebut secara fisik. Panas dipindahkan oleh molekul-molekul yang bergerak (mengalir). Oleh karena adanya dorongan bergerak. Disin kecepatan gerakan (aliran) memegang peranan sangat penting. Konveksi hanya terjadi pada fluida. Besarnya koefisien perpindahan panas bergantung pada: jenis fluida dan keadaan alirannya (tekanan, temperatur, dan kecepatan alirannya) (Thermodinamika Dasar Mesin Konversi Energi, 2015).

Jika suatu plat dibiarkan diudara sekitar tanpa ada sumber gerakan dari luar, maka udara itu akan bergerak sebagai akibat terjadinya gradien densitas di dekat plat. Peristiwa ini dinamakan konveksi alamiah atau konveksi bebas, untuk membedakannya dengan konveksi paksa yaitu apabila pada plat udara dihembuskan diatas plat itu dengan kipas.



Gambar 2. 18 Pengembangan Lapisan Batas Dalam Perpindahan Panas Konveksi
(Perpindahan Panas Konveksi, A.Walujodjati, 2006)

Persamaan laju perpindahan kalor secara konveksi telah diajukan newton pada tahun 1701, bersak dari gejala fisika, yaitu:

$$Q = hA(T_s - T_f)$$

Keterangan :

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

A = Luas Permukaan (m^2)

T_s = Suhu permukaan ($^{\circ}\text{C}$)

T_f = Suhu Fluida ($^{\circ}\text{C}$)

Kelebihan Perpindahan Panas Konveksi :

1. Efisiensi Energi

- Konveksi alami dapat menghemat energi karena tidak memerlukan alat bantu seperti kipas atau blower untuk menggerakkan udara panas.
- Menurut penelitian oleh Catrawedarma et al. (2017), sistem pengeringan berbasis konveksi alami dapat mengurangi konsumsi energi dibandingkan dengan metode yang menggunakan ventilasi paksa.

2. Distribusi Panas yang Merata

- Pada kondisi yang tepat, konveksi dapat menghasilkan distribusi panas yang lebih merata dibandingkan dengan konduksi langsung, sehingga mencegah panas berlebih di satu titik tertentu.

- Studi oleh Purwanto et al. (2020) menunjukkan bahwa penggunaan konveksi dalam sistem pengeringan gabah menghasilkan distribusi panas yang cukup stabil di dalam ruang pemanas.
3. Minim Perawatan
 - Karena tidak menggunakan komponen mekanis seperti kipas, sistem konveksi alami memerlukan perawatan yang lebih sedikit dan lebih tahan lama dibandingkan sistem yang menggunakan blower.
 - Menurut Rahman et al. (2019), sistem pengeringan konveksi alami memiliki tingkat keausan komponen yang lebih rendah dibandingkan sistem dengan perpindahan panas paksa.

Kelemahan Perpindahan Panas Konveksi

1. Kecepatan Pengeringan yang Lebih Lama
 - Konveksi alami cenderung lebih lambat dalam memindahkan panas dibandingkan dengan konveksi paksa yang menggunakan kipas atau blower.
 - Berdasarkan penelitian oleh Sari et al. (2021), sistem pengeringan berbasis konveksi alami membutuhkan waktu lebih lama dibandingkan dengan metode yang menggunakan sirkulasi udara aktif.
2. Dipengaruhi oleh Faktor Eksternal
 - Efisiensi perpindahan panas konveksi sangat bergantung pada kondisi lingkungan, seperti suhu sekitar, kelembaban, dan tekanan udara.
 - Menurut penelitian yang dilakukan oleh Nugroho et al. (2018), sistem pengeringan berbasis konveksi alami memiliki performa yang berfluktuasi tergantung pada kondisi lingkungan.
3. Kurang Efektif untuk Material dengan Kandungan Air Tinggi
 - Material yang memiliki kadar air tinggi membutuhkan perpindahan panas yang lebih cepat dan intens, yang sulit dicapai hanya dengan konveksi alami.
 - Studi oleh Prasetyo et al. (2022) menunjukkan bahwa metode konveksi alami kurang efektif dalam mengeringkan bahan dengan kadar air lebih dari 50%.

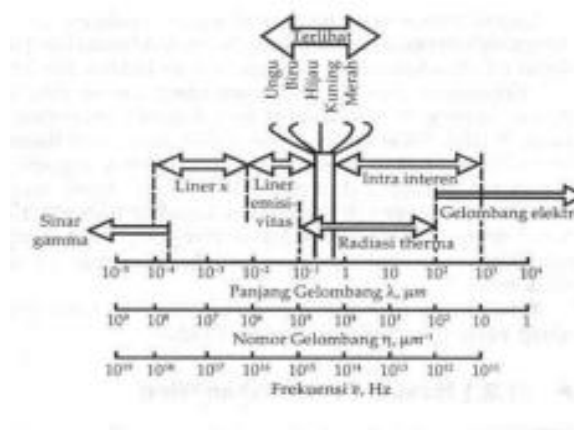
2.7.3 Perpindahan Panas Radiasi

Yaitu perpindahan panas tanpa melalui media. Suatu energi dapat dipindahkan dari suatu tempat ketempat lainnya (dari benda panas ke benda dingin) dengan pancaran gelombang elektromagnetik dimana tenaga elektromagnetik ini akan berubah menjadi panas jika terserap oleh benda yang lain. Radiasi yang dipancarkan oleh suatu benda karena suhunya dinamakan radiasi termal. (J.P.Holman, 1988).

Pembahasan thermodinamika menunjukkan bahwa radiator (penyinar) ideal, atau benda hitam (*blackbody*), memancarkan energi dengan laju yang sebanding dengan pangkat empat suhu absolut benda itu dan berbanding langsung dengan luas permukaan, jadi:

$$Q_{Pancaran} = \sigma \times A \times T^4$$

Dimana σ ialah konstanta proporsional dan disebut konstanta stefan boltzman dengan nilai $5.669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$. Persamaan diatas disebut hukum stefan boltzman tentang radiasi thermal, dan berlaku hanya untuk benda hitam. Perlu dicatat bahwa persamaan diatas hanya berlaku untuk radiasi thermal saja, radiasi elektromagnetik lain tidaklah sesederhana itu.



Gambar 2. 19 Spektrum gelombang electromagnet

Kelebihan Perpindahan Panas Radiasi:

1. Tidak Memerlukan Medium

Radiasi panas dapat berpindah tanpa membutuhkan medium perantara, sehingga dapat terjadi di ruang hampa (Modest, 2013).

2. Efisiensi Energi pada Jarak Jauh

Perpindahan panas melalui radiasi dapat menempuh jarak jauh tanpa banyak kehilangan energi dibandingkan dengan konduksi atau konveksi (Incropera et al., 2007).

3. Pemanasan Cepat pada Permukaan

Radiasi memungkinkan pemanasan langsung pada permukaan benda tanpa perlu memanaskan udara di sekitarnya terlebih dahulu (Howell et al., 2015).

4. Cocok untuk Proses Pemanasan Selektif

Radiasi digunakan dalam berbagai industri seperti pengeringan, pemanasan inframerah, dan teknologi pemanas berbasis sinar matahari karena kemampuannya untuk memanaskan objek tertentu dengan efisien (Siegel & Howell, 2017).

Kelemahan Perpindahan Panas Radiasi:

1. Terbatas pada Objek yang Dapat Menyerap dan Memancarkan Panas

Tidak semua bahan dapat menyerap atau memancarkan radiasi panas dengan baik. Bahan reflektif seperti logam mengkilap memiliki efisiensi penyerapan yang rendah (Modest, 2013).

2. Dipengaruhi oleh Jarak dan Sudut Paparan

Efektivitas radiasi panas menurun seiring dengan meningkatnya jarak dari sumber panas dan tergantung pada sudut penerimaan energi (Incropera et al., 2007).

3. Tidak Efektif dalam Lingkungan Tertutup Tanpa Permukaan Penyerap

Jika tidak ada permukaan yang cukup menyerap radiasi, perpindahan panas menjadi kurang efisien dibandingkan metode konveksi atau konduksi (Howell et al., 2015).

4. Dapat Menyebabkan Overheating

Dalam beberapa aplikasi industri, radiasi dapat menyebabkan pemanasan berlebih pada bagian tertentu, yang dapat merusak material atau komponen (Siegel & Howell, 2017).

2.7.4 Konduksi Transien

Perpindahan panas konduksi transien adalah permasalahan yang biasanya muncul ketika kondisi batas dari suatu sistem berubah. Misalnya, jika temperature permukaan dari suatu sistem diubah, temperatur di setiap titik dalam sistem juga akan berubah. Perubahan akan terus terjadi hingga distribusi temperatur tunak

tercapai. Sebagai contoh adalah sebuah billet logam panas yang dikeluarkan dari tungku dan terkena aliran udara dingin. Energi ditransfer secara konveksi dan radiasi dari permukaan ke sekitarnya. Energi transfer oleh konduksi juga terjadi dari bagian dalam logam ke permukaan, dan temperatur di setiap titik dalam billet. menurun sampai kondisi tunak tercapai. Sifat akhir dari logam tersebut akan tergantung pada besarnya penurunan temperatur dalam waktu tertentu (gradiet temperatur) yang dihasilkan dari proses perpindahan panas (Haryanto, 2015)

2.8 Bahan Bakar Biomassa dan Tungku Biomassa

Energi biomassa, atau bioenergi, berasal dari bahan organik yang beragam, termasuk limbah pertanian, hasil hutan, peternakan, serta sampah organik, termasuk kotoran manusia. Biomassa dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan panas, bahan bakar, dan pembangkit listrik (Kadiman, 2006 dalam Prastowo, 2007).

Secara komposisi, biomassa merupakan campuran kompleks material organik yang terdiri dari karbohidrat, lemak, protein, serta mineral seperti natrium, fosfor, kalsium, dan besi dalam jumlah kecil. Komponen utama tanaman biomassa adalah karbohidrat (sekitar 75% berat kering) dan lignin (hingga 25%), meskipun komposisi ini dapat bervariasi antar jenis tanaman.

Keunggulan utama biomassa sebagai sumber energi adalah keberlanjutannya, dengan sekitar 140 juta ton biomassa digunakan setiap tahun. Namun, penggunaannya sebagai bahan bakar kendaraan masih menghadapi berbagai kendala, seperti efisiensi konversi energi dan teknologi yang belum sepenuhnya optimal (Silalahi, 2000 dalam Sihombing, 2017).

Tabel 2. 2 Nilai Kalor Biomassa (Amram, 2023)

Jenis Biomassa	Nilai Kalor(kal/gr)
Sekam Padi	3300
Tempurung Kelapa	7283,5
Arang Kayu	6743

Tungku sekam yang digunakan pada alat pengering ini merupakan tungku pembakaran sederhana yang dirancang secara khusus agar sesuai dengan kapasitas dan dimensi ruang pengering. Tungku ini berfungsi sebagai tempat pembakaran bahan bakar berupa sekam padi, yang menghasilkan udara panas untuk

memanaskan dan mengeringkan bahan di dalam ruang pengering. Struktur tungku dibuat dari lembaran besi plat yang dibentuk sedemikian rupa agar mampu menampung sekam dalam jumlah cukup, serta memungkinkan proses pembakaran berlangsung secara maksimal dan efisien.

Untuk meningkatkan efisiensi pembakaran, tungku ini dapat dilengkapi dengan kipas kecil yang berfungsi mensuplai udara tambahan, sehingga proses pembakaran sekam menjadi lebih cepat dan stabil. Sekam yang digunakan merupakan limbah hasil proses penggilingan padi, dan disarankan agar sekam tersebut dalam kondisi kering untuk menghindari pembakaran tidak sempurna dan memaksimalkan keluaran panas.

Dalam proses pembakaran bahan bakar padat seperti sekam, tahap pemanasan awal (*pre-heating*) atau pengeringan bertujuan untuk mengurangi kadar air (*moisture content*) dari bahan bakar sehingga proses pembakaran menjadi lebih efisien dan stabil. Udara panas yang dihasilkan tungku akan dialirkan ke dalam ruang pengering, di mana udara tersebut berfungsi untuk menguapkan kandungan air dari bahan yang sedang dikeringkan. Untuk menghasilkan proses pengeringan yang merata, diperlukan sirkulasi udara panas yang baik dalam ruang pengering. Sirkulasi ini dapat berlangsung secara alami (*natural convection*) ataupun paksa (*forced convection*).

2.8.1 Bahan Bakar Biomassa Sekam Padi

Sekam padi merupakan limbah pertanian yang banyak tersedia sebagai hasil samping dari proses penggilingan padi. Sekam memiliki kandungan karbon yang cukup tinggi dan sering dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif karena ketersediaannya yang melimpah dan harganya yang murah.

Sekam padi memiliki nilai kalor yang relatif rendah dibandingkan dengan bahan bakar biomassa lainnya, berkisar antara 13-15 MJ/kg. Namun, karena jumlahnya yang melimpah, sekam padi dapat dimanfaatkan secara efisien dalam sistem pembakaran dengan rancangan yang tepat. Pembakaran sekam padi menghasilkan abu yang mengandung silika tinggi, yang dapat dimanfaatkan kembali untuk berbagai keperluan industri.



Gambar 2. 10 Sekam Padi

Dalam penggunaannya pada tungku pembakaran untuk rice drying box, sekam padi memerlukan suplai udara yang cukup agar proses pembakaran berlangsung dengan sempurna dan menghasilkan panas yang stabil. Penggunaan sekam padi juga ramah lingkungan karena dapat mengurangi limbah pertanian yang tidak terpakai.

2.8.2 Bahan Bakar Biomassa Tempurung Kelapa

Tempurung kelapa merupakan salah satu biomassa yang memiliki nilai kalor tinggi dan sering digunakan sebagai bahan bakar alternatif. Nilai kalor tempurung kelapa berkisar antara 18-20 MJ/kg, lebih tinggi dibandingkan dengan sekam padi. Hal ini menjadikan tempurung kelapa sebagai sumber energi yang lebih efektif dalam menghasilkan panas yang stabil dan bertahan lama.

Tempurung kelapa memiliki karakteristik pembakaran yang lebih baik dibandingkan sekam padi karena menghasilkan lebih sedikit abu dan asap. Selain itu, tempurung kelapa mudah terbakar dan memiliki daya tahan panas yang lebih lama, sehingga cocok digunakan dalam tungku pembakaran untuk pengeringan gabah.



Gambar 2. 11 Tempurung Kelapa

Dalam proses pembakaran, tempurung kelapa dapat dikombinasikan dengan sekam padi untuk menghasilkan panas yang lebih efisien. Pembakaran tempurung kelapa juga menghasilkan arang yang memiliki nilai jual tinggi dan dapat digunakan kembali sebagai bahan bakar padat atau bahan baku pembuatan karbon aktif.

2.9 Kombinasi Sekam Padi dan Tempurung Kelapa

Kombinasi sekam padi dan tempurung kelapa dalam tungku rice drying box berpengaruh terhadap kualitas panas yang diterima oleh gabah selama proses pengeringan. Sekam padi memiliki nilai kalor yang lebih rendah ($\sim 13\text{--}15$ MJ/kg) dan mudah terbakar, sehingga menghasilkan panas dengan cepat namun tidak bertahan lama. Sementara itu, tempurung kelapa memiliki nilai kalor lebih tinggi ($\sim 18\text{--}22$ MJ/kg), mampu memberikan panas yang lebih stabil dan bertahan dalam waktu lebih lama. Dengan kombinasi keduanya, dihasilkan distribusi panas yang lebih merata

Suhu dalam ruang pengering harus dikontrol agar berada dalam kisaran optimal, yaitu $45\text{--}60^\circ\text{C}$. Jika suhu terlalu rendah, pengeringan akan memakan waktu lama dan meningkatkan risiko pertumbuhan jamur atau mikroba pada gabah. Sebaliknya, jika suhu terlalu tinggi, gabah bisa mengalami retak, yang akan menurunkan kualitas beras setelah proses penggilingan. Oleh karena itu, kombinasi sekam padi dan tempurung kelapa dapat menghasilkan panas yang lebih merata dan stabil, sehingga membantu menjaga kualitas gabah selama proses pengeringan.



Gambar 2. 12 Kombinasi Sekam Padi dan Tempurung Kelapa

Selain itu, pemanfaatan limbah pertanian ini juga memberikan keuntungan ekonomi dan lingkungan. Bahan bakar berbasis limbah seperti sekam padi dan tempurung kelapa lebih murah dibandingkan dengan bahan bakar fosil atau listrik, serta mengurangi emisi karbon yang dihasilkan selama proses pengeringan. Dengan pendekatan ini, petani dapat mengeringkan gabah secara lebih efisien, menjaga kualitas beras, dan sekaligus mengurangi biaya produksi.

2.10 Teknologi Pengendalian Suhu

Saat mengeringkan gabah padi di pengering, pengaturan suhu sangat penting. Selama proses pengeringan gabah, hal ini dilakukan untuk menjaga kestabilan suhu sesuai dengan jumlah panas yang dibutuhkan. Pengendalian suhu yang sesuai dari berbagai aspek. Salah satunya dengan menjaga kualitas gabah kering yang diproduksi di gudang pengeringan beras.

Sistem pemanas dirancang berdasarkan mekanisme perpindahan panas dari tungku menuju ruang pemanas dengan menerapkan prinsip konveksi alami (natural convection). Pada sistem pengeringan berbasis konveksi alami ini, perpindahan udara panas tidak memerlukan bantuan blower atau kipas, melainkan mengandalkan perubahan massa jenis udara akibat pemanasan. Ketika udara mengalami kenaikan suhu, massa jenisnya menurun sehingga menyebabkan pergerakan udara ke arah atas.

Prinsip kerja alat pengering ini bertujuan untuk mengurangi kadar uap air dalam material secara bertahap, sesuai dengan mekanisme pengeringan konvensional. Dengan demikian, komposisi akhir material yang dikeringkan diharapkan memiliki karakteristik yang mendekati hasil pengeringan konvensional (Catrawedarma I. G. N. B., et al., 2017).

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1 Tempat Penelitian

Proses pembuatan alat dilakukan di laboratorium Fenomena Dasar Mesin Fakultas Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah yang didampingi serta dibimbing oleh dosen pembimbing.

3.1.2 Waktu Penelitian

Adapun waktu pelaksanaan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Waktu Kegiatan Penelitian

No	Kegiatan	Waktu (Bulan)					
		1	2	3	4	5	6
1	Pengajuan judul	■					
2	Studi literature	■	■				
3	Seminar proposal			■			
4	Pengujian alat				■		
5	Analisa hasil pengujian				■	■	
6	Seminar hasil dan siding sarjana						■

3.2 Bahan dan Alat Penelitian

3.2.1 Bahan

Bahan yang yang dipersiapkan pada pengujian *rice drying box* adalah sebagai berikut.

1. Sekam Padi

Sekam padi adalah kulit luar bulir padi yang dipisahkan dari beras melalui proses penggilingan. Sekam padi merupakan hasil dari penggilingan padi, Selain itu sekam padi digunakan sebagai bahan bakar dalam tungku pembakaran.



Gambar 3. 1 Sekam Padi

2. Tempurung Kelapa

Tempurung kelapa merupakan limbah padat dari hasil olahan kelapa yang telah di ambil daging kelapa untuk mendapatkan santan.



Gambar 3. 2 Tempurung Kelapa

3. Gabah Padi

Gabah padi digunakan sebagai bahan pengujian *rice drying box*. Gabah padi pada penelitian ini berperan penting sebagai bahan yang menentukan kinerja pada alat yang telah dirancang.



Gambar 3. 3 Gabah Padi

3.2.2 Alat Penelitian

Alat yang akan digunakan pada proses pengujian *rice drying box* adalah sebagai berikut:

1. *Rice Drying Box* (Kotak Pengeringan Padi)

Kotak pengeringan yang dirancang untuk menampung gabah padi selama proses pengeringan



Gambar 3. 4 *Rice Drying Box* (Kotak Pengeringan Padi)

2. Termokopel

Sensor suhu yang digunakan untuk mengukur suhu di berbagai titik dalam tungku dan kotak pengeringan.



Gambar 3. 5 Termokopel

3. *Thermometer*

Thermometer digunakan untuk mengukur suhu pada proses pengeringan gabah padi.



Gambar 3. 6 *Thermometer*

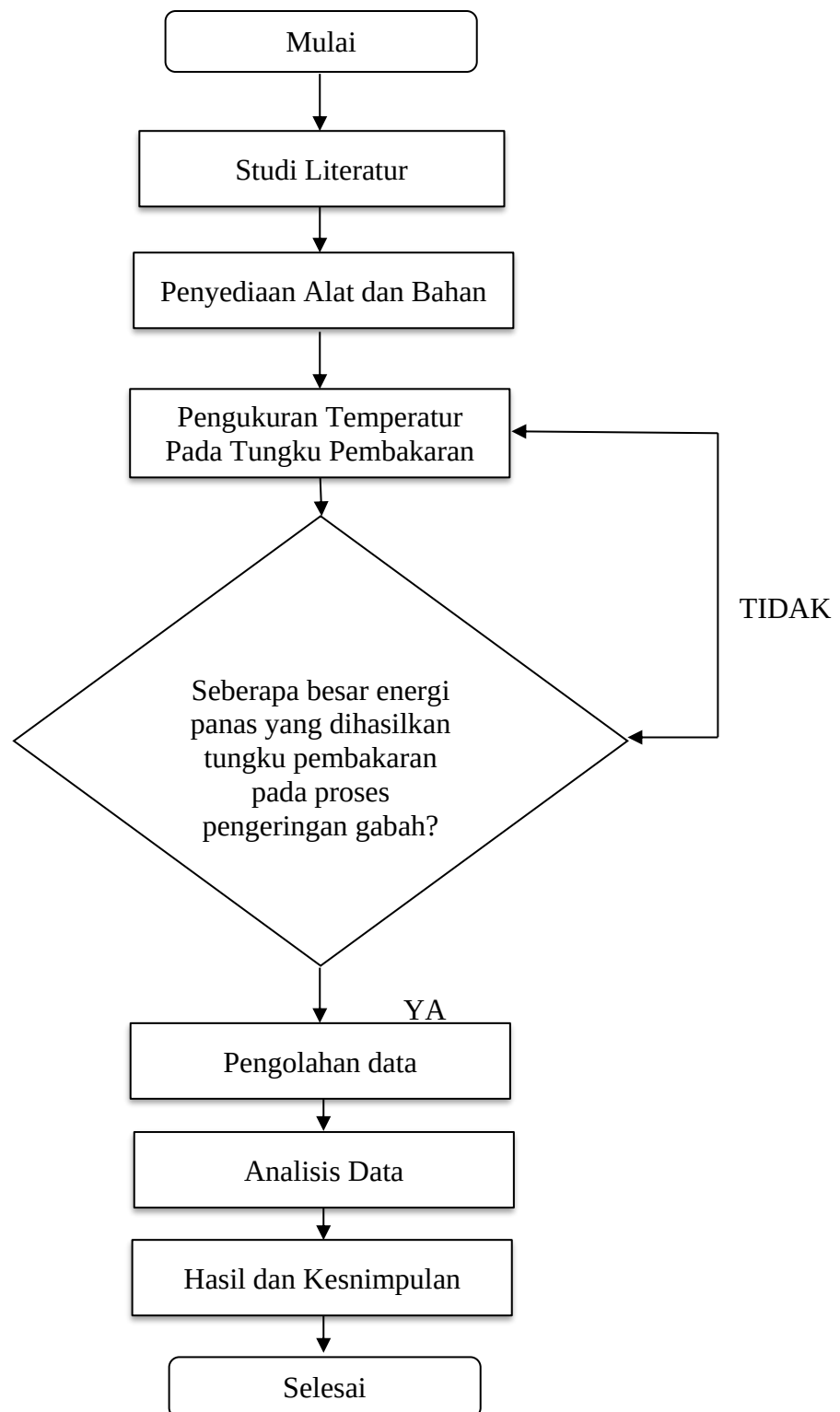
4. Timbangan Digital

Timbangan untuk mengukur berat gabah padi sebelum dan setelah pengeringan.



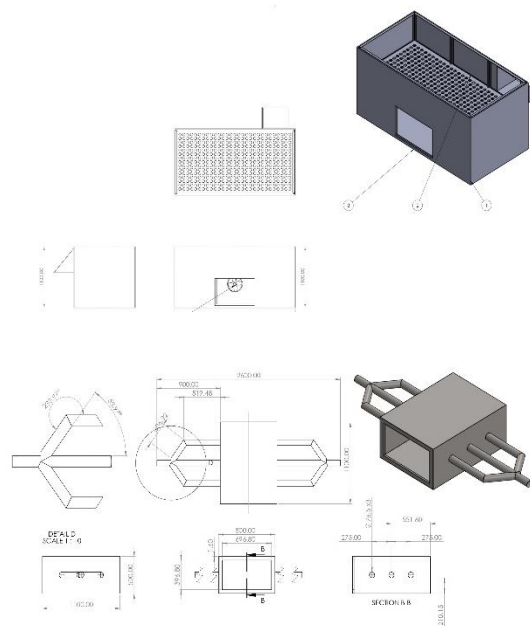
Gambar 3. 7 Timbangan Digital

3.3 Bagan Alir Penelitian



Gambar 3.8 Diagram Alir Penelitian

3.4 Rangkaian Alat



Gambar 3. 4 Rancangan Alat

Pada *rice drying box* terdapat beberapa bagian utama pada proses pengeringan gabah padi diantaranya sebagai berikut:

1. *Box* (Wadah Gabah Padi)

Box ini di gunakan untuk menampung gabah yang akan dikeringkan. Dinding *box* terbuat dari plat baja agar panas tetap terjaga selama proses pengeringan. Bagian bawah *box* dibuat dari plat berjaring, agar udara panas bisa mengalir naik dan memanaskan gabah secara langsung.

2. Ruang Pemanas

Ruang pemanas adalah ruang tertutup yang hanya memiliki satu jalur keluar untuk udara panas. Udara panas ini berasal dari ruang pembakaran, dan digunakan untuk menghangatkan *box* yang berisi gabah.

3. Ruang Pembakaran

Ruang pembakaran adalah tempat terjadinya proses pembakaran bahan bakar, seperti sekam padi atau tempurung kelapa. Ruangan ini dibuat dari plat baja setebal 1,6 mm dan diletakkan di tengah ruang pemanas, agar panasnya bisa menyebar secara merata keseluruh arah.

4. *Exhaust Fan*

Exhaust Fan adalah kipas untuk membuang udara dari dalam ke luar ruangan. Di sistem *rice drying box*, alat ini digunakan untuk menghisap udara panas dari ruang pemanas, sehingga suhu dalam ruang tersebut bisa di kontrol dan tidak terlalu tinggi.

3.5 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur yang akan dilaksanakan pada proses penelitian adalah sebagai berikut:

3.5.1 Persiapan Alat dan Bahan

- Menyiapkan tungku pembakaran dan *rice drying box*
- Menimbang gabah padi dengan kadar air tertentu
- Menyiapkan bahan bakar (sekam padi dan tempurung kelapa) dalam jumlah yang sesuai.

3.5.2 Pelaksanaan Eksperimen

a. Penyiapan Tungku :

- Isi tungku dengan bahan bakar (sekam padi dan tempurung kelapa).
- Atur gabah padi dalam *rice drying box* di dalam tungku untuk proses pengeringan.

2. Pengukuran Suhu :

- Nyalakan tungku dan biarkan suhu stabil sampai 60°C.
- Lakukan pengukuran suhu pada beberapa titik di dalam tungku, permukaan dinding tungku, dan udara sekitar.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan hasil penelitian analisis perpindahan panas secara natural konveksi yang terjadi pada tungku pembakaran untuk proses pengeringan gabah padi. Analisis ini mencakup perhitungan laju perpindahan panas serta efisiensi sistem menggunakan bahan bakar sekam padi dan tempurung kelapa sebagai sumber bahan bakar

4.1 Hasil Penelitian



Gambar 4. 1 Alat Setelah Selesai Dirakit

Setelah proses perancangan telah selesai dilakukan maka dilakukan uji coba pada alat yang telah dirancang. Pada penelitian uji coba dilakukan di Desa Tanjung Gusti Dusun 3 Kecamatan Galang, tepatnya di tempat tinggal salah seorang anggota kelompok tani di desa tersebut. Pengeringan dilakukan dengan menggunakan gabah padi hasil panen petani. Pengeringan dilakukan dengan menggunakan gabah padi hasil panen petani sebanyak 80 kg.

Dari hasil Pengeringan tersebut peneliti mendapatkan beberapa hasil diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Waktu Pengeringan

Pengeringan dilakukan dengan suhu pada ruang pemanas mencapai 60°C. Proses pengeringan dengan *box* pengering gabah padi dengan gabah padi basah sebanyak 80 kg dilakukan selama 60 menit sampai gabah padi siap untuk dilakukan

proses penggilingan (pemisahan kulit). Pada proses menentukan Hasil gabah kering siap kering peneliti melakukan diskusi dengan petani dikarenakan keterbatasan alat ukur untuk melihat kadar air pada gabah yang dikeringkan. Pada penelitian ini setelah gabah padi dikeringkan selanjutnya gabah padi digiling untuk melihat hasil beras yang dihasilkan. Gabah padi yang belum kering maksimal dapat dilihat saat proses penggilingan akan patah dan hancur. Setelah proses pengeringan dilakukan didapat perubahan berat gabah menjadi 74 kg. Untuk mengetahui jumlah pengurangan kadar air pada gabah dapat dilakukan dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\text{Pengurangan kadar air (\%)} = \frac{\text{berat awal} - \text{berat akhir}}{\text{berat awal}} \times 100$$

$$\text{Pengurangan kadar air (\%)} = \frac{80 - 74}{80} \times 100$$

Jadi pada setelah proses pengeringan gabah padi mengalami penurunan kadar air sebesar 7,5 %. Jika kadar air awal pada gabah adalah 21% maka kadar air pada gabah setelah dikeringkan adalah 21% - 7,5 %. Jadi kadar air pada gabah setelah dikeringkan adalah 13,5%.

2. Bahan Bakar

Bahan bakar pemanas pada proses pengeringan menggunakan limbah dari tempurung kelapa dan limbah dari sekam padi. Proses pemanasan dilakukan dengan dilakukan pembakaran limbah tempurung kelapa pada tungku pembakaran. Setelah tempurung kelapa telah terbakar secara keseluruhan dan suhu pada ruang pemanas telah mencapai 60°C maka gabah padi basah sudah bisa dimasukkan pada wadah gabah di *box* pengering. Fungsi dari limbah sekam padi adalah menjaga suhu panas pada tungku pembakaran. Dimana saat suhu mulai menurun maka diharuskan memasukkan secara berkala limbah sekam padi. Limbah sekam padi yang dimasukkan akan dibakar oleh bara api dari limbah tempurung kelapa yang dilakukan pembakaran sebelumnya, saat sekam padi terbakar maka suhu pada tungku pembakaran juga ikut naik perlahan.



Gambar 4. 2 Pembakaran Pada Tungku

3. Temperatur Pengeringan

Suhu pengeringan direncanakan pada awal perancangan adalah 60°C. Setelah dilakukan percobaan suhu panas pada tungku pembakaran mencapai 106°C.



Gambar 4. 3 Temperatur Pada Tungku

Pada titik ini suhu pada ruang pemanas mengalami kenaikan, kenaikan suhu pada ruang pemanas pada saat suhu tungku 106°C adalah 61°C. Suhu tersebut adalah hasil kinerja dari *exhaust fan* yang berfungsi untuk menurunkan suhu pemanas apabila sudah melebihi dari 60°C. Suhu pada ruang pemanas didapat setelah thermokopel membaca perubahan suhu pada ruang pemanas dan ditampilkan pada lcd yang terpasang pada *box* panel yang terpasang pada alat.



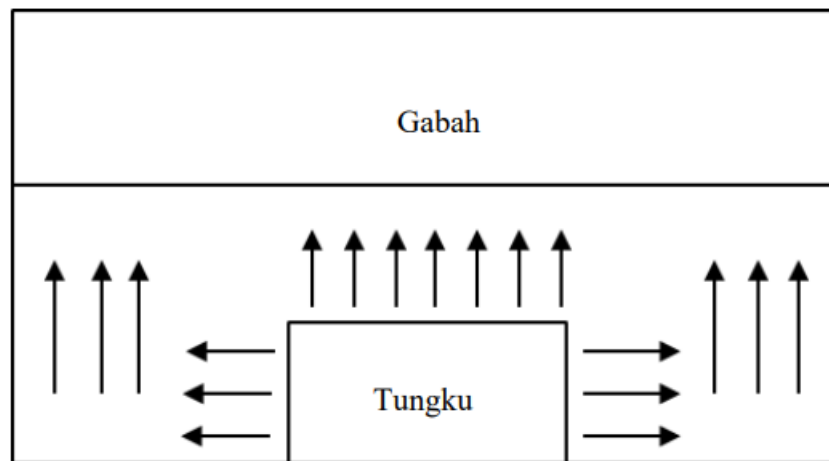
Gambar 4. 3 Temperatur Ruang Pemanas

Dan pada saat suhu pada ruang pemanas 60°C mengakibatkan perubahan suhu pada wadah gabah padi yang akan dikeringkan. Suhu pada gabah dilihat menggunakan thermometer dan didapat perubahan suhu pada gabah menjadi 48°C.



Gambar 4. 4 Temperatur Pada Gabah

Dalam proses pengaturan suhu, *exhaust fan* memegang peranan penting karena udara panas dibuang oleh exhaust fan. Sensor suhu internal mengukur suhu panas selama proses pengeringan. Suhu pemanasan stabil pada 60 °C. Jika udara panas melebihi nilai ini, maka akan dievakuasi oleh *exhaust fan* untuk menurunkan suhu udara di ruang dapur dan menstabilkan udara panas.



Gambar 4.5 Ilustrasi Perpindahan Panas Dari Tungku

Pemanas bekerja dengan memanfaatkan energi panas dari pembakaran tempurung kelapa dan limbah sekam padi sebagai bahan bakar. Panas dari tungku kemudian dialirkan ke ruang pemanas melalui dinding tungku. Perubahan suhu di dalam ruang pemanas menyebabkan perubahan massa jenis udara, sehingga udara panas bergerak perlahan ke atas menuju area tempat gabah padi ditampung untuk dikeringkan. Skema perpindahan panas ditunjukkan pada gambar 4.5, di mana tanda panah menggambarkan aliran panas dari tungku ke ruang pemanas dalam box pengering.

4.2 Pembahasan

Untuk menghitung laju perpindahan panas pada tungku, penulis perlu mempertimbangkan perpindahan panas melalui dinding tungku. Perpindahan panas terjadi melalui konduksi dalam dinding baja dan konveksi ke lingkungan sekitar.

Tabel 4. 1 Laju perpindahan panas pada setiap sisi tungku

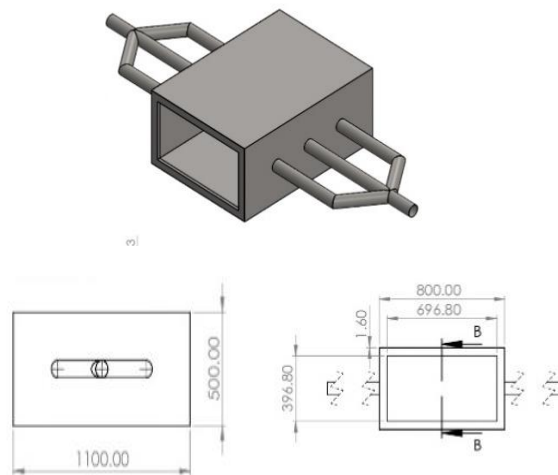
Sisi	Luas Permukaan (m ²)	Laju Perpindahan Panas (W)
Belakang	0,55 m ²	408 W
Kanan dan kiri	0,8 m ²	592 W
Atas dan bawah	1,76 m ²	1321,4 W

Dari table diatas menunjukkan hasil perhitungan laju perpindahan panas pada masing-masing sisi tungku berdasarkan luas permukaan. Sisi belakang memiliki luas permukaan sebesar 0,55 m² menghasilkan laju perpindahan panas 408 W, Sisi kanan dan kiri memiliki luas permukaan 0,8 m² menghasilkan laju perpindahan panas sebesar 592 W, Sedangkan sisi atas dan bawah memiliki luas

permukaan 1,76 m² menghasilkan laju perpindahan panas sebesar 1321,4 W Untuk lebih jelasnya dapat dilihat dari grafik dibawah ini :



Dapat dilihat dari grafik diatas menunjukkan hasil perhitungan laju perpindahan panas pada masing-masing sisi tungku berdasarkan luas permukaan. Sisi atas dan bawah memiliki luas permukaan terbesar yaitu 1,76 m², menghasilkan laju perpindahan panas tertinggi sebesar 1321,4 W. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar energy panas keluar melalui sisi ini. Sisi kiri dan kanan memiliki luas permukaan 0,8 m² menghasilkan laju perpindahan panas 592 W. Sedangkan sisi belakang memiliki luas permukaan terkecil 0,55 sehingga menghasilkan laju perpindahan panas terendah sebesar 408 W. Dari distribusi ini dapat disimpulkan bahwa semakin besar luas permukaan suatu sisi, maka semakin besar pula laju perpindahan panasnya.

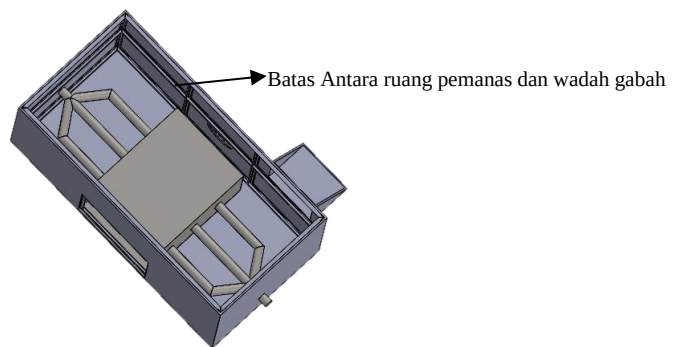


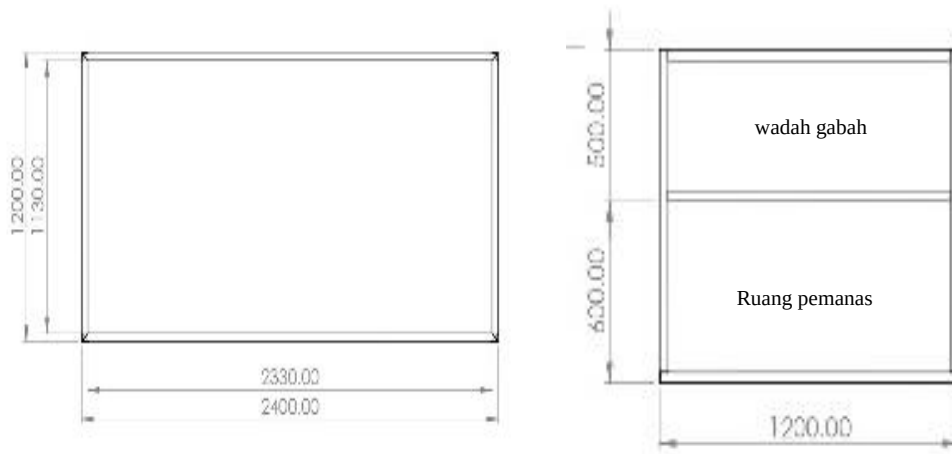
Gambar 4.1 Desain Tungku Pembakaran

Diketahui :

➤ Dimensi Tungku :

- Panjang = 80 cm = 0,8 m
- Lebar = 110 cm = 1,1 m
- Tinggi = 50 cm = 0,5 m





Gambar 4.2 Desain Ruang Pemanas

➤ Dimensi ruang pemanas :

Panjang = 240 cm = 2,4 m

Lebar = 120 cm = 1,2 m

Tinggi = 60 cm = 0,6 m

Volume ruang Pemanas :

$$V = p \times l \times t$$

Dimana,

V = Volume ruang pemanas

P = Panjang ruang pemanas

L = Lebar ruang pemanas

T = Tinggi ruang pemanas

$$V = 240 \text{ cm} \times 120 \text{ cm} \times 60 \text{ cm}$$

$$\text{Volume ruang pemanas} = 1728000 \text{ cm}^3 (1,728 \text{ m}^3)$$

- Target temperature ruang pemanas $T_{(t)} = 60^\circ\text{C} + 273^\circ\text{C} = 333 \text{ K}$
- Material Dinding : Plat Baja dengan tebal = 1,6 mm (0,0016 m)
- Temperatur awal plat : $T_0 = 32^\circ\text{C} + 273^\circ\text{C} = 305 \text{ K}$
- Temperatur Luar (suhu ruangan) : $T_\infty = 29^\circ\text{C} + 273^\circ\text{C} = 302 \text{ K}$
- Temperatur Tungku (T_{tungku}) = $106^\circ\text{C} + 273^\circ\text{C} = 379 \text{ K}$
- Konduktivitas termal baja: $k = 50 \text{ W/m.K}$
- $h = 10 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Kapasitas panas jenis udara (C_p) = 450 J/kg.K
- Massa jenis baja (ρ) = 7800 kg/m^3

➤ Volume Tungku = $A \cdot L = 3,11 \text{ m}^2 \times 0,0016 \text{ m} = 0,004976 \text{ m}^3$

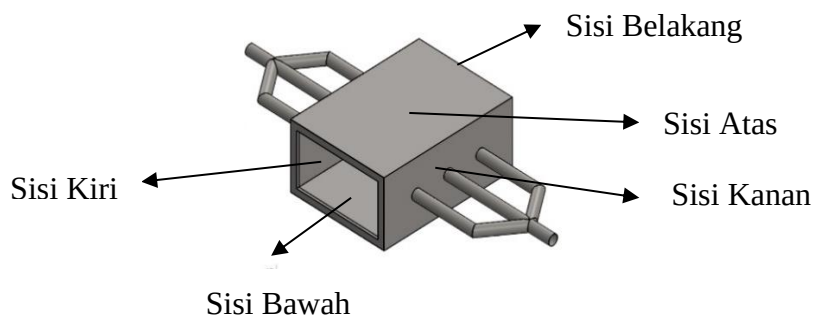
Tabel 4. 2 Konduktivitas Termal berbagai bahan (Zemansky, 2002)

Bahan (Logam)	Daya hantar, w/m.K	Bahan (Lain-lain)	Daya hantar, w/m.K	Bahan (Gas)	Daya hantar, w/m.K
Alumunium	205,0	Bata	0,6	Udara	0,0024
Kuningan	109,0	Merah	0,15	Argon	0,016
Tembaga	385,0	Bata	0,8	Helium	0,14
Timbal	34,7	Isolasi	0,04	Hidrogen	0,14
Perak	406,0	Beton	0,8	Oksigen	0,023
Baja	50,2	Gabus	0,04		
Raksa	8,3	Kaca	0,01		
Besi	73	Batu			

Tabel 4. 3 Koefisien Perpindahan panas

Sistem	h (W.m ² .K)
Konveksi Alami (Gas)	10
Konveksi Alami (Cairan)	100
Gas Mengalir	50-100
Cairan Mengalir (Viskositas Rendah)	1000 – 5000
Cairan Mengalir (Viskositas Tinggi)	100 – 500
Cairan Mendidih	20.000
Embun	20.000

1. Menentukan Luas Permukaan Dinding Tungku



Gambar 4.3 Dimensi Tungku

- Luas sisi kanan dan kiri = $2 \times (\text{Tinggi} \times \text{Panjang})$
 $= 2 \times (0,5 \times 0,8) = 0,8 \text{ m}^2$
- Luas sisi belakang = $(\text{Tinggi} \times \text{Lebar}) = (0,5 \times 1,1) = 0,55 \text{ m}^2$
- Luas sisi atas dan bawah = $2 \times (\text{Panjang} \times \text{Lebar})$
 $= 2 (0,8 \times 1,1) = 1,76 \text{ m}^2$

Total luas permukaan dinding tungku :

$$A_{total} = \text{Luas Sisi Kanan dan kiri} + \text{Luar sisi belakang} + \text{luas sisi atas dan bawah}$$

$$A_{total} = 0,8 \text{ m}^2 + 0,55 \text{ m}^2 + 1,76 \text{ m}^2 = 3,11 \text{ m}^2$$

2. Menghitung Tahanan Thermal Total

$$R_{konduksi} = \frac{L}{k \cdot A} = \frac{0,0016 \text{ m}}{50 \text{ W/m.K} \cdot 3,11 \text{ m}^2} = 1,03 \times 10^{-5} \text{ K/W}$$

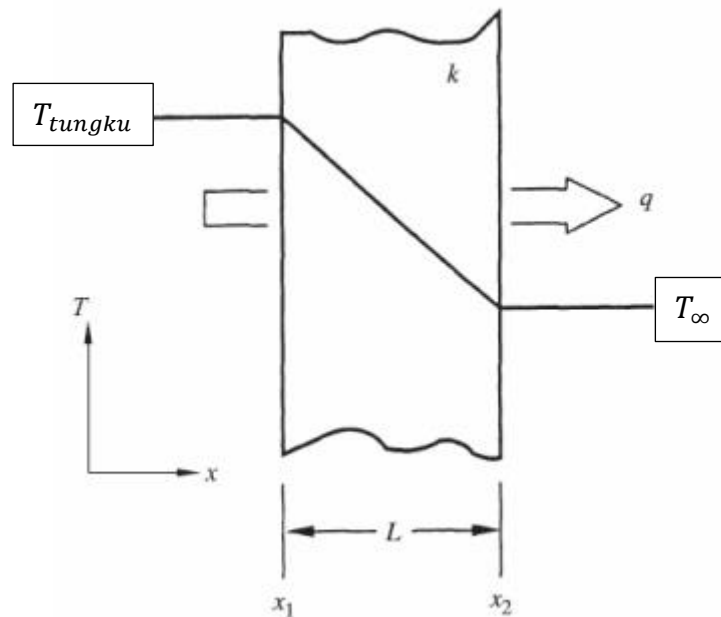
$$R_{konveksi} = \frac{1}{h \cdot A} = \frac{1}{10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \cdot 3,11 \text{ m}^2} = 0,0321 \text{ K/W}$$

$$R_{total} = R_{konduksi} + R_{konveksi} = 1,03 \times 10^{-5} \text{ K/W} + 0,0321 \text{ K/W}$$

$$R_{total} = 0,0321 \text{ K/W}$$

3. Menghitung *heat loss* dari dinding tungku ke lingkungan

- Gabungan Konduksi dan konveksi *steady-state*



$$\frac{T_{tungku} - T_{\infty}}{\frac{L}{k \cdot A} + \frac{1}{h \cdot A}} = \frac{Q}{A}$$

Jadi,

$$Q = \frac{A \cdot (T_{tungku} - T_{\infty})}{\frac{L}{k} + \frac{1}{h}}$$

$$Q = \frac{3,11 \text{ m}^2 \cdot (379\text{K} - 305\text{K})}{1,03 \times 10^{-5} \text{ K/W} + 0,0321 \text{ K/W}}$$

$$Q = \frac{3,11 \text{ m}^2 \cdot 74\text{K}}{0,0321 \text{ K/W}}$$

$$Q = 7169,4\text{W}$$

4. Menghitung Laju perpindahan panas pada setiap sisi tungku

a. Luas Sisi Belakang ($0,55 \text{ m}^2$)

$$R_{\text{konduksi}} = \frac{L}{k \cdot A} = \frac{0,0016 \text{ m}}{50 \text{ W/m} \cdot \text{K} \cdot 0,55 \text{ m}^2} = 5,81 \times 10^{-5} \text{ K/W}$$

$$R_{\text{konveksi}} = \frac{1}{h \cdot A} = \frac{1}{10 \text{ W/m}^2 \text{ K} \cdot 0,55 \text{ m}^2} = 0,181 \text{ K/W}$$

$$R_{\text{total}} = R_{\text{konduksi}} + R_{\text{konveksi}}$$

$$R_{\text{total}} = 5,81 \times 10^{-5} \text{ k/W} + 0,181 \text{ k/W}$$

$$R_{\text{total}} = 0,181 \text{ k/W}$$

$$Q = \frac{\Delta T}{R_{\text{total}}}$$

$$Q = \frac{(379 \text{ K} - 305 \text{ K})}{0,181 \text{ K/W}}$$

$$Q = \frac{74 \text{ K}}{0,181 \text{ K/W}}$$

$$Q = 408,8 \text{ W}$$

b. Luas Sisi kiri dan kanan ($0,8 \text{ m}^2$)

$$R_{\text{konduksi}} = \frac{L}{k \cdot A} = \frac{0,0016 \text{ m}}{50 \text{ W/m} \cdot \text{K} \cdot 0,8 \text{ m}^2} = 4 \times 10^{-5} \text{ K/W}$$

$$R_{\text{konveksi}} = \frac{1}{h \cdot A} = \frac{1}{10 \text{ W/m}^2 \text{ K} \cdot 0,8 \text{ m}^2} = 0,125 \text{ K/W}$$

$$R_{\text{total}} = R_{\text{konduksi}} + R_{\text{konveksi}}$$

$$R_{\text{total}} = 4 \times 10^{-5} \text{ K/W} + 0,125 \text{ K/W}$$

$$R_{\text{total}} = 0,125 \text{ K/W}$$

$$Q = \frac{\Delta T}{R_{\text{total}}}$$

$$Q = \frac{(379 \text{ K} - 305 \text{ K})}{0,125 \text{ K/W}}$$

$$Q = \frac{74 \text{ K}}{0,125 \text{ K/W}}$$

$$Q = 592 \text{ W}$$

c. Luas Sisi Atas dan Bawah ($1,76 \text{ m}^2$)

$$R_{konduksi} = \frac{L}{k \cdot A} = \frac{0,0016 \text{ m}}{50 \text{ W/m} \cdot \text{K} \cdot 1,76 \text{ m}^2} = 1,818 \times 10^{-5} \text{ K/W}$$

$$R_{konveksi} = \frac{1}{h \cdot A} = \frac{1}{10 \text{ W/m}^2 \text{ K} \cdot 1,76 \text{ m}^2} = 0,056 \text{ K/W}$$

$$R_{total} = R_{konduksi} + R_{konveksi}$$

$$R_{total} = 1,818 \times 10^{-5} \text{ K/W} + 0,056 \text{ K/W}$$

$$R_{total} = 0,056 \text{ K/W}$$

$$Q = \frac{\Delta T}{R_{total}}$$

$$Q = \frac{(379 \text{ K} - 305 \text{ K})}{0,056 \text{ K/W}}$$

$$Q = \frac{74 \text{ K}}{0,056 \text{ K/W}}$$

$$Q = 1321,4 \text{ W}$$

$$Q_{total} = 408,8 \text{ W} + 592 \text{ W} + 1321,4 \text{ W}$$

$$Q_{total} = 2322,2 \text{ W}$$

5. Menghitung Laju perpindahan panas konduksi transien

Sebelum melakukan perhitungan panas konduksi transien, perlu diketahui nilai dari bilangan biot (Bi) yang menunjukkan perbandingan antara tahanan panas dalam suatu benda dan tahanan perpindahan panas di permukaan benda.

$$Bi = \frac{hL_c}{k}$$

Dimana :

L_c = Panjang karakteristik

Bi = Bilangan biot

h = Koefisien Perpindahan Panas ($10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ yang dapat dilihat pada table 4.3)

k = Konduktivitas Termal baja = $50 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ (Pada table 4.2)

$$L_c = \frac{V}{A} = \frac{0,004976 \text{ m}^3}{3,11 \text{ m}^2} = 0,0016 \text{ m}$$

Sehingga nilai biot dapat dihitung dengan :

$$Bi = \frac{10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \cdot 0,0016 \text{ m}}{50 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$Bi = 0,00032 < 0,1$$

Dapat melanjutkan langsung menggunakan metode *lumped system*.
Perpindahan panas konduksi transien pada rice drying box dapat dihitung menggunakan rumus seperti dibawah ini.

$$T(t) = T_{\infty} + (T_0 - T_{\infty}) \cdot \exp\left(-\frac{h \cdot A}{\rho V c_p} t\right)$$

Atau dalam bentuk perubahan suhu :

$$\frac{T(t) - T_{\infty}}{T_0 - T_{\infty}} = \exp\left(-\frac{h \cdot A}{\rho V c_p} t\right)$$

Untuk selanjutnya mencari nilai eksponensialnya (exp):

$$\frac{h \cdot A}{\rho \cdot V \cdot c_p} = \frac{10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \cdot 3,11 \text{ m}^2}{7800 \text{ Kg/m}^3 \cdot \text{K} \cdot 0,004976 \text{ m}^3 \cdot 450 \text{ J/Kg} \cdot \text{K}} = 1,78 \times 10^{-5}$$

Sehingga laju perpindahan panas konduksi transien dapat diitung menggunakan metode *Lumped system* dibawah ini :

$$T(t) = T_{\infty} + (T_0 - T_{\infty}) \cdot \exp\left(-\frac{h \cdot A}{\rho V c_p} t\right)$$

$$T(t) = 302 \text{ K} + (305 \text{ K} - 302 \text{ K}) \cdot \exp(-1,78 \times 10^{-5} \cdot 900)$$

$$T(t) = 302 \text{ K} + 3 \text{ K} \cdot \exp(-0,01602)$$

$$T(t) = 302 \text{ K} + 3 \text{ K} \cdot 0,9841$$

$$T(t) = 302 \text{ K} + 2,95 \text{ K}$$

$$T(t) = 304,95 \text{ K}$$

$$T(t) = 305 \text{ K} - 273 \text{ K} = 32 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

6. Menghitung Laju Perpindahan Panas Konveksi

Jika, suhu pada waktu di ketahui, T(t) maka laju aliran kalor konveksi

Antara tungku dan ruang pemanas dapat di tentukan dari :

$$\dot{Q}(t) = h \cdot A [T(t) - T_{\infty}]$$

Dimana :

h = Koefisien Perpindahan Panas ($10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ yang dapat dilihat pada table 4.2)

A = Luas penampang Dinding tungku ($3,11 \text{ m}^2$)

$T(t)$ = Suhu pada waktu 15 menit (305 K)

T_{∞} = Suhu lingkungan (302 K)

Sehingga :

$$\dot{Q}(t) = h \cdot A [T(t) - T_{\infty}]$$

$$\dot{Q}(900 \text{ s}) = 10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \cdot 3,11 \text{ m}^2 [305 \text{ K} - 302 \text{ K}]$$

$$\dot{Q}(900 \text{ s}) = 93,3 \text{ W}$$

$$\dot{Q} = 93,3 \text{ W} / 900 \text{ s}$$

$$\dot{Q} = 0,10 \text{ W/s}$$

Sedangkan, jumlah panas total yang mengalir dari awal pembakaran tungku hingga 15 menit, sama dengan perubahan energi internal yang terjadi, yang dapat dihitung dengan :

$$Q = m \cdot Cp [T(t) - T_0]$$

Dimana,

Q = Jumlah panas total

m = Masa baja (Kg/m^3)

$$m = \rho \cdot V$$

$$m = 7850 \text{ Kg/m}^3 \cdot 0,44 \text{ m}^3$$

$$m = 3454 \text{ Kg/m}^3$$

ρ = Massa jenis baja

Cp = Kalor jenis baja ($450 \text{ J/Kg} \cdot \text{K}$)

$T(t)$ = Suhu pada waktu 15 menit (305 K)

T_{∞} = Suhu lingkungan (302 K)

Sehingga :

$$Q = m \cdot Cp [T(t) - T_{\infty}]$$

$$Q = 3454 \text{ Kg/m}^3 \cdot 450 \text{ J/Kg} \cdot \text{K} [305 \text{ K} - 302 \text{ K}]$$

$$Q = 4662900 \text{ J}$$

$$Q = 4663 \text{ Kj}$$

7. Menghitung Energi yang dibutuhkan pada ruang pemanas

Energi yang dibutuhkan pada ruang pemanas dapat dihitung dengan :

$$Q_{dibutuhkan} = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

Dimana :

- $m = \rho \times V = 1,2 \text{ Kg/m}^3 \times 1,728 \text{ m}^3$
 $= 2,0736 \text{ Kg}$
- $\Delta T = T_2 - T_\infty = 60^\circ\text{C} - 32^\circ\text{C} = 28^\circ\text{C}$
- $C_p = \text{Kalor jenis udara} = 1005 \text{ J/Kg}^\circ\text{C}$

Sehingga :

$$Q_{dibutuhkan} = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$Q_{dibutuhkan} = 2,0736 \text{ Kg} \times 1005 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \times 28^\circ\text{C}$$

$$Q_{dibutuhkan} = 58351,10 \text{ Joule} = 58,35 \text{ kJ}$$

Jadi,energi yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu udara dalam ruang pemanas adalah sekitar 58351,10 Joule (58.35 kJ).

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari pembahasan diatas maka didapat beberapa kesimpulan diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Suhu pada tungku pembakaran pada proses pengeringan mencapai 106°C, sementara suhu ruang pemanas di pertahankan stabil pada 60 °C.
2. Penggunaan *exhaust fan* berfungsi saat mengendalikan suhu dimana suhu ruang pemanas stabil pada 60°C - 61°C.
3. Laju perpindahan panas bervariasi tergantung luas permukaan sisi tungku, dengan sisi atas dan bawah memiliki laju perpindahan panas tertinggi yaitu sebesar 1321,4 W.
4. Energi yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu udara dalam ruang pemanas hingga 60 °C adalah sekitar 58,35 kJ.

5.2 Saran

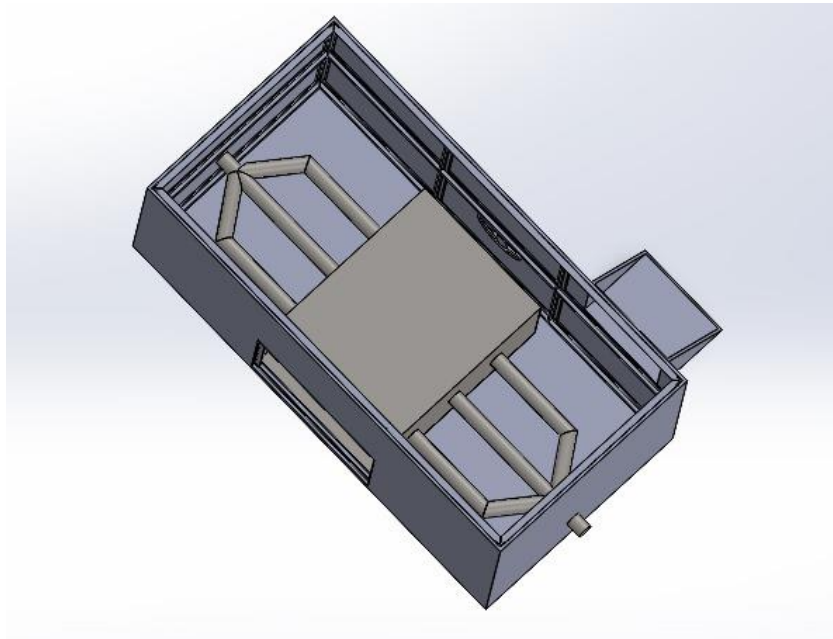
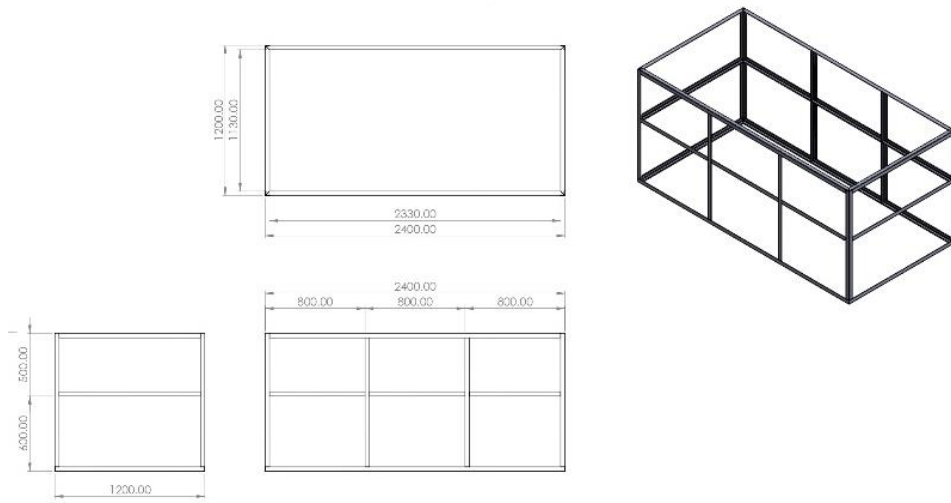
1. Lebih memperhatikan Suhu pada ruang pemanas saat melakukan pembakaran bahan bakar pada tungku sebelum memasukkan gabah basah untuk mencegah gabah menerima udara panas yang berlebihan saat pengeringan.
2. Pada saat pembakaran tempurung kelapa pastikan api menyala sudah mulai berkurang dan menyisakan bara api pada tungku pembakaran untuk mencegah kenaikan suhu yang berlebih pada gabah padi.
3. Penggunaan limbah sekam padi lebih diperhatikan untuk mencegah penurunan suhu pada proses pengeringan.
4. Dilakukan penelitian lanjutan mengenai perancangan untuk mendapatkan hasil box pengering dengan proses pengeringan yang lebih singkat dan optimal.

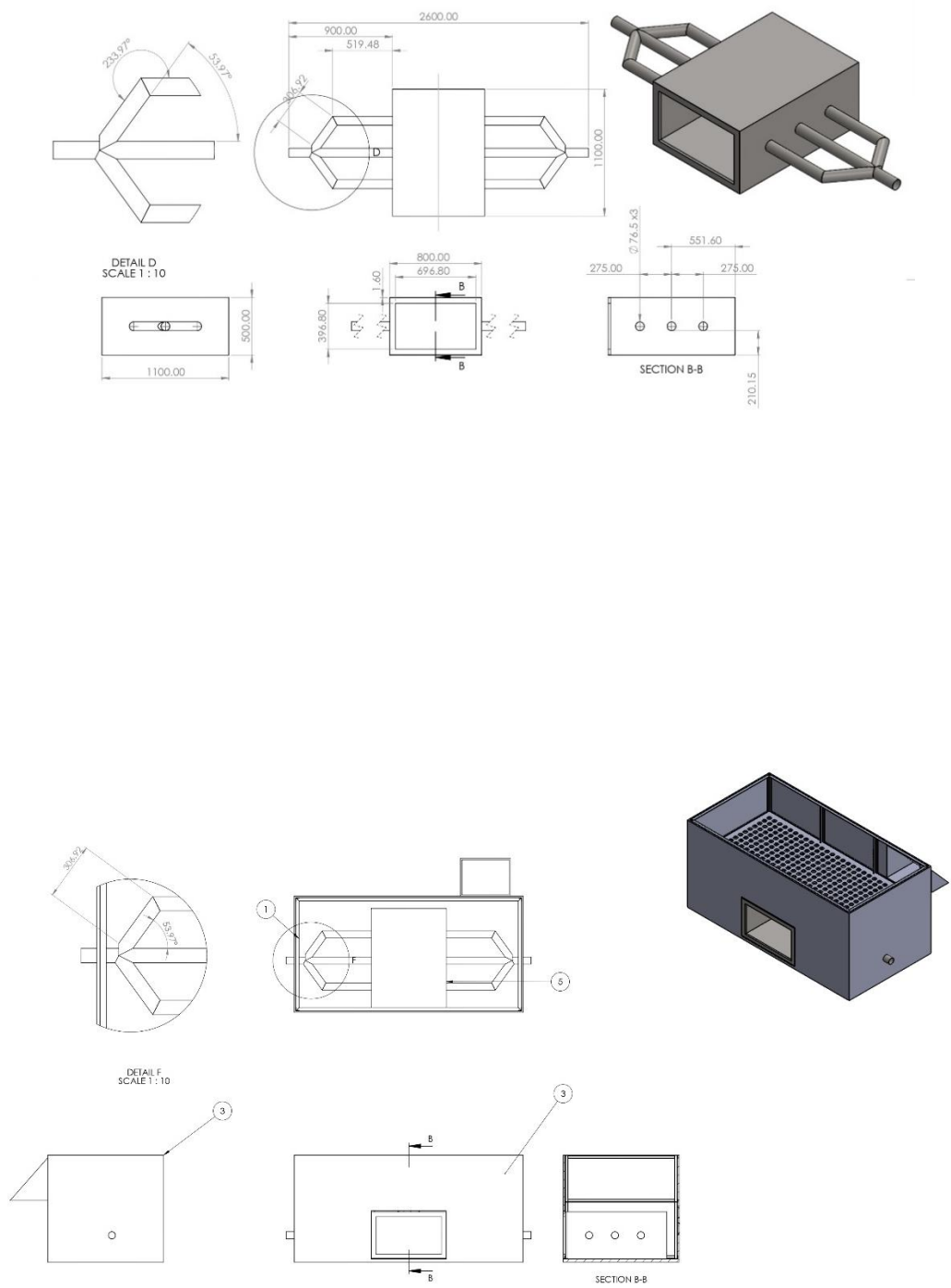
DAFTAR PUSTAKA

- Amin, S. J. (2018). Laju pindah panas dan massa pada proses pengeringan gabah menggunakan alat pengering tipe bak (batch dryer). *Jurnal Pendidikan Teknologi Pertanian*, 4, S87-S104.
- Amram, A. W. (2023). RANCANG BANGUN DAN PENGUJIAN ALAT PENERING GABAH TIPE RAK BERBAHAN BAKAR BIOMASSA BERBASIS MIKROKONTROLER.
- Ardiansyah, A. (2020). POTENSI BEKATUL SEBAGAI INGREDIEN PANGAN UNTUK MENCEGAH SINDROM METABOLIK. *Program studi ilmu dan teknologi pangan*.
- Chan Yefri, D. A. (2018). ANALISIS PENERINGAN SOHUN DENGAN MESIN PENERING HYBRID TIPE KONVEYOR OTOMATIS. *Jurnal Teknik Mesin Untirta Vol. IV, No. 2,, 39-42*.
- Djamalu, Y. (2021). Analisis Kinerja Mesin Pembersih dan Pengering Padi dengan Pemanas Surya Kolektor dan Tungku Biomassa. *Teknologi Pertanian Gorontalo*.
- Hartawan, Y. (2021). pengaruh Variasi Temperatur Udara dan Massa Bahan Terhadap Waktu Pengeringan Gabah Dengan Menggunakan Alat Fluidized Bed Dryer.
- Holman, J. P. (2010). *Heat Transfer*. New York: McGraw-Hill.
- Izaldi, D. L. (2023). Rancang Bangun Mesin Pengering Gabah Padi Dengan Menggunakan Bahan Bakar Sekam Padi Sebagai Sumber Energi Panas Yang Dihasilkan. *Jurnal Teknologi Rekayasa Teknik Mesin (JTRAIN)*, Vol. 4, No. 2, 2023: 111-116 .
- Karim, D. F. (2021). Uji kinerja alat pengering biji kakao (*Theobroma cacao* L.) tipe bak di PT. PP. London Sumatra Indonesia Tbk. Pungkol Estate. Cocos. *Jurnal Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Sam Ratulangi Manado*.
- Khathir Rita, H. S. (2021). Adaptasi teknologi pengering terowongan hohenheim aceh energi matahari pada ukm produsen Pliek U di Aceh Besar (Adaptation of type hohenheim aceh solar tunnel dryer for Pliek U industry in Aceh Besar). *Buletin Pengabdian Bulletin of Community Services*.
- Molenaar, R. (2020). Panen dan pascapanen padi, jagung dan kedelai. 26(1).
- Oktavianes, M. (2020). Rancang Bangun Alat Pengering Gabah Rotari (Rotary Dryer) Berbahan Bakar Biomassa Sekam. *Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya*.
- Pasaribu, R. (2020). Alat rotary dryer tipe hybrid termodifikasi untuk pengeringan gabah dengan energi biomassa sekam padi dan tempurung kelapa. *Jurnal Teknologi Rekayasa Teknik Mesin*.
- R, H. N. (2019). Pengaruh Penggunaan Kolektor Plat Datar pada Pengering Padi Tipe . *Jurnal Sistem Mekanik dan Termal*.
- Ramli, A. (2017). LAJU PENERINGAN GABAH MENGGUNAKAN PENERING TIPE EFEK RUMAH KACA (ERK) Drying Rate Of Grain

- Using Dryer Greenhouse Effect Type. *Jurnal Pendidikan Teknologi Pertanian*.
- Raybian Nur, M. A. (2020). Efektifitas alat pengering tipe box gabah padi (*Oryza Sativa* L.). *Jurnal Program Studi Teknik Mesin*.
- Rusli R, Y. S. (2018). HEAT CONDUCTIVITY AND HEAT TRANSFER COEFFICIENT ON GABAH (UNHULLED RICE) DRYING PROCESS USING A DRYER CABINET. *Jurnal Pendidikan Teknologi Pertanian*, 126-135.
- S. A. Putra, a. N. (2019). Analisis Energi Panas Pada Alat Pengeringan Gabah Tipe Swirling Fluidized Bed. *TEKNIK*, vol. 40, no. 2, pp. 84-90,.
- Saiful Amin, E. a. (2018). LAJU PINDAH PANAS DAN MASSA PADA PROSES PENGERINGAN GABAH. *Jurnal Pendidikan Teknologi Pertanian*, 4.
- Sitompul, M. T. (1997). *Alat Penukar Kalor (Heat Exchanger)*. Jakarta: Raja Grafindo Persada.
- Soekardi, C. (2015). *Termodinamika Dasar Mesin Konversi Energi*. Yogyakarta: Andi.
- Suhelmi, M. F. (2022). Perhitungan Efisiensi Pengeringan pada Mesin Pengering Gabah Tipe Flat Bed Dryer. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 15-20.
- Supriyanto, A. &. (2020). Pengaruh Kecepatan Angin Blower dan Jumlah Pipa Pemanas Terhadap Laju Pengeringan Gabah.
- Syahrul, S. M. (2021). Effect of paddy mass variations on the drying rate and efficiency of a continuous vertical dryer. *ournal of Applied Mechanics and Technical Physics*, 62, 230-237.
- Tanjung, A. (2020). Perancangan Alat Pengering Gabah Menggunakan Pemanas Udara dari Tungku Sekam Padi.
- Wardana, A. (2023). Rancang Bangun dan Pengujian Alat Pengering Gabah Tipe Rak Berbahan Bakar Biomassa Berbasis Mikrokontroler. *Doctoral dissertation Politeknik Negeri Ujung Pandang*.

LAMPIRAN









LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Judul : Analisis Laju Perpindahan Panas Pada Tungku Pembakaran
Untuk Proses Pengeringan Gabah Padi Dengan *Rice
Drying Box* Menggunakan Sekam Padi Dan Tempurung
Kelapa

Nama : Arya Amanda P

NPM : 2007230007

Dosen Pembimbing : Arya Rudi Nasution, S.T., M.T

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
----	--------------	----------	-------
