



**STUDI PEMANFAATAN PANAS UAP AIR
SEBAGAI PEMANAS TAMBAHAN
PADA PROSES PENGERINGAN KERUPUK IRIS
MENGUNAKAN ENERGI SURYA**

**KARYA ILMIAH TERTULIS
(SKRIPSI)**



Dijadikan guna memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Pendidikan Strata Satu Pada Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember

Oleh : Abdul Khafidh
No Induk : 981710201146
Tgl. 02 DEC 2002

9
Klass
664.944.3
KHA
✓
C.1

**JURUSAN TEKNIK PERTANIAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
UNIVERSITAS JEMBER
2002**

**STUDI PEMANFAATAN PANAS UAP AIR
SEBAGAI PEMANAS TAMBAHAN
PADA PROSES PENGERINGAN KERUPUK IRIS
MENGUNAKAN ENERGI SURYA**

**Karya Ilmiah Tertulis
(SKRIPSI)**

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat dalam
Meyelesaikan Pendidikan Program Strata Satu

Jurusan Teknik Pertanian
Fakultas Teknologi Pertanian
Universitas Jember

Pembimbing :

Ir. Siswijanto, MP. (DPU)

Ir. Suryanto, MP. (DPA)

Oleh :

ABD. KHAFIDH
NIM : 981710201146

**JURUSAN TEKNIK PERTANIAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
UNIVERSITAS JEMBER**

2001

DOSEN PEMBIMBING :

- 1. Ir. Siswijanto, MP (DPU)**
- 2. Ir. Suryanto, MP (DPA I)**
- 3. Ir. Muharjo, P (DPA II)**

HALAMAN PENGESAHAN

Diterima Oleh :

Jurusan Teknik Pertanian

Fakultas Teknologi Pertanian

Universitas Jember


Dipertahankan pada :

Hari : Selasa

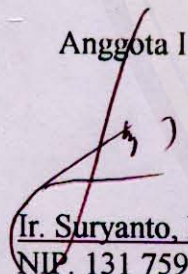
Tanggal : 29 Oktober 2002

Tempat : Fakultas Teknologi Pertanian

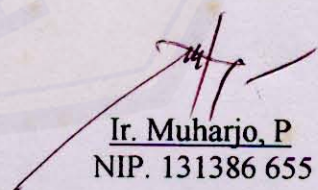
Tim Penguji
Ketua


Ir. Siswijanto, MP
NIP. 130 802 225

Anggota I

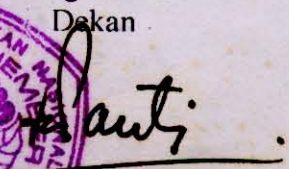

Ir. Suryanto, MP
NIP. 131 759 841

Anggota II


Ir. Muharjo, P
NIP. 131386 655

Mengesahkan
Dekan




Ir. Hj. Siti Hartanti, MP
NIP. 130 350 763

Motto :

1. Kunci keberhasilan dari suatu cita-cita adalah tidak menya-nyiakan kesempatan yang baik. (Chaveeth , 2002)

2.

- ❖ **Jadikanlah dirimu sebagai bunga bagi orang lain.**
- ❖ **Jangan puaskan dirimu sebagai pembaca dan penonton sejarah, tapi ciptakanlah dirimu sebagai pelaku dan bintang sejarah.**

(K.H Achmad Shiddiq)

3. Barang siapa menempuh suatu jalan untuk mencari ilmu, Allah SWT akan memudahkan kepadanya dengan ilmu itu jalan menuju syurga. (H.R Muslim)

3. Allah SWT meninggikan orang-orang yang beriman di antara kamu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat. (Q.S Al-Mujadalah : 11).

HALAMAN PERSEMBAHAN

Karya Ilmiah Tertulis ini kupersembahkan kepada :

1. Ayahanda Syamsuddin, M.A dan Ibunda Aminah, B.A; kedua orang tuaku yang senantiasa mencurahkan cinta kasih yang tiada tara.
2. Mas-mas dan Mba'-mba'ku (Dr. Syahiron, M.A "Ang Yon", Dra. Zuhroul Fauziyah "Mba' Ul", Achmad Zahid, S. Ag., SH "Ang Dedex ", Mba' Ning Na'imatul Husnan, Mba' Ainatu Ar-Rosichoh, Mas Han's, Mas Makhrus SY, Mba' Farchah, Mas Jum, Mas Yasin, Mba' Yayah Fajriyyah SY.) yang selalu memberi nasehat dan bimbingan ke arah kebenaran serta selalu memberi dorongan baik moril maupun materil.
3. Adik-adikku (Shulcha Sy, Chusni Kamali Sy, Umi Hani Sy, dan Hudallah SY.) yang selalu memberi senyum semangat dan tawa kebahagiaan.
4. Keponakan yang kusayangi ('Allina fi An-Najachi Syafa " AVIN", Syafiq Syafa, Eza Maulana Zana, Adellia Hana).
5. Guru-guruku : K.H Achmad Siddiq (Alm), Ny. Nihayah A.S, K.H Mahfudz A.H, dan K.H Syaiful MA
6. Sahabat – sahabatku (Sri Rohayati Al-balambany, Hade Kuntoro, Tarila As-Sunjavany, Erna Nursanti, Indah "Salsabila", Shimon "Aan" dan Vertu) terima kasih atas kesetiaan kalian dalam menemaniku baik suka maupun duka.
7. Santri-santri ASHTRA 201
8. Almamaterku; sebagai lumbung ilmu pengetahuan.

KATA PENGANTAR

Puji syukur “Alhamdulillah” kahadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahNya yang telah dilimpahkan, sehingga penulisan skripsi ini dapat diselesaikan.

Skripsi yang berjudul “Studi Pemanfaatan Panas Uap Air sebagai Pemanas Tambahan pada Proses Pengeringan KerpuK Iris Menggunakan Energi Surya” ini disusun guna memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan Program Sarjana Jurusan Teknik Pertanian pada Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.

Penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Ir. Hj. Siti Hartanti, MS, selaku Dekan Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember.
2. Ir. Siswijanto, MP, selaku Ketua Jurusan Teknik Pertanian dan Dosen Pembimbing Utama yang telah banyak memberi bimbingan dan arahan serta saran dalam penulisan skripsi ini.
3. Ir. Suryanto, MP, selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah banyak memberikan bimbingan dan arahan serta saran selama penulisan skripsi ini.
4. Ir. Muharjo, P, Selaku Anggota Tim Penguji yang telah memberikan koreksi serta saran dalam penulisan skripsi ini.
5. Ayah, Ibu, Ang Yon, Mba' UL, Mas Saye', dan Mba' Ning yang banyak memberikan dorongan dan semangat pada penulis.
6. Seluruh anggota “Einstein Agriculture” khususnya mereka yang tergabung dalam Mukhusran-Meifit, thank's banget atas dukungan kalian.
7. Rekan-rekan angkatan Salapan Delapan TEP khususnya Anom, Eko, dan Cha'i yang telah banyak membantu dalam penyelesaian penelitian.

8. The Big Family of Work Shop (Mas Agus, Mas Dian, Mas Tashor, dan Mas Dodik) yang membantu penulis selama penelitian dan memberi semangat walau terkadang menjengkelkan.
9. Pak Sumarto beserta Ibu yang telah bersedia memberikan ijin untuk melakukan kunjungan dan pengambilan bahan.
10. Semua pihak yang tak bisa disebutkan satu per satu yang banyak membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian penelitian dan penulisan skripsi ini.

Dalam penulisan skripsi ini penulis menyadari masih banyak kekurangan yang perlu disempurnakan. Untuk itu kritik dan saran senantiasa diharapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Semoga karya ini dapat memberi manfaat.

Jember, Oktober 2002

Penulis.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN DOSEN PEMBIMBING	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
RINGKASAN	xvi
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Kerupuk	4
2.2 Jenis-jenis Kerupuk	4
2.3 Proses Pembuatan Kerupuk	5
2.3.1 Pencampuran Adonan	6
2.3.2 Pencetakan	6
2.3.3 Pengukusan	6
2.3.4 Pemotongan / Pengirisan	7
2.3.5 Pengeringan	7
2.3.6 Pengemasan dan Penyimpanan	7

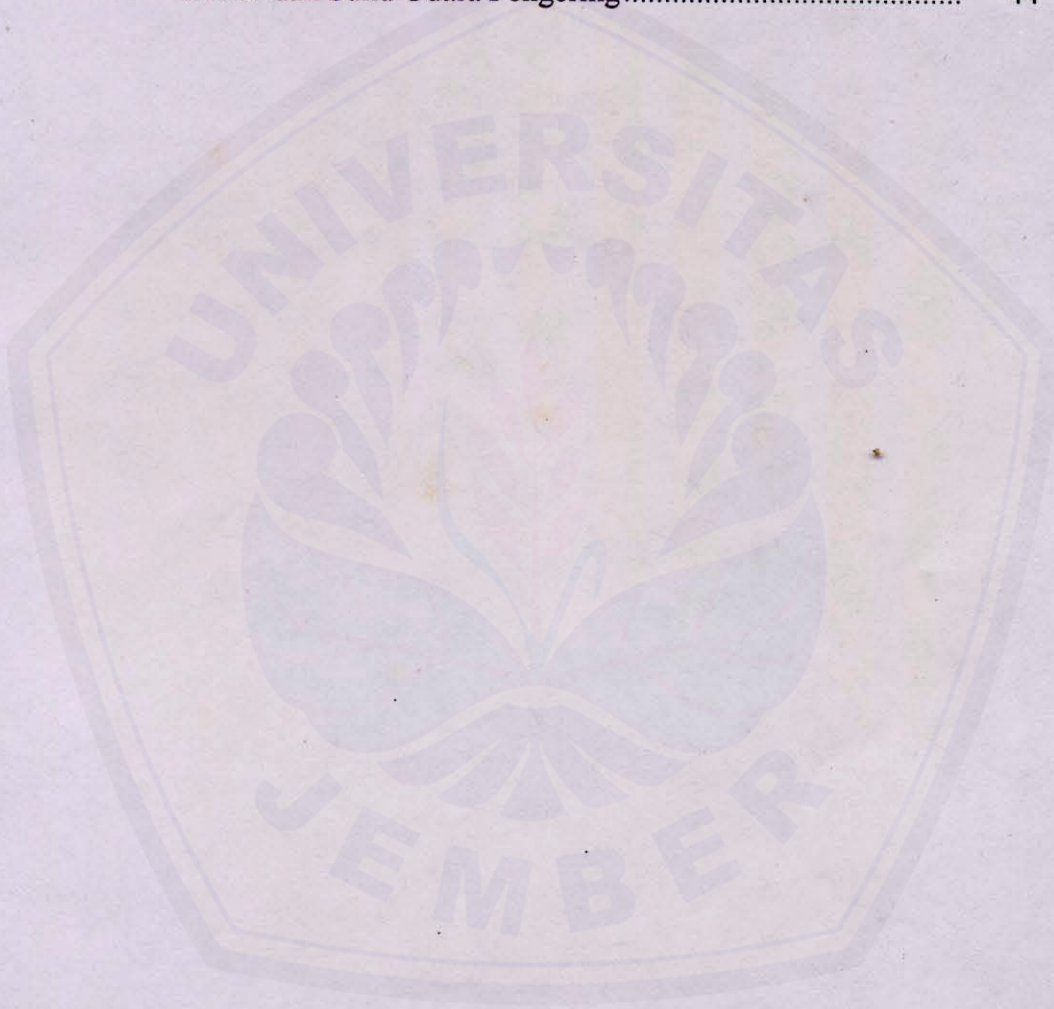
2.4 Pengeringan dengan Energi Surya.....	8
2.5 Kadar Air Bahan	9
2.6 Kadar Air Kesetimbangan	10
2.7 Proses Pengeringan	11
2.7.1 Proses Perpindahan Panas	11
2.7.2 Proses Perpindahan Massa	11
2.7.3 Periode Laju Pengeringan Konstan	12
2.7.4 Periode Laju Pengeringan Menurun.....	13
2.8 Pengaruh Suhu Udara pada Proses Pengeringan	14
2.9 Laju Pengeringan.....	14
2.10 Efisiensi Pengeriing.....	16
2.11 Uap Air (<i>Steam</i>).....	16
2.11.1 Proses Pembuatan Uap Air.....	16
2.11.2 Pembangkit Uap Air.....	17
2.12 Dasar-dasar pindah Panas.....	18
2.12.1 Pindah Panas Konveksi	18
2.12.2 Pindah Panas Konduksi	19
2.12.3 Pindah Panas Radiasi	19
III. METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	20
3.2 Bahan dan Alat Penelitian	20
3.2.1 Bahan	20
3.2.2 Alat	20
3.3 Pelaksanaan Penelitian	20
3.3.1 Perangkaian Alat	21
3.3.2 Metode Pengambilan Data	22
3.3.3 Perlakuan	25
3.3.4 Konstruksi Alat.....	25
3.4 Parameter yang Diukur.....	27

3.4 Analisa Teknik	28
3.4.1 Laju Pengeringan	28
3.4.2 Panas Sensibel	28
3.4.3 Panas Penguapan	29
3.4.4 Panas Radiasi.....	30
3.4.5 Panas yang Ditimbulkan oleh Boiler.....	30
3.4.6 Efisiensi Pengering.....	30
3.4.7 Efisiensi Pemanas (kompur).....	31
3.5 Metode Analisis	32
3.6 Asumsi-asumsi	32
IV. PEMBAHASAN	
4.1 Suhu Udara Pengering.....	33
4.2 Kadar Air Bahan	40
4.3 Laju Perpindahan Air	42
4.4 Panas yang Ditimbulkan <i>Steam Boiler</i>	43
4.5 Efisiensi Pengeringan.....	45
4.6 Efisiensi Pemanas	46
V. KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	48
5.2 Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Bagan Proses Pembuatan Kerupuk Iris.....	5
Gambar 2.1 Kurva Hubungan Kadar Air dan waktu	15
Gambar 2.2 Kurva Pengeringan	15
Gambar 3.1 Alat Pengering Energi Surya dan Uap Air Tampak dari Samping dan Atas dengan Dua atau Tiga Dimensi.....	26
Gambar 4.1 Grafik Hubungan antara Suhu Uap Air dalam <i>Steam Boiler</i> dan Suhu Ruang Pengering pada Perlakuan di Dalam Ruang dengan Bahan	35
Gambar 4.2 Grafik Hubungan antara Suhu Uap Air dalam <i>Steam Boiler</i> dan Suhu Ruang Pengering pada Perlakuan di Luar Ruang dengan Bahan	35
Gambar 4.3 Grafik Hubungan antara Suhu Uap Air dalam <i>Steam Boiler</i> dan Suhu Ruang Pengering pada Perlakuan di Dalam Ruang tanpa Bahan.....	35
Gambar 4.4 Grafik Hubungan antara Suhu Uap Air dalam <i>Steam Boiler</i> dan Suhu Ruang Pengering pada Perlakuan di Luar Ruang dengan Bahan	36
Gambar 4.5 Grafik Hubungan antara Suhu dan Waktu Pengeringan pada Perlakuan di Dalam Ruang dengan Bahan	37
Gambar 4.6 Grafik Hubungan antara Suhu dan Waktu Pengeringan pada Perlakuan di Luar Ruang dengan Bahan	37
Gambar 4.7 Grafik Hubungan antara Suhu dan Waktu Pengeringan pada Perlakuan di Dalam Ruang tanpa Bahan.....	37
Gambar 4.8 Grafik Hubungan antara Suhu dan Waktu Pengeringan pada Perlakuan di Luar Ruang tanpa Bahan	38
Gambar 4.9 Grafik Hubungan antara Suhu Pengering dengan RH Pengering dan RH Lingkungan dengan Suhu Pengering.....	39

Gambar 4.10 Grafik Hubungan Kadar Air dan Waktu Pengeringan pada Perlakuan di Dalam Ruang.....	40
Gambar 4.11 Grafik Hubungan Kadar Air dan Waktu Pengeringan pada Perlakuan di Luar Ruang.....	41
Gambar 4.12 Profil Hubungan antara Panas yang Ditimbulkan <i>Steam</i> <i>Boiler</i> dan Suhu Udara Pengering.....	44



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1 Data Suhu Pengering pada Perlakuan tanpa Bahan di Luar maupun di Dalam Ruangan.....	34
Tabel 4.2 Rata-rata Kadar Air Bahan pada Proses Pengeringan dengan berbagai Variasi Lapisan.....	40
Tabel 4.3 Data Uap Air yang Dikeluarkan Bahan.....	42
Tabel 4.4 Data Laju Perpindahan Uap Air.....	43
Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Panas yang ditimbulkan <i>Steam Boiler</i>	44
Tabel 4.6 Efisiensi Sistem Pengeringan Kerupuk Iris pada Perlakuan di Luar Ruangan.....	45
Tabel 4.7 Efisiensi Sistem Pengeringan Kerupuk Iris pada Perlakuan di Dalam Ruangan.....	45

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Data Suhu ($^{\circ}\text{C}$) dan RH (%) pada Perlakuan 1 Lapis di Dalam Ruangan Selama Proses Pengeringan Berlangsung.
- Lampiran 2. Data Suhu ($^{\circ}\text{C}$) dan RH (%) pada Perlakuan 2 Lapis di Dalam Ruangan Selama Proses Pengeringan Berlangsung.
- Lampiran 3. Data Suhu ($^{\circ}\text{C}$) dan RH (%) pada Perlakuan 3 Lapis di Dalam Ruangan Selama Proses Pengeringan Berlangsung.
- Lampiran 4. Data Suhu ($^{\circ}\text{C}$) dan RH (%) pada Perlakuan 1 Lapis di Luar Ruangan Selama Proses Pengeringan Berlangsung.
- Lampiran 5. Data Suhu ($^{\circ}\text{C}$) dan RH (%) pada Perlakuan 2 Lapis di Luar Ruangan Selama Proses Pengeringan Berlangsung.
- Lampiran 6. Data Suhu ($^{\circ}\text{C}$) dan RH (%) pada Perlakuan 3 Lapis di Luar Ruangan Selama Proses Pengeringan Berlangsung.
- Lampiran 7. Data Suhu ($^{\circ}\text{C}$) dan RH (%) pada Perlakuan Tanpa Bahan di Dalam Ruangan Selama Proses Pengeringan Berlangsung.
- Lampiran 8. Data Suhu ($^{\circ}\text{C}$) dan RH (%) pada Perlakuan Tanpa Bahan di Luar Ruangan Selama Proses Pengeringan Berlangsung.
- Lampiran 9. Data Suhu Steam Boiler ($^{\circ}\text{C}$) pada Berbagai Variasi Perlakuan.
- Lampiran 10. Data Penurunan Berat Bahan (gram) Selama Proses Pengeringan Berlangsung.
- Lampiran 11. Data Penurunan Kadar Air Rata-rata Bahan Tiap Jam pada Berbagai Variasi Perlakuan.
- Lampiran 12. Data Banyaknya Air yang Menguap dalam Steam Boiler (ml) Tiap Jam Selama Proses Pengeringan pada Perlakuan Tanpa Bahan di Dalam dan di Luar Ruangan.
- Lampiran 13. Data Bahan Bakar yang Digunakan Tiap Jam untuk Menguapkan Air Dalam Steam Boiler Selama Proses Pengeringan Berlangsung.
- Lampiran 14. Tabel Rata-rata Intensitas Radiasi Matahari (watt/m^2) Selama Pengeringan.

Lampiran 15. Hasil Perhitungan Efisiensi Pengeringan.

Lampiran 16. Hasil Perhitungan Efisiensi Kompor.

Lampiran 17. Contoh Perhitungan Nilai Efisiensi Pengeringan dengan Ketebalan Bahan 1 Lapis pada Perlakuan di Dalam Ruangan.

Lampiran 18. Contoh Perhitungan Nilai Efisiensi Kompor.

Lampiran 19. Foto Kegiatan



“Studi Pemanfaatan Panas Uap Air sebagai Pemanas Tambahan pada Proses Pengeringan Kerupuk Iris Menggunakan Energi Surya”. Abd. Khafidh¹, Ir. Siswijanto, MP², Ir. Suryanto, MP³, Ir. Muharjo P⁴.

RINGKASAN

Manusia mempunyai berbagai kebutuhan untuk menunjang keberadaannya di dunia selama dia hidup. Salah satu kebutuhan yang tidak dapat dihindari adalah kebutuhan akan adanya energi. Keberadaannya mutlak diperlukan untuk menambah aktifitas kehidupan sehari-hari. Berbagai macam bentuk energi sangat menunjang dalam membantu menjalankan atau mengatasi berbagai kebutuhan yang sangat diperlukan. Panas salah satu bentuk energi yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan hidup. Dalam industri pangan, kebutuhan panas dibutuhkan untuk proses pengeringan atau pemanasan bahan pangan.

Berbagai tahapan dilalui untuk menghasilkan suatu produk dalam industri pangan. Salah satu tahapan dalam proses yang seringkali dilakukan dalam industri pangan adalah pengeringan bahan. Pengeringan dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu dijemur pada sinar matahari langsung (Sun Drying), menggunakan alat pengering (Artificial Drying), dan kombinasi antara keduanya.

Cuaca atau iklim merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap usaha peningkatan produksi dan kualitas kerupuk iris. Hal ini disebabkan karena salah satu proses pengolahan kerupuk dipengaruhi oleh kondisi cuaca atau iklim tersebut. Akibat dari ketergantungan inilah proses produksi kerupuk iris terhambat dan dapat menurunkan pendapatan.

Dalam upaya meningkatkan mutu dan jumlah produksi kerupuk iris perlu dikembangkan teknologi pengeringan sebagai modifikasi cara tradisional yang mengacu pada aspek higienitas dan kecepatan proses pengeringan. Solusi yang dapat dijadikan alternatif adalah menggunakan alat pengering kerupuk bertenaga surya berbantu panas tambahan uap air atau alat pengering kerupuk yang hanya menggunakan panas uap air.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh pemanfaatan panas uap air terhadap kecepatan dan efisiensi sistem pengeringan kerupuk iris. Hasil penelitian menunjukkan bahwa besarnya nilai efisiensi sistem pengeringan yang hanya menggunakan panas uap air dengan perlakuan 1 lapis, 2 lapis, dan 3 lapis adalah sebesar 5,7 %, 8,13 %, dan 12,50 % dengan waktu yang diperlukan 5 sampai 6 jam. Sedang nilai efisiensi sistem pengering yang menggunakan kombinasi energi surya dan panas uap air pada perlakuan 1 lapis, 2 lapis, dan 3 lapis adalah sebesar 4,59 %, 6,94 %, dan 11,013 % dengan waktu yang diperlukan 4 sampai 5 jam.

¹ Mahasiswa Tingkat Sarjana Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember

² Dosen Pembimbing Utama

³ Dosen Pembimbing Anggota I

⁴ Dosen Pembimbing Anggota II



I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Manusia mempunyai berbagai kebutuhan untuk menunjang keberadaannya di dunia selama dia hidup. Salah satu kebutuhan yang tidak dapat dihindari adalah kebutuhan akan adanya energi. Keberadaannya mutlak diperlukan untuk menambah aktivitas kehidupan sehari-hari. Berbagai macam bentuk energi sangat menunjang dalam membantu menjalankan atau mengatasi berbagai kebutuhan yang sangat diperlukan. Panas salah satu bentuk energi yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan hidup. Dalam industri pangan, kebutuhan panas digunakan untuk proses pengeringan atau pemanasan bahan pangan.

Berbagai tahapan dilalui untuk menghasilkan suatu produk dalam industri pangan. Salah satu tahapan dalam proses yang seringkali dilakukan dalam industri pangan adalah pengeringan bahan. Pengeringan dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu dijemur pada sinar matahari langsung (*Sun Drying*), menggunakan alat pengering (*Artificial Drying*), dan kombinasi antara keduanya.

Kerupuk merupakan jenis produk makanan yang bersifat khas di Indonesia dan pada umumnya dikonsumsi sebagai makanan kecil atau lauk pauk. Pada proses pembuatan kerupuk tidak terlepas dari kebutuhan energi panas. Energi panas ini biasa digunakan sebagai media menurunkan kadar air bahan. Penurunan kadar air ini sangat penting artinya bagi proses pengolahan kerupuk selanjutnya. Sampai saat ini pengeringan kerupuk masih dilakukan secara alami atau konvensional, yaitu dengan penjemuran di alam terbuka di bawah terik matahari yang besar kemungkinan terjadi kontaminasi dengan berbagai macam kotoran yang ada di sekitar tempat penjemuran. Selain itu cara pengeringan ini memerlukan waktu yang cukup lama.

Dalam upaya meningkatkan mutu dan jumlah produksi perlu dikembangkan teknologi pengeringan kerupuk sebagai modifikasi cara tradisional yang mengacu pada aspek higienitas dan kecepatan proses pengeringan.

Uap panas atau *steam* adalah media yang sangat baik untuk mengangkut panas dan paling banyak dibutuhkan dalam proses pengolahan pangan. Sistem ini banyak digunakan karena memiliki kemampuan untuk menyimpan dan membebaskan panas dalam jumlah besar per satuan beratnya pada waktu kondensasi. Setiap kilogram steam dapat melepaskan panas sebesar 225,76156 KJ. Hal lain yang menyebabkan steam ini penting bagi pengolahan pangan adalah karena mudah disalurkan dan tidak memerlukan alat transport lain selain pipa penyalur dan perlengkapannya.

1.2 Permasalahan

Cuaca atau iklim merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap usaha peningkatan produksi dan kualitas mutu kerupuk. Hal ini disebabkan karena salah satu proses pembuatannya dipengaruhi oleh kondisi cuaca atau iklim tersebut. Akibat dari ketergantungan inilah proses produksi kerupuk terhambat dan dapat menurunkan pendapatan rumah tangga. Permasalahan yang timbul adalah bagaimana agar ketergantungan ini bisa diatasi sehingga dapat memberikan kontribusi yang sangat besar dalam peningkatan mutu dan jumlah produksi.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini, yaitu :

- 1) menentukan jumlah panas yang digunakan selama pengeringan berupa panas untuk menaikkan suhu bahan dan panas untuk menguapkan air bahan;
- 2) menentukan panas yang masuk ke sistem pengering yang berupa panas irradiasi surya dan panas buatan dari *steam* atau uap panas;
- 3) membandingkan kecepatan proses pengeringan antara metode pengeringan energi surya dengan metode pengeringan berbantu panas tambahan uap air maupun metode pengeringan yang hanya menggunakan uap air;
- 4) menentukan besarnya efisiensi pengeringan kerupuk menggunakan alat pengering energi surya berbantu panas tambahan uap air;
- 5) menentukan efisiensi pengeringan kerupuk menggunakan panas uap air.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan informasi dan acuan bagi kalangan pengusaha kerupuk tentang proses pengeringan kerupuk dengan menggunakan alat pengering mekanis bertenaga surya berbantu panas tambahan uap air.





II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kerupuk

Kerupuk merupakan jenis produk makanan yang bersifat khas di Indonesia dan pada umumnya dikonsumsi sebagai makanan kecil atau lauk pauk. Selain itu jenis makanan ini dikonsumsi sebagai makanan yang mampu membangkitkan selera makan. Kerupuk dikenal baik di segala usia maupun tingkat sosial masyarakat. Kerupuk mudah diperoleh di segala tempat, baik di kedai pinggir jalan, di supermarket, maupun restoran hotel berbintang.

Banyak jenis kerupuk dibuat orang, mulai dari kerupuk yang dibuat dari beras, tepung terigu, ataupun dari tepung tapioka. Bahan-bahan tersebut dapat diramu dengan bahan tambahan sehingga menjadi kerupuk udang, kerupuk ikan, maupun kerupuk-kerupuk dengan rasa yang lain. Pembuatan aneka jenis kerupuk ini tidak memerlukan keterampilan khusus sehingga dapat dilakukan sebagai industri rumah tangga.

Usaha di bidang kerupuk ini mampu meningkatkan pendapatan masyarakat. Mengingat kerupuk berharga murah (berkisar 50 – 500 rupiah per biji) dan sudah akrab dengan lidah masyarakat Indonesia, tidak mengherankan jika usaha di bidang kerupuk cukup memiliki prospek yang cerah (Wahyono dan Marzuki, 2000).

2.2 Jenis-Jenis Kerupuk

Banyak ragam jenis dan bentuk kerupuk yang dijual di pasaran. Jenis makanan ini bergantung pada jenis bahan bakunya, sedangkan variasi bentuknya tergantung pada daya kreatifitas pembuatnya (Wahyono dan Marzuki, 2000). Adapun jenis-jenis kerupuk yang biasa dipasarkan di masyarakat adalah sebagai berikut :

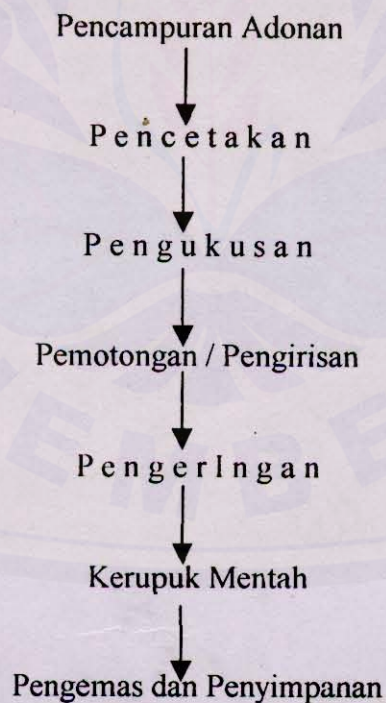
1. kerupuk Kentang
2. kerupuk Wortel
3. kerupuk THR
4. kerupuk Puli

5. kerupuk Udang
6. kerupuk Singkong
7. kerupuk Rengginang
8. kerupuk Iris
9. kerupuk Rambak, dan
10. kerupuk Uyel.

2.3 Proses Pembuatan Kerupuk Iris

Proses pembuatan kerupuk sangat menentukan mutu akhir dari kerupuk tersebut. Proses pembuatan kerupuk akan menentukan cita rasa, kerenyahan, dan warna yang khas. Pada dasarnya proses pembuatan berbagai jenis kerupuk sama. Namun yang membedakannya adalah bumbu dan bahan yang digunakan.

Tahap-tahap proses pembuatan kerupuk iris adalah sebagai berikut :



Gambar 2.1 Bagan Proses Pembuatan Kerupuk Iris

2.3.1 Pencampuran Adonan

Pencampuran adonan dilakukan ketika semua bahan dan bumbu yang digunakan telah dipersiapkan. Menurut Matz (dalam Wahyono dan Marzuki, 2000), pada saat pencampuran antara tepung dengan air akan terjadi suspensi pati dalam air tapi membentuk gel. Jika suspensi tersebut ditingkatkan suhunya, maka granula pati akan menyerap air dan mengembang. Pada proses pendinginan, kekentalan / kepekatan pati yang tergelatinisasi akan mengeras, hingga akan memudahkan dalam pengerasan.

2.3.2 Pencetakan

Pencetakan merupakan tahap kedua. Proses pencetakan dilakukan dengan cara adonan yang telah terbentuk dimasukkan ke dalam tabung pencetak yang bagian bawahnya berlubang kecil. Adonan yang berada di dalam tabung alat cetak dikeluarkan dengan cara menekan dari bagian atas tabung. Adonan yang keluar dari tabung ditampung dengan menggunakan tutup kaleng sambil digerakkan secara memutar oleh pekerja (Wahyono dan Marzuki, 2000).

2.3.3 Pengukusan

Setelah dilakukan pencetakan langkah selanjutnya adalah pengukusan. Menurut Gaman dan Sherrington (dalam Wahyono dan Marzuki, 2000), proses yang berlangsung pada saat pengukusan kerupuk adalah terjadinya gelatinisasi pati penting dalam proses pengolahan, karena akan menaikkan viscositas adonan sehingga granula-granula pati saling melekat dan tidak dapat dipisahkan.

Perubahan sifat fisik adonan yang terjadi pada saat pengukusan kerupuk adalah terjadi pada saat pengukusan dapat diamati dengan terbentuknya gel yang lebih padat dan elastis. Menurut Desrosier (1988), beberapa sifat pati adalah tidak larut dalam air dingin, tapi dalam air panas dapat membentuk gel yang bersifat kental dengan adanya pati yang bercampur bahan-bahan lain dalam adonan akan membentuk adonan yang kompak dan homogen.

2.3.4 Pemotongan / Pengirisan

Setelah pengukusan selesai dibiarkan beberapa menit kemudian dilakukan pemotongan atau pengirisan. Pemotongan atau pengirisan dimaksudkan untuk membuat ukuran dan bentuk kerupuk. Pengirisan bisa berbentuk empat persegi panjang, bulat panjang, dll. (Wahyono dan Marzuki, 2000).

2.3.5 Pengeringan

Pengeringan merupakan suatu operasi yang cukup penting artinya dalam industri bahan pangan, pengawetan bahan serta pengamanan hasil pertanian. Pengeringan dapat dilakukan dengan beberapa cara diantaranya dengan penjemuran di bawah sinar matahari. Pengeringan merupakan suatu metode untuk menghilangkan atau mengeluarkan sebagian air dari bahan dengan cara menguapkan air tersebut dengan menggunakan energi panas. Adanya molekul air yang melepaskan diri dari bahan ke udara menyebabkan berat bahan berkurang, volume lebih kecil, dan bahan menjadi awet (Winarno dkk., 1980).

Proses pengeringan kerupuk bertujuan untuk menurunkan kadar air sampai 10 –12%. Kadar air akan berpengaruh terhadap tekstur, kerenyahan, dan pengembangan kerupuk selama penggorengan (Basuki, 1985).

2.3.6 Pengemasan, Penyimpanan, dan Pemasaran

Pengemasan merupakan tahap akhir dari proses produksi. Setelah kerupuk mentah kering, langkah selanjutnya adalah melakukan pengemasan dengan menggunakan kantong-kantong plastik kemudian disimpan dalam gudang atau ruang penyimpanan (Wahyono dan Marzuki, 2000).

Setelah proses pembuatan kerupuk selesai dilakukan, selanjutnya dilakukan pemasaran. Produk ini biasanya dipasarkan di warung-warung nasi atau warung yang menyediakan lauk pauk dan bahan untuk keperluan memasak. Target konsumen utama dari produk ini adalah masyarakat kalangan menengah ke bawah karena harga jualnya murah mulai dari Rp.100,- sampai Rp.500,- sehingga sebagian besar dari mereka mampu untuk membelinya. Melihat harga yang cukup

murah dan minat beli konsumen yang tinggi maka kerupuk iris merupakan salah satu produk yang prospektif untuk dikembangkan.

2.4 Pengeringan dengan Energi Surya

Pemakaian energi surya untuk pengeringan hasil-hasil pengeringan adalah sangat sesuai untuk daerah-daerah tropis seperti India (Kalra dan Bharwaj, 1980) juga untuk Indonesia. Pengeringan dengan cara dihamparkan saja, yang banyak dilakukan di Indonesia untuk mengeringkan produk hasil-hasil pertanian jelas kebersihan produknya tidak terjamin.

Pengembangan pengering tenaga surya dengan sedikit modifikasi sudah cukup untuk menjaga kebersihan produk yang dikeringkan misalnya dengan menutup plastik tembus cahaya di atas bahan yang dikeringkan.

Dua model pengering energi surya telah dikembangkan oleh Kalra dan Bharwaj (1980). Model pertama ruang pengering terpisah dengan ruang pemanasan udara sehingga bahan tidak langsung terkena sinar matahari selama operasi pengeringan. Tipe pengering ini bisa mencapai 10 – 20 °C lebih tinggi dibandingkan dengan udara luar. Model kedua tidak terjadi pemisahan antar ruang pengeringan dan ruang pemanasan udara, sehingga berdasarkan konstruksi yang demikian bahan yang dikeringkan langsung terkena sinar matahari. Pada model ini suhu yang bisa dicapai oleh alat pengering lebih tinggi dibandingkan model pertama, yaitu bisa mencapai 20 – 30 °C lebih tinggi dibandingkan dengan suhu udara luar. Pada kedua model pengering tenaga surya ini walaupun suhunya sudah bisa dikendalikan dan produknya bersih dari debu dan kotoran-kotoran lainnya, namun masih tergantung pada cuaca yang baik.

Menurut Taib dkk.(1988), berdasarkan prinsip kerjanya, alat pengering hasil pertanian yang menggunakan energi surya terdiri atas dua jenis yaitu sistem pasif dan sistem hibrid. Pengeringan sistem pasif memanfaatkan radiasi surya dan kecepatan angin tanpa tambahan sumber energi selain energi surya. Pengeringan sistem Hibrid memanfaatkan energi surya dengan tambahan sumber energi lain (listrik, bahan bakar, dll.).

Kadir (1989) menyatakan bahwa, efektifitas pemanfaatan tenaga surya dapat ditingkatkan dengan menggunakan sistem kolektor. Kolektor umumnya ditutup dengan kaca atau plastik transparan untuk mengisolasi energi panas yang terbentuk.

Radiasi matahari tidak langsung mengenai tumpukan bahan akan tetapi menembus lapisan plastik transparan atau kaca, radiasi matahari tertahan di dalamnya sehingga menghangatkan udara. Pada prinsipnya alat ini berfungsi untuk memanaskan udara kemudian dihembuskan ke ruang pengering (Taib dkk., 1988).

Menurut Abdullah. dkk. (1998) pengukuran energi surya dapat dilakukan dengan menggunakan jenis alat antara lain:

- a) Pirheliometer, suatu alat untuk mengukur radiasi langsung. Untuk itu alat harus selalu mengarah ke arah matahari.
- b) Pyranometer, suatu alat untuk mengukur radiasi surya global (radiasi langsung ditambah radiasi baur dari arah setengah bola dan sekeliling alat). Alat ini dapat juga mengukur radiasi baur saja bila sensor radiasi yang datang dari arah surya.

Menurut Taib dkk. (1998), pengering energi surya mempunyai tiga bagian utama yaitu :

- a) plastik transparan atau kaca, digunakan sebagai permukaan untuk menyerap panas;
- b) kotak unit absorpsi panas, bagian bawah kotak terbuat dari bahan isolasi seperti abu sekam atau serat kayu;
- c) kipas untuk mengalirkan udara ke ruang pengering.

2.5 Kadar Air Bahan

Air merupakan komponen yang sangat penting bagi kehidupan manusia dan fungsinya tidak pernah dapat digantikan oleh senyawa lain. Air juga merupakan komponen penting dalam bahan makanan karena air dapat mempengaruhi kenampakan, tekstur serta cita rasa makanan (Winarno dkk., 1984).

Kadar air bahan menunjukkan banyaknya kandungan air per satuan berat bahan. Dua metode untuk menentukan kadar air bahan yaitu berdasar bobot kering (dry basis) dan bobot basah (wet basis) (Taib dkk., 1988).

Menurut Taib, dkk. (1988), penentuan kadar air bahan hasil pertanian biasanya dilakukan berdasar bobot basah (wet basis). Dalam perhitungan ini berlaku rumus sebagai berikut :

$$M_{wb} = \frac{w_a}{w_b} \times 100\% \dots\dots\dots 2.1$$

Keterangan :

M_{wb} = kadar air bahan berdasar bobot basah (%)

w_a = bobot air bahan (kg)

w_b = bobot bahan basah (kg)

Di dalam suatu analisis bahan menurut Taib, dkk.(1988), biasanya kadar air bahan ditentukan berdasarkan sistem bobot kering. Ini disebabkan karena perhitungan berdasarkan bobot basah mempunyai kelemahan yakni bobot basah selalu berubah-ubah setiap saat. Kalau berdasar bobot kering bahan selalu tetap. Dalam perhitungan kadar air bahan berdasar bobot kering berlaku rumus :

$$M_{db} = \frac{w_a}{w_k} \times 100\% \dots\dots\dots 2.2$$

Keterangan :

M_{db} = kadar air bahan berdasar bobot kering (%)

w_k = bobot bahan basis kering (kg)

2.6 Kadar Air Kesetimbangan

Kadar Air Setimbang (KAS) atau Equilibrium Moisture Content (EMC) adalah keseimbangan antara kadar air bahan dengan suhu dan kelembaban udara sekelilingnya . Jika suatu bahan hasil pertanian dengan kadar air mula-mula tertentu ditempatkan pada lingkungan dengan suhu dan kelembaban tertentu, maka kadar air bahan tersebut akan berubah sampai kadar air keseimbangan (EMC) antara air dalam bahan dengan air di udara. Bahan yang dapat melepas dan menyerap air disebut sebagai bahan higroskopis (Taib dkk., 1988).

Menurut Brooker dkk. (1992), kadar air kesetimbangan dipengaruhi oleh kecepatan aliran udara dalam ruang pengering, suhu dan kelembaban nisbi udara, jenis bahan yang dikeringkan serta tingkat kematangan.

Proses pengeringan dapat terjadi jika kombinasi suhu dan kelembaban udara memungkinkan bahan melepaskan air agar tercapai kadar air keseimbangan. Kadar air kesimbangan menentukan batas pengeringan. Dengan udara pada kelembaban nisbi dan suhu tertentu bahan higroskopis hanya dapat kering sampai tercapai kadar air keseimbangan saja (Taib dkk., 1988).

2.7 Proses Pengeringan

Proses pengeringan diperoleh dengan cara penguapan air. Cara ini dilakukan dengan menurunkan kelembaban nisbi udara dengan mengalirkan udara panas di sekeliling bahan, sehingga tekanan uap air bahan lebih besar daripada tekanan uap air di udara. Perbedaan tekanan ini menyebabkan terjadinya aliran uap air dari bahan ke udara.

Peristiwa yang terjadi selama pengeringan meliputi dua proses yaitu proses perpindahan panas dan proses perpindahan massa. Hal mana kedua proses tersebut dapat dibagi menjadi dua periode yaitu periode laju pengeringan konstan dan periode pengeringan menurun.

2.7.1 Proses Perpindahan Panas

Proses perpindahan panas terjadi karena suhu bahan lebih rendah daripada suhu udara yang dialirkan di sekelilingnya. Panas yang diberikan ini akan menaikkan suhu bahan dan menyebabkan tekanan uap air dalam bahan lebih tinggi daripada tekanan uap air di udara sehingga terjadi perpindahan air dari bahan ke udara yang merupakan perpindahan massa.

2.7.2 Proses Perpindahan Massa

Proses perpindahan massa, yaitu proses perpindahan massa uap air dari permukaan bahan ke udara. Sebelum proses pengeringan berlangsung, tekanan uap air di dalam bahan berada dalam keseimbangan dengan tekanan uap air di

udara sekitarnya. Pada saat pengeringan dimulai, uap panas yang dialirkan meliputi permukaan bahan akan menaikkan tekanan uap air, terutama daerah permukaan, sejalan dengan kenaikan suhunya.

Pada saat proses ini terjadi, perpindahan massa dari bahan ke udara dalam bentuk uap air berlangsung atau terjadi pengeringan pada permukaan bahan. Setelah itu tekanan uap air pada permukaan bahan akan menurun. Setelah kenaikan suhu terjadi pada seluruh bagian bahan, maka terjadi pergerakan air secara difusi dari bahan ke permukaannya dan seterusnya proses penguapan pada permukaan bahan diulangi lagi. Akhirnya setelah air bahan berkurang, tekanan uap air bahan akan menurun sampai terjadi keseimbangan dengan udara sekitarnya (Taib dkk., 1988).

2.7.3 Periode Laju Pengeringan Konstan

Pada periode ini, bahan mengandung air cukup banyak, hal mana pada permukaan bahan berlangsung penguapan yang lajunya dapat disamakan dengan laju penguapan pada permukaan air bebas. Laju penguapan sebagian besar tergantung pada keadaan sekeliling bahan, sedangkan pengaruh bahannya sendiri relatif kecil. Periode ini berakhir pada saat laju difusi air dari dalam bahan turun sehingga lebih lambat daripada laju penguapan. Pada pengeringan hasil pertanian, periode ini berlangsung dalam waktu yang singkat (Henderson dan Perry, 1955).

Menurut Brooker dkk. (1992) laju pengeringan konstan dapat dicari dengan menggunakan rumus :

$$\frac{dM}{dt} = \frac{h' A}{hfg} (T_{\infty} - T_{wb}) \dots\dots\dots 2.3$$

Keterangan : •

dM/dt = laju pengeringan (kg/jam)

h' = koefisien perpindahan panas ($w/m^2 \text{ } ^\circ C$)

A = luas permukaan bahan (m^2)

T_{∞} = suhu bola kering udara pengering ($^\circ C$)

T_{wb} = suhu bola basah udara pengering ($^\circ C$)

Taib, dkk. (1988) mengemukakan bahwa laju pengeringan tetap tergantung pada empat hal yaitu : (a) luas permukaan pengeringan, (b) perbedaan kelembaban antara aliran udara pengering dengan permukaan basah, (c) koefisien pindah massa, dan (d) kecepatan aliran udara.

2.7.4 Periode Laju Pengeringan Menurun

Pada tahap kecepatan pengeringan menurun, kecepatan pengeringan dipengaruhi oleh transfer massa dari air di dalam bahan secara difusi di samping kemungkinan lain, yaitu: karena gerakan air oleh gaya kapiler. Periode laju pengeringan menurun terjadi setelah periode laju konstan. Kadar air kritis terjadi antara periode laju konstan dan menurun. Kadar air kritis adalah kadar air bahan minimum saat mana laju aliran bebas ke permukaan bahan seimbang dengan laju pergerakan penguapan air dari bahan maksimal selama kondisi pengeringan (Hall, 1980).

Menurut Brooker dkk. (1992), laju pengeringan menurun dapat dicari dengan menggunakan persamaan :

$$\frac{dM}{dt} = D \left(\frac{d^2 M}{dr^2} + \frac{c}{r} \frac{dM}{dr} \right) \dots\dots\dots 2.4$$

Jika berbentuk slab :

$$\frac{dM}{dt} = D \left(\frac{d^2 M}{dr^2} \right) \dots\dots\dots 2.5$$

Jika berbentuk bola :

$$\frac{dM}{dt} = D \left(\frac{d^2 M}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{dM}{dr} \right) \dots\dots\dots 2.6$$

Jika berbentuk silinder :

$$\frac{dM}{dt} = D \left(\frac{d^2 M}{dr^2} + \frac{dM}{r \cdot dr} \right) \dots\dots\dots 2.7$$

Keterangan :

- dM/dt = laju pengeringan menurun
- D = difusifitas massa (m^2/jam)
- M = kadar air bahan basis kering (%)
- C = konstanta pengeringan
- r = jari-jari bahan (m)

2.8 Pengaruh Suhu Udara Pada Proses Pengeringan

Pada proses pengeringan suhu udara pengering memegang peranan penting. Semakin besar perbedaan antara suhu pemanasan dengan bahan yang akan dikeringkan semakin besar pula kecepatan pindah panas ke dalam bahan pangan, sehingga penguapan air dari bahan akan lebih banyak dan cepat ke udara. Di ruang pengering terjadi perpindahan energi panas dari udara pengering ke bahan pertanian akibatnya air di dalam bahan akan berubah menjadi uap. Semakin tinggi suhu udara pengering semakin cepat proses perpindahan panas antara udara pengering dan bahan akibatnya uap air yang dikeluarkan dari bahan akan semakin cepat.

2.9 Laju Pengeringan

Laju pengeringan dalam pengeringan suatu bahan mempunyai arti yang penting karena laju pengeringan menggambarkan bagaimana cepatnya pengeringan tersebut berlangsung. Untuk mengetahui berapa besarnya laju pengeringan dari suatu proses pengeringan maka perlu dilakukan pengukuran banyaknya uap air yang diuapkan. Secara sederhana laju pengeringan diartikan jumlah pound air yang diuapkan per bahan kering per jam. Selanjutnya dapat dibuat kurva pengeringan dari bahan yang bersangkutan (Anonim,1988)

panas pada fase campuran ini, temperatur tidak naik akan tetapi energi panas terserap pada proses. Akhir dari fase campuran ini adalah terbentuknya uap air secara keseluruhan (disebut mendidih) ditandai dengan suhu 100°C dan dengan tekanan 1 atm. Jumlah energi yang terserap selama proses transformasi ini disebut panas penguapan (panas laten) yang besarnya 970,4 KJ tiap lb. Kondisi uap pada $1,033\text{ kg/cm}^2$ absolut dan 100°C disebut kondisi jenuh (saturasi). Uap yang terbentuk pada suhu dan tekanan saturasi disebut uap saturasi. Bila pemanasan (pemberian energi panas) dilanjutkan di bawah tekanan standart yang konstan makasuhu uap akan naik. Uap yang dihasilkan pada kondisi ini disebut uap panas lanjut atau adi panas (Muin,1988).

2.11.2 Pembangkit Uap Air (*Steam Boiler*)

Adalah suatu instalasi tekanan yang didisain untuk menghasilkan uap air dengan penambahan panas yang terdiri dari ruang tertutup yang mempunyai ruang untuk diisi air pada pipanya dan ruangan atasnya untuk uap air (Muin, 1988)

Menurut Budikase (1986), pembangkit steam dapat dibedakan menjadi dua jenis menurut fluida yang mengalir dalam pipanya yaitu :

a. pembangkit stim tipe pipa api (*Fire Tube Boiler*)

Pembangkit jenis ini fluida yang mengalir dalam pipa adalah gas nyala (*thermal energy*). Nyala api yang berada dalam pipa tersebut kemudian memanaskan air yang berada dalam satu media. Biasanya pembangkit jenis ini digunakan untuk pembangkit-pembangkit tipe kecil dan sedang. Kemudahan yang didapat dari jenis ini yakni distribusi panas lebih mudah dan sekaligus lebih konstan.

b. pembangkit stim tipe pipa air (*Water Tube Boiler*)

Fluida yang mengalir dalam pipa adalah air, sedangkan unit pemanasannya didapat dari tungku pemanas maupun berupa ruang dapur. Sirkulasi air terjadi secara alami atau dapat menggunakan tenaga pompa, air kemudian mengalir pada pipa dalam ruang pemanas. Pembangkit tipe ini biasanya lebih efisien daripada ketel pipa api, dan pemanasannya lebih cepat serta tidak terlalu berbahaya. Disain dari pembangkit tipe ini lebih sederhana serta lebih mudah dalam pemasangannya.

2.12 Dasar-Dasar Pindah Panas

Sebenarnya kedudukan molekul atom zat padat tidak diam, tetapi dalam keadaan bergerak. Sifat-sifat zat padat tergantung kepada atom-atom pembangunnya yang terikat satu sama lain menurut berbagai cara seperti ikatan molekul. Di samping itu logam mempunyai daya hantar listrik maupun panas yang tinggi karena elektron-elektron bebasnya dapat berpindah-pindah melalui struktur kristalnya. Dalam proses pindah panas yang terjadi dalam pembangkit steam ada dua jenis, yaitu : konduksi, yaitu perpindahan panas yang terjadi melalui perantara zat padat, dan selanjutnya yakni perpindahan panas secara konveksi (melalui zat cair).

2.12.1 Pindah Panas Konveksi

Konveksi adalah proses perpindahan panas dari suatu permukaan ke fluida. Perpindahan panas secara konveksi dari permukaan ke fluida berlangsung beberapa tahap yaitu panas mengalir dari permukaan ke partikel fluida secara konduksi, energi yang berpindah akan menaikkan suhu dan energi dalam partikel fluida. Kemudian bergerak dan memindahkan energi ke partikel fluida lainnya sehingga alirannya adalah aliran fluida dan energi sebagai akibat gerakan massa partikel fluida (Kreith, 1986).

Menurut Holman (1994), besarnya panas yang ditimbulkan dari proses pindah panas konveksi dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$q_{konv} = h \cdot A \cdot (T_w - T_{\infty}) \dots \dots \dots 2.8$$

Keterangan:

q_{konv} = panas konveksi (watt)

$T_w - T_{\infty}$ = beda suhu antara dinding dan fluida ($^{\circ}\text{C}$)

h' = koefisien panas konveksi ($\text{w}/\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$)

A = luas bidang pemanas (m^2)

2.12.2 Pindah Panas Konduksi

Konduksi adalah cara pindah panas yang terjadi karena kontak langsung dengan molekul yang lain (Kreith, 1986). Persamaan pindah panas secara konduksi dapat ditulis sebagai berikut :

$$q_k = \frac{-K \cdot A \cdot dT}{dx} \dots\dots\dots 2.9$$

Keterangan :

q_k = panas konduksi (watt)

k = koefisien panas konduksi (w/m °C)

dT/dx = gradien suhu ke arah perpindahan kalor (°C/m)

2.12.3 Pindah Panas Radiasi

Pindah panas secara pancaran adalah pemindahan energi panas pemancaran elektromagnetik. Pemancaran terjadi dengan sendirinya bebas dari medium tempat terjadi dan dipengaruhi oleh suhu relatif, susunan jatuh dan struktur permukaan bahan yang menahan atau menyerap panas.

Menurut Holman (1994) rumus dasar pindah panas dengan pemancaran adalah hukum Stefan-Boltzman:

$$q_{rad} = \sigma \cdot A \cdot T^4 \dots\dots\dots 2.10$$

Keterangan :

q_{rad} = panas radiasi (watt)

σ = konstanta Stefan-Boltzman
= $5,699 \times 10^{-8}$ w/m²K

$(\Delta T)^4$ = gradien suhu yang terjadi (K⁴)



III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli s.d Agustus 2002 di laboratorium Alat dan Mesin Pertanian, Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember.

3.2 Bahan dan Alat Penelitian

Adapun bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian ini dapat dirinci sebagai berikut :

3.2.1 Bahan

Bahan yang digunakan untuk penelitian ini adalah kerupuk iris basah yang terbuat dari tepung beras yang mempunyai ketebalan rata-rata 3 mm, air, dan minyak tanah.

3.2.2 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian antara lain kompor minyak, *Steam Boiler*, pipa uap, timbangan digital, bak air, pipa air, sensor suhu dan kelembaban yang dihubungkan dengan komputer, Multitester digital, oven, ring sampel, eksikator, blower, luxmeter, anemometer, dan unit pengering mekanis bertenaga surya

3.3 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian tentang "Studi Pemanfaatan Panas Uap Air sebagai Pemanas Tambahan pada Proses Pengeringan Kerupuk Iris Menggunakan Energi Surya" ini dilaksanakan dengan terlebih dahulu menyiapkan bahan dan alat yang dibutuhkan dalam pengambilan data. Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah kerupuk Iris mentah yang telah dikukus dengan kadar air sekitar 39-45%. Variasi perlakuan yang dilakukan dalam penelitian ini terdiri dari tiga variasi, yaitu ketebalan 1 lapis, 2 lapis, dan 3 lapis dengan asumsi bahwa masing-masing ketebalan kerupuk dianggap sama. Adapun data yang diperoleh selama



III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli s.d Agustus 2002 di laboratorium Alat dan Mesin Pertanian, Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember.

3.2 Bahan dan Alat Penelitian

Adapun bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian ini dapat dirinci sebagai berikut :

3.2.1 Bahan

Bahan yang digunakan untuk penelitian ini adalah kerupuk iris basah yang terbuat dari tepung beras yang mempunyai ketebalan rata-rata 3 mm, air, dan minyak tanah.

3.2.2 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian antara lain kompor minyak, *Steam Boiler*, pipa uap, timbangan digital, bak air, pipa air, sensor suhu dan kelembaban yang dihubungkan dengan komputer, Multitester digital, oven, ring sampel, eksikator, blower, luxmeter, anemometer, dan unit pengering mekanis bertenaga surya

3.3 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian tentang "Studi Pemanfaatan Panas Uap Air sebagai Pemanas Tambahan pada Proses Pengeringan Kerupuk Iris Menggunakan Energi Surya" ini dilaksanakan dengan terlebih dahulu menyiapkan bahan dan alat yang dibutuhkan dalam pengambilan data. Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah kerupuk Iris mentah yang telah dikukus dengan kadar air sekitar 39-45%. Variasi perlakuan yang dilakukan dalam penelitian ini terdiri dari tiga variasi, yaitu ketebalan 1 lapis, 2 lapis, dan 3 lapis dengan asumsi bahwa masing-masing ketebalan kerupuk dianggap sama. Adapun data yang diperoleh selama

pengujian adalah data suhu ruang pengering, suhu bahan, suhu lingkungan, suhu air dalam *boiler steam*, RH ruang pengering, RH lingkungan, berat bahan, kadar air bahan, dan intensitas cahaya matahari.

3.3.1 Perangkaian Alat

Pertama-tama yang harus dilakukan dalam perangkaian alat ini adalah menempatkan alat pengering pada tempat yang tinggi dalam hal ini di atas meja. Selanjutnya, setelah pengering diletakkan pada tempat yang tinggi, hal yang dilakukan adalah menempatkan pipa uap yang berbentuk koil pada ruang pengering. Kedua ujung pipa ini dikeluarkan melalui lubang yang telah disediakan. Kedua ujung pipa tersebut mempunyai fungsi yang berbeda. Ujung yang satu berfungsi sebagai pintu input uap yang dirangkai dengan *steam boiler*. Sedang ujung pipa lainnya berfungsi sebagai pintu output uap. Setelah pipa uap terangkai, langkah selanjutnya adalah memasang *steam boiler* pada kedudukan yang telah ditentukan. *Steam boiler* ini mempunyai saluran yang berbeda, yaitu saluran yang arahnya vertical dan horizontal. Saluran vertical ini merupakan saluran uap hasil pendidihan air yang dihubungkan dengan saluran input pada pipa uap. Adapun saluran horizontal merupakan saluran yang dihubungkan dengan wadah atau tempat air yang digunakan dalam pembentukan uap panas. Wadah atau tempat air ini diletakkan pada kedudukan yang lebih tinggi dari *steam boiler*. Hal ini dimaksudkan apabila terjadi pengurangan air dalam *steam boiler*, maka air yang ada dalam wadah tersebut akan mengalir dengan sendirinya. Mengalirnya air ini sesuai dengan sistem gravitasi dan pelampung yang dipasang pada *steam boiler*. Setelah semua alat terangkai, maka untuk memfungsikannya diperlukan pemanas. Adapun pemanas yang digunakan dalam penelitian ini adalah kompor minyak. Pemanas ini diletakkan persis di bawah *steam boiler* dengan tujuan agar proses perpindahan panas dari kompor ke *steam boiler* lebih optimal.

3.3.2 Metode Pengambilan Data

Sebelum pengambilan data dimulai ada beberapa hal yang dilakukan yaitu, menyiapkan dan merangkai seluruh alat yang diperlukan, memfungsikan *steam boiler* dengan melakukan pengisian air yang telah diketahui volumenya lalu dilakukan penyalaan kompor sebagai sumber panas untuk menguapkan air yang diisikan pada *steam boiler* tersebut. Berikutnya adalah mengkondisikan suhu udara dan kelembaban ruang pengering konstan sehingga kemudian pengambilan data dapat dimulai dengan terlebih dahulu meletakkan bahan dalam ruang pengering pada rak yang telah disediakan. Adapun metode pengambilan data yang diperlukan dalam penelitian adalah sebagai berikut :

a. Suhu dan Kelembaban

Pengamatan suhu dan kelembaban udara dilakukan dengan cara yang sama yaitu dengan mengamati pada layar komputer yang telah disimulasikan dengan program *Quick Basic* yang dihubungkan dengan sensor suhu berupa IC LM 335. titik-titik yang diamati dengan menggunakan sensor ini sebanyak 4 buah. Sensor yang digunakan dalam pengamatan titik-titik tersebut dibedakan menjadi 2 macam, yaitu sensor ganda berupa (LM 335 sistem bola basah dan bola kering) dan sensor tunggal (LM 335 sistem bola kering).

Sensor ganda yang digunakan dalam penelitian ini difungsikan untuk mendeteksi besar suhu dan kelembaban pada ruang pengering dan lingkungan sekitar. Pada ruang pengering, sensor ini diletakkan di atas pipa uap sebagaimana ditunjukkan dengan no. 4 pada gambar 3.1. suhu dan kelembaban udara pengering pada gambar 3.1 ini dinotasikan dengan T_2RH_2 . Adapun sensor yang digunakan untuk mendeteksi suhu dan kelembaban lingkungan sekitar diletakkan di luar ruang pengering dan berhubungan langsung dengan udara lingkungan sekitar. Besar suhu dan kelembaban lingkungan ini dinotasikan dengan T_1RH_1 .

Sensor tunggal yang digunakan dalam penelitian ini dimanfaatkan untuk mendeteksi suhu uap air dalam *steam boiler* dan suhu bahan. Cara yang dilakukan untuk mendeteksi suhu uap air dalam *steam boiler* adalah dengan memasukkan LM 335 ke dalam *steam boiler* hingga berada pada ketinggian di atas air yang

diapkan. Sedangkan untuk mengetahui suhu bahan, LM 335 diletakkan di bawah tumpukan bahan. Adapun nilai dari masing-masing titik ini dinotasikan dengan T_3 untuk suhu bahan dan T_4 untuk suhu uap air dalam *steam boiler*.

b. Berat Bahan

Pengamatan terhadap pengurangan berat bahan ini dilakukan setiap 1 jam sekali selama 4-6 jam. Cara yang dilakukan adalah terlebih dahulu menimbang bahan sebelum dikeringkan. Penimbangan berikutnya dilakukan setelah pengeringan berjalan hingga 1 jam hingga seterusnya sampai kadar air bahan mencapai nilai yang telah ditentukan yaitu sekitar 6-8 %.

c. Jumlah Air

Jumlah air yang dimaksud di sini adalah jumlah air yang digunakan dalam proses pembentukan uap panas. Seberapakah penambahan jumlah air yang harus diisikan pada *steam boiler* agar volume air yang ada di dalamnya tetap. Cara atau metode yang digunakan dalam menentukan jumlah air ini yaitu, terlebih dahulu menentukan batas ketinggian air pada reservoir (wadah air) dengan memberi suatu tanda yang merupakan suatu indikasi bahwa air di dalam *steam boiler* dalam keadaan penuh dan kondisi pelampung tertutup. Apabila air dalam *steam boiler* mengalami penguapan yang menyebabkan berkurangnya jumlah air, maka secara otomatis pintu pelampung akan terbuka. Terbukanya pintu ini menyebabkan air yang ada pada reservoir akan mengisi *steam boiler* sehingga jumlah air dalam *steam boiler* kembali seperti semula. Mengalirnya air dari reservoir ke *steam boiler* ini menyebabkan ketinggian air dalam reservoir menurun dan untuk mengondisikannya supaya kembali ke keadaan semula perlu ada penambahan air. Penambahan air inilah yang merupakan jumlah air yang teruapkan dalam *steam boiler* yang jumlahnya dapat langsung diketahui melalui gelas ukur. Pengukuran ini dilakukan tiap 1 jam sekali selama 4-6 jam.

d. Minyak Tanah

Pengukuran banyaknya minyak tanah yang digunakan selama proses berlangsung dilakukan selama 4-6 jam dengan interval pengukuran 1 jam. Pengukuran minyak tanah yang digunakan dalam penelitian ini hanya mengamati dan mencatat ketinggiannya dengan menggunakan selang kecil yang dimasukkan melalui lubang pada kompor. Setelah selang tersebut masuk dan menyentuh dasar kompor, ujung selang bagian atas ditutup dengan jari lalu selang tersebut diangkat hingga terlihat berapa ketinggian minyak dalam selang tersebut. Dengan mengetahui ketinggian minyak tiap interval pengukuran maka selanjutnya dapat diketahui volume minyak yang digunakan. Namun terlebih dahulu harus mengetahui berapa luasan dasar dari kompor tersebut.

e. Kecepatan Angin

Pengukuran kecepatan angin dilakukan dengan menggunakan alat Anemometer. Pengukuran ini dilakukan pada saluran masuk udara yang mengalir ke ruang pengering yang dalam gambar 3.1 ditunjukkan dengan no.5. Alat ini diletakkan tepat di depan blower hingga nampak pada display anemometer suatu angka yang menunjukkan besar kecepatan angin yang diamati.

f. Intensitas Cahaya Matahari

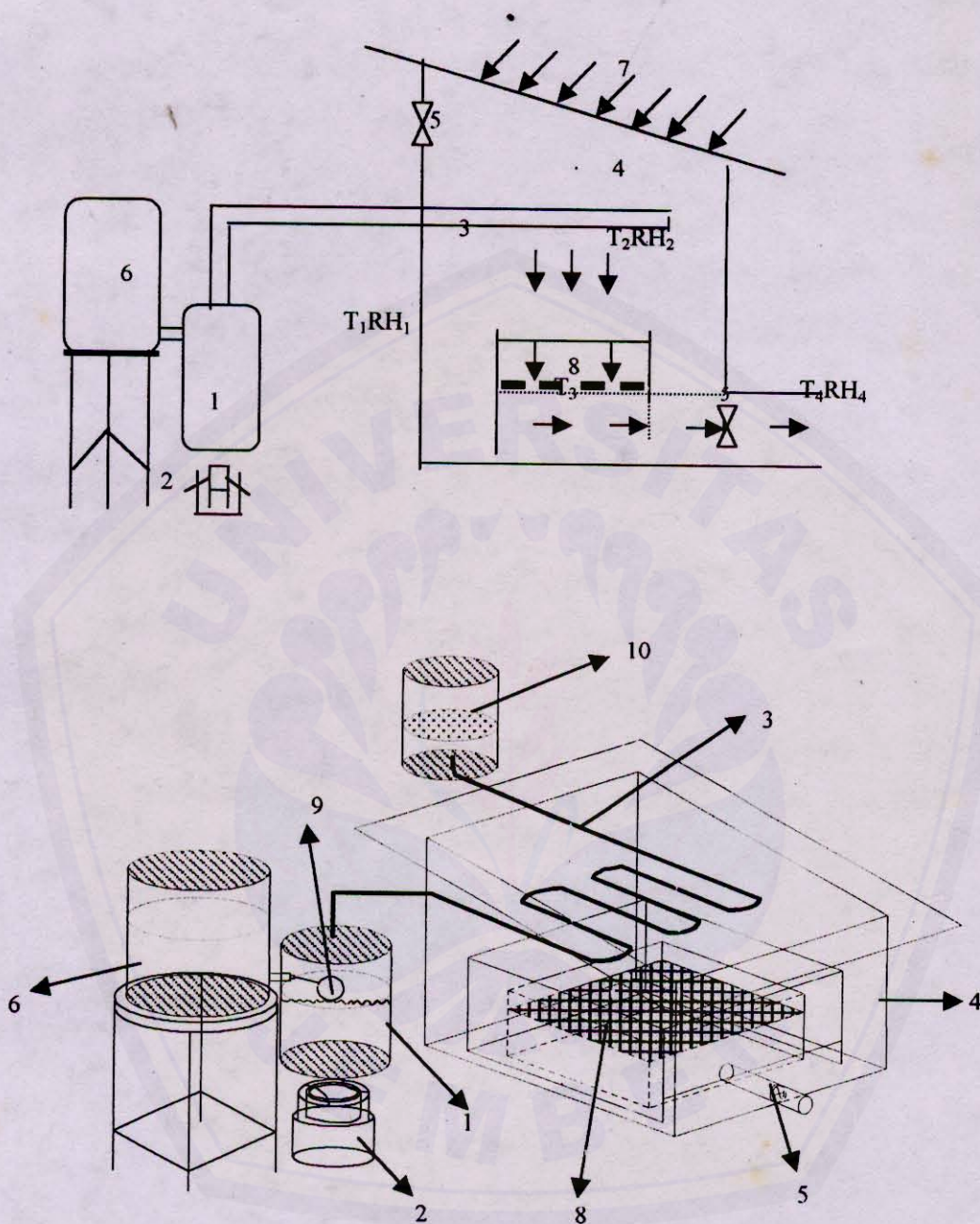
Pengukuran intensitas cahaya matahari dilakukan secara langsung yaitu dengan menggunakan fluksmeter. Pengukurannya dilakukan dengan meletakkan fluksmeter di atas atap kaca pengering dengan diatur sedemikian hingga cahaya matahari persis jatuh secara vertikal pada alat tersebut. Hasil yang terbaca pada fluksmeter ini merupakan nilai intensitas cahaya matahari saat pengamatan. Pengukuran intensitas cahaya matahari ini dilakukan setiap 10 menit sekali selama 4-6 jam. Namun data yang digunakan dalam perhitungan hanya rata-rata dalam tiap jam.

3.3.3 Perlakuan

Perlakuan yang dilaksanakan dalam penelitian ini terdiri dari 2 macam perlakuan yaitu perlakuan di luar ruangan dan di dalam ruangan. Perlakuan di luar ruangan ini merupakan perlakuan yang menggunakan kombinasi panas matahari dan panas uap air dengan menempatkan alat pengering di luar ruangan. Sedangkan perlakuan di dalam ruangan merupakan perlakuan yang hanya memanfaatkan energi uap panas air saja dengan menempatkan alat tersebut di dalam ruangan yang tidak terkena terik matahari. Adapun variasi perlakuan bahan yang diamati terdiri dari 3 macam lapis yaitu 1 lapis, 2 lapis, dan 3 lapis. Pada variasi 1 lapis bahan yang diletakkan pada yang tersedia tidak terjadi penumpukan. Sedang pada variasi 2 atau 3 lapis terjadi penumpukan bahan. Namun penumpukan bahan ini tidak secara langsung. Artinya, diantara satu lapisan dengan lapisan berikutnya terdapat jarring penyekat sehingga memungkinkan terdapat rongga udara.

3.3.4 Konstruksi Alat

Alat pengering yang digunakan dalam penelitian adalah alat pengering energi surya berbantu panas tambahan berupa panas uap air yang berasal dari pembangkit uap air (*steam boiler*) yang ditransfer melalui pipa uap air. Pipa ini terbuat dari logam besi yang bentuknya dibuat seperti koil dengan maksud untuk memperbesar luas bidang pemanasan. Alat pengering yang digunakan terbuat dari kaca untuk mengisolasi panas yang terbentuk serta dilengkapi dengan plat hitam sebagai media penyerap panas dari radiasi matahari. Selain itu, sebagai usaha untuk mempercepat laju aliran udara dalam pengeringan, alat ini dilengkapi dengan blower dengan daya tertentu. Bahan kerupuk yang digunakan dalam penelitian ini diletakkan pada bak yang dasarnya berlubang-lubang untuk melewatkan udara panas. Adapun gambaran konstruksi alat beserta arah aliran udara selama proses pengeringan dapat dilihat pada Gambar 3.1 sebagai berikut.



Gambar 3.1 Alat Pengering Energi Surya dan Uap Air Tampak dari Samping dan Atas dengan Dua atau Tiga Dimensi.

Keterangan :

- 1 = tabung penguapan air (steam boiler)
- 2 = kompor
- 3 = pipa uap air
- 4 = ruang pengering
- 5 = blower
- 6 = reservoir air
- 7 = radiasi surya matahari
- 8 = tumpukan bahan
- 9 = pelampung
- 10 = alat pengukus
- T_1 = suhu lingkungan
- T_2 = suhu pengering
- T_3 = suhu bahan
- T_4 = suhu keluaran
- RH_1 = kelembaban relatif lingkungan
- RH_2 = kelembaban relatif pengering
- RH_4 = kelembaban relatif keluaran

3.3.5 Parameter yang Diukur

Dalam penelitian ini parameter yang akan diukur adalah sebagai berikut :

- a) jumlah air yang diuapkan selama pengeringan;
- b) suhu pengering;
- c) suhu bahan;
- d) suhu lingkungan;
- e) jumlah minyak tanah yang terpakai;
- f) kelembaban udara ruang pengering;
- g) kelembaban udara lingkungan;
- h) laju pengeringan;
- i) intensitas radiasi

3.4 Analisa Teknik

3.4.1 Laju Pengeringan

Menurut Taib (1988), banyaknya uap air yang harus dikeluarkan dari bahan dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$E = \frac{m_1 - m_2}{100 - m_2} \times bb \dots\dots\dots 3.1$$

Keterangan :

- E = berat air yang diuapkan (kg)
- m_1 = kadar air awal basis basah (%)
- m_2 = kadar air akhir basis basah (%)
- bb = berat bahan (kg)

Dengan diketahuinya jumlah uap air yang dikeluarkan dari bahan maka laju pengeringan dapat dihitung menggunakan rumus berikut :

$$W = \frac{E}{T} \dots\dots\dots 3.2$$

Keterangan :

- W = laju perpindahan uap air (kg/jam)
- t = waktu pengeringan (jam)

3.4.2 Panas Sensibel

Menurut Srimulato (1994), panas sensibel (Q_s) merupakan energi panas yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu bahan, dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$Q_s = B_a \times C_p \times (T_{up} - T_b) \dots\dots\dots 3.3$$

Keterangan :

- Q_s = panas sensible (kj)
- B_a = berat awal bahan yang dikeringkan (kg)
- C_p = panas jenis bahan yang dikeringkan (kj/kg⁰C)
- T_{up} = suhu udara pengering (°C)
- T_b = suhu bahan (°C)

Menurut Dikerson (1969) nilai panas jenis bahan dapat didekati dengan persamaan :

$$C_p = 1.675 + 0.025 \times (ka\%) \dots\dots\dots 3.4$$

Keterangan :

C_p = panas jenis bahan yang dikeringkan (kj/kg⁰C)

Ka = kadar air bahan (%)

Rumus ini hanya berlaku untuk kerupuk yang bahannya menggunakan tepung beras asli tanpa campuran.

3.4.3 Panas Penguapan

Panas yang digunakan untuk menguapkan air bahan disebut panas penguapan (Q_{ev}). Besar panas penguapan ini sebanding dengan perkalian antara panas laten dengan massa uap air yang diuapkan.

$$Q_{ev} = E \times hfg \dots\dots\dots 3.5$$

Keterangan :

Q_{ev} = panas penguapan (kj)

hfg = panas laten (kj/kg)

Besar panas laten menurut Brooker dkk. (1992) dapat didekati dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$hfg = 2,503 \times 10^6 - 2,386 \times 10^3 (T - 273,16) \dots\dots\dots 3.6$$

$273,16 \leq T(K) \leq 338,72$

atau

$$hfg = \left(7,33 \times 10^{12} - 1,6 \times 10^7 T^2 \right)^{0,5} \dots\dots\dots 3.7$$

$338,72 < T(K) \leq 533,16$

Keterangan:

T = suhu bahan (K)

3.4.4 Panas Radiasi

Panas radiasi merupakan panas yang ditimbulkan dari radiasi cahaya matahari yang terserap oleh kolektor yang besarnya dapat dinyatakan dengan rumus :

$$Q_{irr} = (\tau a) I . A . t_{irr} \dots \dots \dots 3.8$$

Keterangan :

- Q_{irr} = panas radiasi matahari (kj)
- τ = koefisien tembus cahaya
- a = koefisien penyerap panas
- I = laju radiasi surya yang ditangkap permukaan kolektor (w/m^2)

3.4.5 Panas yang Ditimbulkan Steam Boiler

Menurut Muin (1988), jumlah panas yang diserahkan dari dapur ke bidang pemanas setiap waktunya dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$Q_p = W_p (LHV) \dots \dots \dots 3.9$$

Keterangan :

- Q_p = panas yang ditimbulkan boiler steam (kj)
- W_p = jumlah bahan yang terpakai (kg/jam)
- LHV = nilai bakar terendah minyak bakar (kj/kg)

Jumlah bahan bakar yang terpakai selama pengeringan dapat diketahui dari selisih volume bahan bakar sebelum dan sesudah proses pengeringan.

3.4.6 Efisiensi Pengeringan

Efisiensi dari sistem pengeringan merupakan perbandingan antara jumlah panas yang dibutuhkan dalam pengeringan dengan jumlah panas yang disediakan dalam pengeringan. Besarnya efisiensi pengeringan pada penelitian ini dibedakan menjadi dua, yaitu efisiensi pengeringan menggunakan efisiensi pengeringan menggunakan alat pengering energi surya dengan panas tambahan

uap air dan efisiensi pengeringan yang hanya menggunakan panas uap air. Adapun besarnya efisiensi pengeringan pada masing-masing proses dapat didekati dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\eta_1 = \frac{Q_s + Q_{ev}}{Q_{irr} + Q_p} \times 100\% \dots\dots\dots 3.10$$

$$\eta_2 = \frac{Q_s + Q_{ev}}{Q_p} \times 100\% \dots\dots\dots 3.11$$

Keterangan :

η_1 = efisiensi pengeringan di luar ruangan (%)

η_2 = efisiensi pengeringan di dalam ruangan (%)

3.4.7 Efisiensi Pemanas (Kompur)

Efisiensi pemanas (kompur) merupakan perbandingan antara jumlah panas yang dibutuhkan untuk mendidihkan dan menguapkan air dengan jumlah panas yang diserahkan dari kompur ke bidang pemanas. Nilai efisiensi pemanas ini dapat dicari dengan pendekatan rumus sebagai berikut :

$$\eta_k = \frac{m_a \cdot c_{pa} \cdot \Delta T' + m_u L_u}{W_p (LHV)} \times 100\% \dots\dots\dots 3.12$$

Keterangan :

η_k = efisiensi kompur (%)

m_a = berat air (kg)

C_{pa} = panas jenis air (kj/kg⁰C)

m_u = massa uap (kg)

L_u = panas laten penguapan air (kj/kg)

3.5 Metode Analisis

Dari hasil penelitian selanjutnya akan dilakukan analisis dengan langkah sebagai berikut :

- a) membandingkan hubungan suhu dengan waktu pengering antara proses pengeringan kerupuk pada perlakuan di luar ruangan yang menggunakan kombinasi panas Matahari dan uap air dengan proses pengeringan pada perlakuan di dalam ruang yang hanya menggunakan panas dari uap air dengan analisa grafis ;
- b) menentukan laju aliran udara pada masing-masing proses pengeringan dengan menggunakan rumus (3.1) dan (3.2);
- c) mencari hubungan antara kadar air dan waktu pada masing-masing proses pengeringan dengan menggunakan analisa grafis;
- d) menentukan efisiensi pengeringan pada proses pengeringan di dalam ruangan dan di luar ruangan dengan menggunakan rumus (3.10) dan (3.11).

3.6 Asumsi – Asumsi

Asumsi-asumsi yang digunakan untuk perhitungan di atas adalah sebagai berikut ;

- 1) penyebaran uap air dalam pipa dianggap seragam;
- 2) suhu bahan dan suhu udara pengering yang digunakan dalam perhitungan dalam keadaan setimbang;
- 3) distribusi aliran udara di atas permukaan bahan dianggap seragam pada setiap posisi pada interval waktu pengukuran;
- 4) panas laten penguapan dan panas jenis bahan tidak berubah setiap terjadi perubahan suhu, sehingga nilainya diambil rata-rata.



V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan di atas dapat disimpulkan sebagai berikut :

- 1) jumlah panas yang digunakan untuk menaikkan suhu bahan selama pengeringan kerupuk Iris pada perlakuan di dalam ruangan dengan variasi ketebalan 1 lapis, 2 lapis, dan 3 lapis berturut-turut sebesar 3,43 kj, 3,49 kj, dan 5,53 kj. Sedangkan jumlah panas yang digunakan untuk menaikkan suhu bahan pada perlakuan di luar ruangan berturut-turut adalah 4,26 kj, 8,16 kj, dan 9,55 kj;
- 2) jumlah panas yang dibutuhkan proses pengeringan kerupuk Iris untuk menguapkan air bahan pada perlakuan di dalam dengan variasi ketebalan 1 lapis, 2 lapis, dan 3 lapis adalah sebesar 167,214 kj, 249,535 kj, dan 361,817 kj. Sedang pada perlakuan di luar ruangan jumlah panas pada berbagai variasi ketebalan secara berurutan adalah 169,45 kj, 252,66 kj, dan 413,89 kj;
- 3) kecepatan proses pengeringan sangat dipengaruhi oleh besarnya suhu ruang pengering, ketebalan lapisan, dan berat bahan. Semakin tinggi suhu ruang pengering, maka waktu yang ditempuh untuk mencapai kadar air yang diinginkan akan semakin cepat. Sebaliknya, semakin banyak lapisan dan bahan yang dikeringkan waktu yang diperlukan untuk pengeringan akan semakin lama. Pada perlakuan di luar ruangan dengan berat bahan awal 0,19 kg, 0,299 kg, dan 0,49 kg memerlukan waktu pengeringan untuk mencapai kadar air 6,5 %, 7,39 %, dan 7,32 % secara berurutan adalah sebesar 4jam, 4 jam, dan 5 jam;
- 4) suhu yang terjadi di dalam ruang pengering lebih banyak dipengaruhi oleh panas dari *steam boiler* sehingga panasnya lebih rendah dari perlakuan di luar ruangan. Dengan demikian waktu yang diperlukan untuk mengeringkan bahan akan semakin lama. Adapun waktu yang diperlukan pada perlakuan ini dengan variasi ketebalan 1 lapis s.d 3 lapis untuk mencapai kadar air 7,39 %, 7,34 %, 7,15 % berturut-turut adalah 5 jam, 6 jam, dan 6 jam.
- 5) efisiensi pengeringan pada perlakuan di dalam ruang lebih besar dari pada perlakuan di luar ruangan. Adapun besarnya efisiensi pengeringan di dalam ruang pada variable ketebalan 1 lapis, 2 lapis, dan 3 lapis secara berturut-turut

adalah 5,7 %, 8,13 %, dan 12,5 %. Sedang nilai efisiensi pada perlakuan di luar ruangan sebesar 4,7 %, 7,1 %, dan 11,3 %.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, disarankan beberapa hal sebagai berikut:

- 1) untuk meningkatkan nilai efisiensi sistem pengering perlu penelitian lebih lanjut mengenai penentuan efisiensi pengeringan dengan variasi / pengaturan suhu dan debit aliran udara serta modifikasi dari sistem transfer panas pipa uap air;
- 2) perlu penelitian lebih lanjut mengenai pemanfaatan sisa uap panas yang keluar dari pipa uap air sebagai proses lanjutan dari pengeringan;
- 3) perlu penelitian lebih lanjut mengenai pemanfaatan energi panas matahari tanpa pemanas tambahan untuk mengeringkan kerupuk menggunakan pengering mekanis bertenaga surya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, K., A.K. Irwanto, dan N. Siregar. 1998. *Energi dan listrik Pertanian*. Bogor : Institut Pertanian Bogor.
- Anonim. 1988. *Pengeringan Bahan Pangan*. Yogyakarta : Universitas Gajah Mada.
- Basuki, A. 1985 . *Pengolahan dan Pengawetan Pangan*. Bogor : Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
- Brooker, D. B. Bakker, F.W. Arkema and C.W. Hall. 1992 *Drying and Storage of Grain Oilseeds*. New York : Van Nostrand Reinhold.
- Budikase, E. 1986 *Termodinamika Fisik*. Jakarta : Karunika.
- Desrosier, N. M. 1988 *Teknologi Pengawetan Pangan*. Jakarta : UI Press.
- Farral, A.W. 1980. *Engineering for Dairy and food Product Second Edition*. U.S.A. : Robert E. Krieger Publishing Company.
- Hall, E.W. 1980 *Drying and Storage of Agriculture Crops*. U.S.A : A VI Publishing Company.
- Henderson, S.N. dan R.L Perry. 1955. *Agriculture Process Engineering*. U.S.A. : Robert E. Krieger Publishing Company.
- Holman, J.P. 1994 . *Perpindahan Kalor*. Jakarta : Erlangga.
- Kadir. 1989. *Energi : Sumber Daya, Inovasi Tenaga Listrik*, Potensi Ekonomi. Jakarta : UI Press.
- Kalra, S.K. dan K.C Bhardwaj. 1980. *Use of Simple Solar Dehydrator for Drying Fruit and Vegetable Products*. India : Central Mango Research Station, Indian Institut of Horticultural Research, Lucknow 26006.
- K., Abdullah, A.K. Irwanto, N. Siregar, dkk. 1998. *Energi dan listrik Pertanian*. Bogor : Institut Pertanian Bogor.
- Kreith, F. 1986. *Prinsip-Prinsip Perpindahan Panas*. Jakarta : Erlangga.
- Muin, S.A. 1988. *Pesawat-Pesawat Konversi Energi I (Ketel Uap)*. Jakarta : C.V. Rajawali.

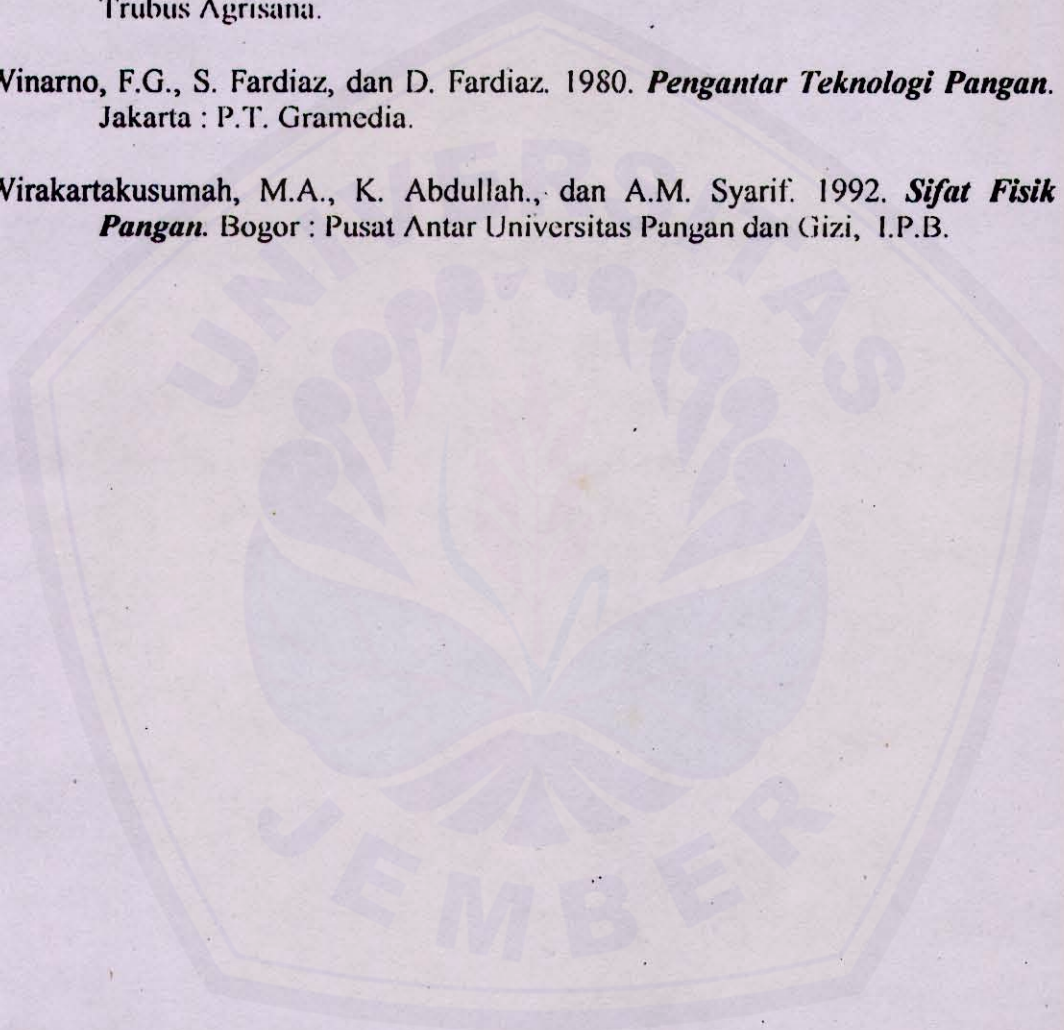
Srimulato. 1994. *Teknik Pengeringan Biji Kakao*. Jember :Pusat Penelitian Kopi dan Kakao.

Taib, G., G. Said, dan S. Wiraatmaja. 1988. *Operasi Pengeringan dan Pengolahan Hasil Pertanian*. Jakarta : P.T. Medyatama Sarana Perkasa.

Wahyono, R dan Marzuki. 2000. *Pembuatan Aneka Kerupuk*. Surabaya : P.T. Trubus Agrisana.

Winarno, F.G., S. Fardiaz, dan D. Fardiaz. 1980. *Pengantar Teknologi Pangan*. Jakarta : P.T. Gramedia.

Wirakartakusumah, M.A., K. Abdullah., dan A.M. Syarif. 1992. *Sifat Fisik Pangan*. Bogor : Pusat Antar Universitas Pangan dan Gizi, I.P.B.



Lampiran 1. Data Suhu ($^{\circ}$ C) dan RH (%) pada Perlakuan 1 Lapis di Dalam Ruang Selama Proses Pengeringan Berlangsung

waktu	T Lingk.	T Pengering	T Bahan	RH Lingk.	RH Pengering
10:28:52	31.7	36	31.3	68	73
10:33:54	30.9	40.9	35.4	70	74
10:38:53	32.1	43.3	41	66	71
10:43:53	32.1	39.6	37.8	68	70
10:48:53	32.1	36.8	39.4	66	70
10:53:53	32.1	36.8	39.8	64	68
10:58:53	32.1	36.8	41	64	64
11:03:53	32.1	37.2	41.4	64	66
11:08:53	32.1	36.8	41.8	64	64
11:13:53	32.5	37.2	42.6	64	68
11:18:53	33	37.6	42.2	61	61
11:23:52	33	37.6	43	61	66
11:28:52	33	38.4	43	63	61
11:33:53	32.5	39.2	43.4	64	61
11:38:52	33	40.9	43.8	63	57
11:43:52	33	40.9	44.2	63	57
11:48:52	32.5	40.9	43.8	62	54
11:53:52	33.4	40.9	43.4	61	54
11:58:52	33	41.3	44.2	64	53
12:03:52	33.8	41.7	44.6	61	53
12:08:52	34.2	41.3	45	56	54
12:13:51	32.5	41.7	44.6	64	53
12:18:51	33.8	42.1	44.6	59	51
12:23:51	34.2	41.7	45	57	51
12:28:51	34.2	42.1	45	59	51
12:33:51	33.8	41.7	45.8	57	48
12:38:51	33.8	43.3	45.8	57	46
12:43:51	34.2	42.9	46.2	59	48
12:48:51	33.4	42.9	45.8	63	49
12:53:51	34.2	43.3	45.8	59	51
12:58:50	33.8	43.7	45.8	61	49
13:03:50	33.8	44.5	46.2	59	48
13:08:50	33.8	43.3	46.2	59	49
13:13:50	33.8	43.3	46.2	59	45
13:18:50	34.2	43.3	45.8	59	48
13:23:50	33.4	43.3	46.2	63	48
13:28:50	34.6	42.9	46.2	58	49
13:33:50	34.2	43.3	46.6	59	48
13:38:50	32.1	42.5	46.2	68	52
13:43:49	33.8	41.7	46.2	61	53
13:48:49	33.8	42.5	46.2	61	52
13:53:49	34.2	42.5	46.2	61	52
13:58:49	34.2	42.9	46.2	61	50
14:03:49	34.6	42.5	47.4	59	50
14:08:49	33.8	46.6	46.6	63	38
14:13:49	33.8	46.6	46.6	63	40
14:18:49	34.2	46.6	46.6	61	41
14:23:49	34.6	47.4	47	61	41
14:28:49	34.6	47.4	47	61	41
14:33:48	34.6	46.6	46.6	61	43
14:38:48	34.6	47	47	59	42
14:43:48	34.6	47	47	59	40
14:48:48	34.6	46.6	47	59	41
14:53:48	34.6	47.8	46.6	59	40
14:58:48	34.6	47.8	47	59	40
15:03:48	34.6	47	47	61	40
15:08:48	33.8	47.8	46.6	65	41
15:13:48	34.2	47	47	65	43
15:18:47	34.2	45.7	43.4	63	45
15:23:47	33.8	45.3	42.6	65	45

Lampiran 2. Data Suhu ($^{\circ}$ C) dan RH (%) Pada Perlakuan 2 Lapis di Dalam Ruangn Selama Proses Pengeringan Berlangsung

waktu	T Lingk.	T Pengering	T Bahan	RH Lingk.	RH Pengering
10:21:06	31.3	37.2	35	56	63
10:26:08	31.3	36	37.8	66	68
10:31:08	31.7	37.6	38.6	64	63
10:36:08	31.7	36.8	39.4	56	66
10:41:08	32.1	38.8	39.8	64	56
10:46:07	31.3	39.2	40.6	68	57
10:51:07	31.7	39.6	41	66	58
10:56:07	32.5	39.2	41	54	55
11:01:07	33	40.4	41.4	63	57
11:06:07	33	40	41.8	63	57
11:11:07	33	40.4	42.2	61	55
11:16:07	33	40.4	41.8	61	55
11:21:07	33.4	40.9	42.6	59	54
11:26:07	33.4	41.3	43	61	53
11:31:06	33.4	41.7	43.4	59	54
11:36:06	33.8	42.1	43.4	57	50
11:41:06	33.8	43.7	42.6	59	48
11:46:06	33.8	44.1	43.4	57	47
11:51:06	33	44.1	43.8	63	47
11:56:06	33.8	43.7	43.4	59	48
12:01:06	33.8	44.1	43.8	57	45
12:06:06	34.2	43.7	44.2	56	49
12:11:06	32.5	43.3	43.4	64	48
12:16:05	32.1	44.5	43.8	64	47
12:21:05	32.5	44.1	43.8	64	47
12:26:05	33.4	44.5	43.8	59	47
12:31:05	33.8	43.7	43.4	61	47
12:36:05	33	43.7	43.8	64	48
12:41:05	34.2	44.1	44.2	57	47
12:46:05	33.8	44.1	44.2	61	47
12:51:05	34.2	44.5	43	57	46
12:56:05	34.6	44.9	43.8	58	46
13:01:05	34.6	44.5	44.6	59	47
13:06:04	34.6	44.5	44.6	58	48
13:11:04	34.2	44.5	44.6	61	44
13:16:04	32.5	44.5	44.6	68	44
13:21:04	34.6	44.5	44.6	59	47
13:26:04	34.6	45.3	45	58	46
13:31:04	34.2	44.9	45	61	47
13:36:04	33.8	44.9	45	61	47
13:41:04	33.8	44.9	44.6	63	42
13:46:04	33.8	44.9	43.8	61	47
13:51:03	33	44.9	44.6	66	44
13:56:03	34.2	45.3	44.6	63	47
14:01:03	34.2	45.3	45	63	47
14:06:03	34.2	45.3	45	61	46
14:11:03	34.6	45.3	45	61	47
14:16:03	34.2	45.3	45	61	43
14:21:03	34.6	47.4	45	59	47
14:26:03	33.8	45.7	45	65	44
14:31:03	32.1	45.3	45	70	47
14:36:03	33.8	45.3	45	63	47
14:41:02	33.4	43.7	44.2	65	51
14:46:02	33.8	44.9	44.6	63	47
14:51:02	32.5	44.9	44.6	68	44
14:56:02	33.4	44.9	44.6	63	47
15:01:02	33.4	44.9	44.6	67	47
15:06:02	33.4	45.3	45	65	47
15:11:02	32.5	44.1	44.2	68	51
15:16:02	33.4	44.9	44.6	67	47

Lampiran 3. Data Suhu ($^{\circ}$ C) dan RH (%) Pada Perlakuan 3 Lapisdi Dalam Ruangan Selama Proses Pengeringan berlangsung

waktu	T Lingk.	T Pengering	T Bahan	RH Lingk.	RH Pengering
10:41:05	30.9	41.7	39.4	62	47
10:46:05	30	41.7	39.8	64	47
10:51:05	30.4	41.3	39.8	62	47
10:56:05	30.4	41.7	40.2	62	47
11:01:05	30.9	41.3	40.2	60	46
11:06:05	30.4	41.7	40.2	62	47
11:11:05	31.3	41.7	40.6	60	47
11:16:05	31.3	42.1	40.6	58	46
11:21:05	31.7	42.5	41	58	45
11:26:05	31.3	41.7	40.6	60	47
11:31:05	31.3	42.5	41	58	46
11:36:05	31.7	42.1	41	56	47
11:41:05	31.7	42.9	41	56	45
11:46:07	31.7	43.3	41	56	45
11:51:07	31.3	43.3	41.4	60	45
11:56:07	31.7	44.1	41.4	56	44
12:01:07	31.7	43.3	41.4	58	45
12:06:07	32.1	41.7	39.8	57	47
12:11:07	31.3	42.9	41	60	46
12:16:07	31.7	43.7	41.4	56	44
12:21:07	31.7	43.3	41.4	56	44
12:26:07	32.1	44.1	41.4	55	40
12:31:07	32.1	43.3	40.6	53	44
12:36:07	32.1	43.7	41.4	53	41
12:41:07	31.3	43.7	41	56	44
12:46:07	32.1	43.7	41	53	43
12:51:07	32.1	43.7	41	57	44
12:56:07	31.7	44.1	41	58	44
13:01:07	31.7	43.7	41.4	60	47
13:06:07	33	43.7	42.2	59	47
13:11:07	32.5	44.5	42.6	60	46
13:16:07	33	44.1	42.6	57	45
13:21:07	33	43.7	42.6	59	47
13:26:07	33	43.7	42.6	57	47
13:31:07	33	43.3	42.6	57	48
13:36:07	33	44.5	43	57	44
13:41:08	33	44.1	42.2	57	45
13:46:08	32.5	43.7	43	60	47
13:51:08	32.5	43.3	42.6	59	44
13:56:08	32.5	43.3	42.2	60	48
14:01:08	32.5	44.1	43	60	45
14:06:08	32.5	43.3	42.6	59	48
14:11:08	32.5	43.7	42.6	60	45
14:16:08	32.5	43.7	42.6	60	45
14:21:08	32.5	43.3	42.6	59	46

Lampiran 4. Data suhu ($^{\circ}$ C) dan RH (%) pada Perlakuan 1 Lapis di Luar Ruangn Selama Proses Pengeringan Berlangsung

Waktu	T. Lingk.	T. Peng.	T. Bahan	RH Lingk.	RH Peng.
9:35:41	33.4	48.6	43.8	53	43
9:40:41	35.5	48.6	44.2	48	41
9:45:41	31.7	46.6	41.8	60	44
9:50:41	30.4	45.7	41	64	44
9:55:41	30.9	45.7	40.6	60	44
10:00:41	32.5	45.7	41	59	45
10:05:41	35.5	47.8	43.8	51	43
10:10:40	36.3	49	45.4	48	42
10:15:40	36.3	50.6	46.2	48	41
10:20:40	36.7	51.1	47	47	38
10:25:40	35.5	50.6	46.6	48	41
10:30:40	34.2	50.6	47	56	41
10:35:40	36.7	51.1	47.4	48	38
10:40:40	35.5	51.5	47.8	51	40
10:45:40	34.6	50.6	47.4	56	42
10:50:40	36.7	51.1	48.2	50	40
10:55:39	35.1	51.5	47.4	54	40
11:00:39	37.6	52.3	48.6	52	40
11:05:40	40.1	53.1	50.2	48	40
11:10:39	33	50.2	46.2	57	42
11:15:39	33.8	49	45	55	42
11:20:39	42.2	51.5	48.2	37	40
11:25:39	42.2	53.5	49.4	42	38
11:30:39	40.5	55.1	50.2	46	36
11:35:39	40.1	55.1	50.2	42	36
11:40:39	43	57.6	51	37	28
11:45:38	40.5	58.4	50.6	41	29
11:50:38	43	58	51.4	43	30
11:55:38	40.9	57.6	52.2	49	29
12:00:38	40.5	58.8	51.8	46	30
12:05:38	36.3	54.3	48.6	55	34
12:10:38	36.7	53.1	47.4	52	33
12:15:38	38.8	51.1	46.6	46	37
12:20:38	44.3	55.5	50.6	36	33
12:25:37	40.5	56.8	51	46	31
12:30:37	43	58.8	51	37	29
12:35:37	43.5	58	50.2	38	28
12:40:37	37.6	57.2	50.6	50	32
12:45:37	35.9	52.7	48.2	49	35
12:50:37	44.3	57.2	51	41	31
12:55:37	40.1	55.5	50.6	45	31
13:00:37	42.6	58.4	51.4	37	29
13:05:37	40.9	58.4	52.2	43	30
13:10:37	40.9	59.2	51.8	42	31
13:15:37	43	58.4	51.4	37	30
13:20:36	42.2	58	52.2	42	33
13:25:36	43.5	58.8	51.8	41	28
13:30:36	43.9	58.8	52.6	42	30
13:35:36	45.1	58.8	52.2	40	31
13:40:36	45.1	60.8	53.5	38	30
13:45:36	45.6	60.4	53.9	40	30
13:50:36	41.4	58.8	52.2	43	32
13:55:36	42.2	58.8	52.6	44	32
14:00:35	44.7	59.6	53.5	39	32
14:05:35	43	58.4	52.2	41	34
14:10:35	44.3	58.4	52.6	41	34
14:15:35	42.6	58	51.8	42	30
14:20:35	43.9	57.6	52.2	42	35
14:25:35	39.3	54.7	49.8	53	38

Lampiran 5. Data Suhu ($^{\circ}$ C) dan RH (%) pada Perlakuan 2 Lapis di Luar Ruangan Selama Proses Pengeringan Berlangsung

Waktu	T. Lingk.	T. Peng.	T. Bahan	RH Lingk.	RH Peng.
9:40:29	30.9	47.4	43	62	47
9:45:31	33.8	47.8	44.6	57	44
9:50:31	34.6	49	45.8	56	42
9:55:31	34.6	49	46.2	56	42
10:00:31	32.1	49	46.2	60	42
10:05:31	33.4	49.4	46.6	57	43
10:10:30	32.5	49	46.2	60	42
10:15:31	30.9	49.4	46.6	62	41
10:20:30	34.2	49.8	47	54	40
10:25:30	34.2	50.6	47.4	52	40
10:30:30	34.6	51.5	47.8	51	39
10:35:30	35.1	51.1	47	49	40
10:40:30	35.1	51.5	47.4	47	40
10:45:30	35.5	51.1	47.4	48	41
10:50:30	33	51.5	47.4	57	40
10:55:30	35.5	51.9	47.8	53	39
11:00:29	34.6	54.3	49.4	58	35
11:05:29	37.2	53.1	48.6	50	34
11:10:29	39.3	54.3	49.4	45	36
11:15:30	35.9	52.3	48.2	54	40
11:20:29	33.8	50.6	47	57	41
11:25:29	37.2	53.9	49	45	34
11:30:29	37.2	52.7	48.6	45	38
11:35:29	38.4	53.1	48.6	48	35
11:40:29	37.2	52.7	49	47	39
11:45:29	37.2	52.3	49	47	38
11:50:29	37.6	53.9	49.4	46	38
11:55:29	37.6	53.1	49	49	34
12:00:29	39.3	53.1	50.2	45	39
12:05:29	35.5	52.7	47.8	51	39
12:10:30	35.9	54.3	49.4	53	37
12:15:30	36.7	54.7	49.8	48	37
12:20:30	35.9	53.5	49	51	39
12:25:30	38.4	54.7	49	46	35
12:30:30	37.6	55.5	49.4	47	35
12:35:30	35.1	54.7	49.4	52	34
12:40:30	38.4	55.5	50.2	46	35
12:45:30	37.6	55.9	50.2	49	35
12:50:30	34.6	55.5	49	54	33
12:55:30	34.6	55.9	49.8	56	35
13:00:30	35.9	56.4	49.8	53	34
13:05:30	35.5	51.9	47.8	51	37
13:10:30	32.5	49	45.4	59	40
13:15:30	37.6	53.1	47.8	47	37
13:20:29	34.2	50.2	45.8	56	42
13:25:29	33.4	48.6	45	59	43
13:30:29	33.8	49.4	45	57	39
13:35:29	33.8	49	45	57	38
13:40:29	32.5	47.4	43.4	59	42
13:45:29	33	47	43.8	59	47
13:50:30	31.3	47.4	44.2	64	45
14:50:30	31.3	45.7	43	60	47
15:50:30	31.3	45.3	42.2	60	49

Lampiran 6. Data Suhu ($^{\circ}\text{C}$) dan RH (%) pada Perlakuan 3 Lapis di Luar Ruang Selama Proses Pengeringan Berlangsung

Waktu	T. Lingk.	T. Peng.	T. Bahan	RH Lingk.	RH Peng.
10:20:33	30.4	47.4	43.4	56	42
10:25:33	30	45.7	41.4	58	45
10:30:32	30	44.5	40.2	56	44
10:35:32	30.9	45.7	41	56	44
10:40:32	33.4	47.8	44.2	48	37
10:45:32	35.5	49	44.2	48	42
10:50:32	35.1	49	45.4	46	42
10:55:32	34.6	50.6	47.4	54	41
11:00:32	33.8	50.2	45.4	52	41
11:05:32	32.5	48.6	44.2	57	41
11:10:32	32.5	48.2	44.2	53	43
11:15:31	34.2	49.8	45	49	40
11:20:32	30.9	47	43	58	44
11:25:31	30.4	47.4	42.6	56	43
11:30:31	30.9	46.6	43	58	44
11:35:31	32.1	47.4	42.6	55	42
11:40:31	31.7	45.3	42.2	56	46
11:45:31	33	46.2	42.2	55	44
11:50:31	30.4	46.6	42.6	62	44
11:55:31	32.1	44.1	40.6	58	48
12:00:30	30	45.3	41.4	60	43
12:05:30	30.9	45.7	41.8	58	45
12:10:30	34.2	49.4	44.6	54	40
12:15:30	30.9	45.7	42.6	60	46
12:20:30	31.7	45.7	42.2	58	45
12:25:30	32.5	47.4	43	55	41
12:30:30	34.6	50.6	45	49	39
12:35:30	35.9	51.9	46.2	46	37
12:40:30	33.8	52.3	46.2	54	38
12:45:30	33.4	51.5	45.8	55	39
12:50:29	33.8	51.1	45.4	52	36
12:55:30	33.8	51.1	45.4	52	34
13:00:29	38	53.9	47.4	44	35
13:05:29	37.2	54.7	48.2	45	31
13:10:29	37.2	54.7	49	48	32
13:15:29	35.1	51.5	46.2	51	40
13:20:29	32.1	47.8	45	57	44
13:25:29	33.4	47.4	43.8	53	41
13:30:29	31.7	49	44.2	58	39
13:35:28	33.4	47.8	43	53	43
13:40:28	33.8	49.8	45	54	39
13:45:28	34.2	49	44.2	52	41
13:50:28	34.2	50.2	45	52	40
13:55:28	33	48.6	44.6	55	41
14:00:28	35.9	52.7	47	51	36
14:05:28	40.9	54.7	48.2	43	33
14:10:28	38.4	54.3	48.6	48	36
14:15:28	38	54.3	49.8	52	36
14:20:27	35.9	51.1	47.4	53	40
14:25:27	37.6	52.7	47.8	50	34
14:30:28	37.6	53.5	47.4	50	38
14:35:27	33.8	51.5	47	57	40
14:40:27	32.5	49.4	45.8	59	43
14:45:27	34.6	49.4	45.4	56	41
14:50:27	31.7	48.6	43.8	60	42
14:55:27	33.8	48.2	45.4	59	43
15:00:27	32.1	46.6	43.8	60	46
15:05:27	32.1	44.9	42.6	60	48
15:10:26	34.2	47.4	44.6	57	44

Lampiran 7. Data Suhu ($^{\circ}\text{C}$) dan RH (%) pada Perlakuan Tanpa Bahan di Dalam Ruang Selama Proses Pengeringan Berlangsung

Waktu	T. Lingk.	T. Peng.	T. Bahan	RH Lingk.	RH Peng.
10:04:53	28.3	46.2	28.5	63	38
10:09:55	28.3	38.8	34.6	63	50
10:14:55	28.8	38.8	35.8	63	49
10:19:55	29.2	39.6	37	61	48
10:24:55	28.8	39.6	37.8	63	48
10:29:54	29.2	39.2	38.2	59	47
10:34:54	29.2	39.6	38.6	61	48
10:39:55	28.8	40.9	38.6	63	47
10:44:54	29.6	40	38.6	59	49
10:49:54	30	41.7	39.4	60	43
10:54:54	30	41.7	39.8	60	46
10:59:54	30.4	41.7	40.2	60	46
11:04:54	29.6	40.4	39.4	61	47
11:09:54	30	40.4	39.8	60	47
11:14:53	30	40.9	40.2	60	47
11:19:53	30.4	41.3	40.2	58	47
11:24:53	30.4	41.3	40.2	60	46
11:29:53	30.4	41.7	40.6	58	46
11:34:53	30.9	43.3	41	60	41
11:39:53	30.4	40.9	40.2	62	48
11:44:53	30.4	41.7	41	60	46
11:49:53	30.9	41.7	40.6	60	47
11:54:53	30.9	42.1	41	60	43
11:59:53	31.3	42.1	41.8	60	47
12:04:52	31.3	42.1	41.4	58	46
12:09:52	31.3	42.1	41.4	58	46
12:14:53	31.7	43.3	41.8	58	45
12:19:52	31.3	42.1	41.8	58	47
12:24:52	31.7	42.5	41.8	58	46
12:29:52	32.1	42.9	41.4	57	46
12:34:52	31.7	42.9	41.8	58	48
12:39:52	31.7	43.7	42.2	58	47
12:44:52	31.3	42.1	41.8	60	49
12:49:51	31.3	41.7	41.8	58	46
12:54:51	31.3	42.1	41.9	58	46
12:59:51	30.9	42.1	42.2	60	47
13:04:51	31.7	42.9	41.8	56	45
13:09:51	31.7	42.5	41.8	58	45
13:14:51	32.1	43.3	42.2	57	42
13:19:51	31.7	43.3	42.2	58	45
13:24:51	31.7	43.3	41.8	60	45
13:29:51	31.7	43.7	42.6	58	43
13:34:50	31.7	43.3	42.2	60	45
13:39:50	31.7	43.3	41.8	60	45
13:44:50	31.7	42.9	42.2	58	46
13:49:51	31.7	42.1	42.2	58	49
13:54:50	31.7	42.5	41.8	58	47
13:59:50	30.9	42.9	41.8	62	46
14:04:50	30.9	42.9	41.8	64	46

Lampiran 8. Data Suhu ($^{\circ}\text{C}$) dan RH (%) pada Perlakuan Tanpa Bahan di Luar Ruangan Selama Proses Pengeringan Berlangsung

Waktu	T. Lingk.	T. Peng.	T. Bahan	RH ling.	RH Peng.
10:47:34	36.3	51.1	43	48	38
10:52:36	35.9	50.2	42.6	48	38
10:57:36	39.7	51.9	43.8	44	36
11:02:36	41.4	54.3	46.2	40	35
11:07:36	39.7	54.3	45	41	32
11:12:36	38.4	54.3	47	48	35
11:17:36	41.4	54.7	48.2	43	35
11:22:36	39.3	54.3	48.2	46	37
11:27:35	38	54.7	48.2	49	35
11:32:35	34.2	51.5	45.4	57	39
11:37:35	37.2	51.5	45.4	48	37
11:42:35	39.3	51.9	45	45	37
11:47:35	42.2	55.1	45	40	32
11:52:35	36.3	51.5	43.8	55	39
11:57:35	37.2	52.7	44.6	52	36
12:02:35	38.8	54.7	45	43	33
12:07:35	39.7	54.7	46.6	45	34
12:12:34	39.7	54.3	45.8	42	35
12:17:34	42.2	55.9	46.6	38	32
12:22:35	40.5	56.4	49	47	33
12:27:34	39.3	58	46.2	43	31
12:32:34	41.8	56.8	48.6	42	32
12:37:34	40.5	57.2	49.4	44	32
12:42:34	41.4	56.8	48.6	40	33
12:47:34	40.1	57.6	47.4	42	33
12:52:34	42.2	57.6	47.4	40	29
12:57:34	42.6	57.6	48.6	40	32
13:02:33	41.8	56.4	47	41	34
13:07:33	42.6	58.4	48.6	40	26
13:12:33	36.7	53.5	45.8	50	38
13:17:33	36.3	55.5	46.6	50	35
13:22:33	36.7	53.1	45.8	50	37
13:27:33	37.6	54.3	45.4	47	34
13:32:33	37.2	53.1	45	48	39
13:37:33	34.2	49.4	43	59	40
13:42:32	34.2	49.4	43	56	40
13:47:32	38.8	54.7	45	48	35
13:52:32	36.3	53.1	44.6	55	36
13:57:33	36.3	51.5	43.4	53	41
14:02:32	36.7	51.1	43.8	55	41
14:07:32	36.3	49.8	42.6	55	39
14:12:32	35.5	49.4	43.8	56	44
14:17:32	35.5	49	42.6	56	41
14:22:32	36.7	50.6	44.2	57	36
14:27:32	38	49.4	43.8	52	45
14:32:32	36.3	49.4	43.8	56	45
14:37:31	34.6	48.6	42.6	63	47
14:42:31	35.5	48.2	46.2	60	48
14:47:31	34.6	48.2	45	61	47
14:52:31	34.6	48.2	45	61	42
14:57:31	32.1	47.4	45.4	75	44
15:02:31	35.1	47.8	45.4	61	49
15:07:31	35.5	48.2	45	56	43

Lampiran 9. Data Suhu Steam Boiler (°C) pada Berbagai Variasi Perlakuan

Di dalam ruang dg bahan		
Variasi	T boiler	T Pengering
1 lapis	102.1	36
	102.4	38.4
	102.6	42.1
	105.1	42.9
	103	44.5
2 lapis	102	37.2
	102.7	40.9
	103.1	44.1
	103.3	44.5
	104.2	47.4
3 lapis	101	42.9
	102.4	43.7
	102.6	44.1
	102.3	43.7
	101.1	43.5

Di luar ruang dg bahan		
Variasi	T boiler	T Pengering
1 lapis	100.9	48.6
	102.7	51.1
	102.5	55.1
	100.3	58
	100.1	58.8
2 lapis	T boiler	T Pengering
	100.9	51.5
	101.1	52.7
	100.7	55.5
	102.5	47.4
3 lapis	100.8	45.7
	T boiler	T Pengering
	102.2	49.8
	102.5	49.4
	102.3	54.7
	102.1	54.3
	100.4	47.4

Di dalam ruang tanpa bahan	
T boiler	T Pengering
100.4	38.8
102.3	40.4
103.2	42.1
104.2	42.5
105.4	42.9

Di luar ruang tanpa bahan	
T boiler	T Pengering
102.4	51.1
100.4	58
101.5	57.6
100.3	54.7

Lampiran 10. Data Penurunan Berat Bahan (kg) Selama Proses Pengeringan

Berat Bahandi dalam ruang variasi 1 lapis

jam ke	sample 1	sample 2	sample 3	sample 4
0	4.8611	4.892	4.9681	4.737
1	4.359	4.4089	4.3102	3.985
2	3.878	3.9982	3.838	3.672
3	3.35	3.545	3.628	3.517
4	3.27	3.322	3.483	3.415
5	3.18	3.267	3.2994	3.193

Berat Bahandi dalam ruang variasi 2 lapis

jamke	sample 1	sample 2	sample 3	sample 4
0	4.6185	4.4673	4.3157	4.629
1	4.211	4.0434	3.8005	4.236
2	3.885	3.685	3.49	3.712
3	3.4014	3.1876	3.078	3.2455
4	3.2975	3.1402	2.987	3.1798
5	3.1835	3.026	3.0467	3.0149
6	3.0739	2.937	2.908	2.9007

Berat Bahan di dalam ruang variasi 3 lapis

Jam ke	sample 1	sample 2	sample 3	sample 4
0	4.2498	4.7983	4.2003	4.5387
1	3.8538	4.4642	3.9655	4.128
2	3.503	4.0314	3.5061	3.7038
3	3.2	3.8	3.174	3.53
4	3.13	3.62	3	3.3
5	3.03	3.507	2.7016	3.102
6	2.824	3.0515	2.814	3.003

Berat bahan di luar ruang variasi 1 lapis

jam ke	sample 1	sample 2	sample 3	sample 4
0	4,3977	4,8805	4,6272	4,6828
1	3,772	4,132	4,011	3,7774
2	3,323	3,6023	3,4557	3,3134
3	2,9821	3,2724	3,1625	3,0257
4	2,8559	3,13902	2,939	2,9972

Berat Bahan di luar ruangan dengan variasi 2 lapis

Jam ke	sample 1	sample 2	sample 3	sample 4
0	4.2313	4.611	4.5649	4.438
1	3.733	3.985	3.8978	3.788
2	3.284	3.5074	3.5153	3.2679
3	2.893	3.1399	3.223	3.112
4	2.853	3.0144	3.179	2.9903

Berat bahan di luar ruangan dengan variasi 3 lapis

jam	sample 1	sample 2	sample 3	sample 4
0	4.9738	4.1702	4.0213	4.6922
1	4.567	3.549	3.28	4.44
2	4.135	3.111	3.0156	3.8193
3	3.85	2.928	2.9687	3.608
4	3.568	2.878	2.8572	3.4673
5	3.324	2.8103	2.7218	3.3702

Lampiran 11. Data Penurunan Kadar Air Rata-rata Bahan Tiap Jam pada Berbagai Variasi Perlakuan

Di dalam ruangan

waktu (jam)	Kadar Air (%)		
	1 Lapis	2 Lapis	3 Lapis
0	40.2625	41.335	41.1565
1	28.55956	31.10502	33.62003
2	19.95896	22.70604	24.23053
3	13.05273	12.68072	18.3085
4	10.23371	10.68902	14.65636
5	7.394258	7.78302	7.9542

Di luar ruangan

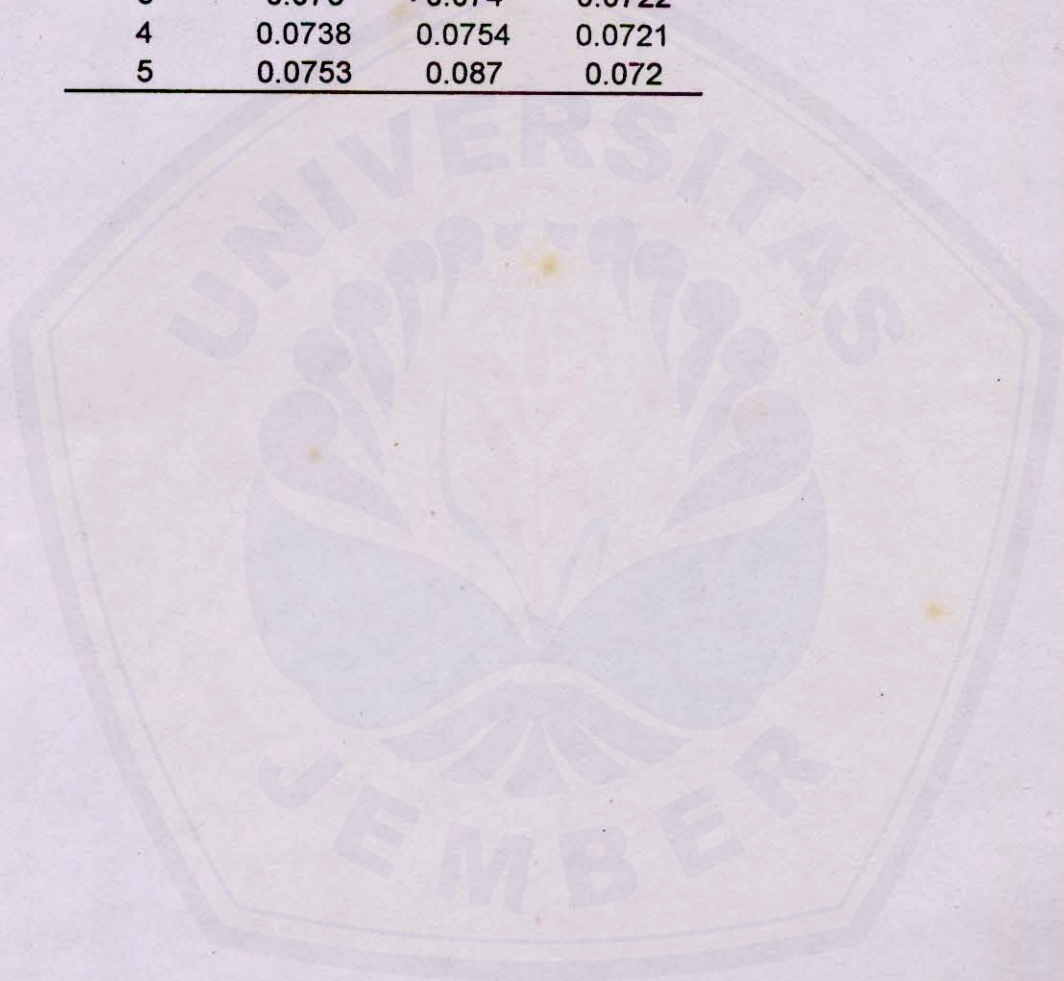
Waktu (jam)	kadar Air(%)		
	lapis 1	lapis 2	lapis 3
0	40.6323	39.7331	40.5148
1	26.756	24.7562	24.2232
2	16.0129	16.4039	17.421
3	9.26497	11.6435	14.4042
4	6.50463	7.39557	10.314
5			7.3226

Lampiran 12. Data Banyaknya air yang menguap dalam *steam boiler* (ml) tiap jam selama proses pengeringan pada perlakuan tanpa bahan di dalam dan di luar ruangan

Jam ke	Air yang menguap (ml)					
	Di dalam ruangan			Di luar ruangan		
	1 lapis	2 lapis	3 lapis	1 lapis	2 lapis	3 lapis
1	650	600	620	650	630	600
2	1200	1150	1050	1120	1100	1110
3	1100	1050	1100	1000	950	1000
4	1110	1100	1100	1050	1000	1000
5	1100	1000	1000	1100	1150	1100

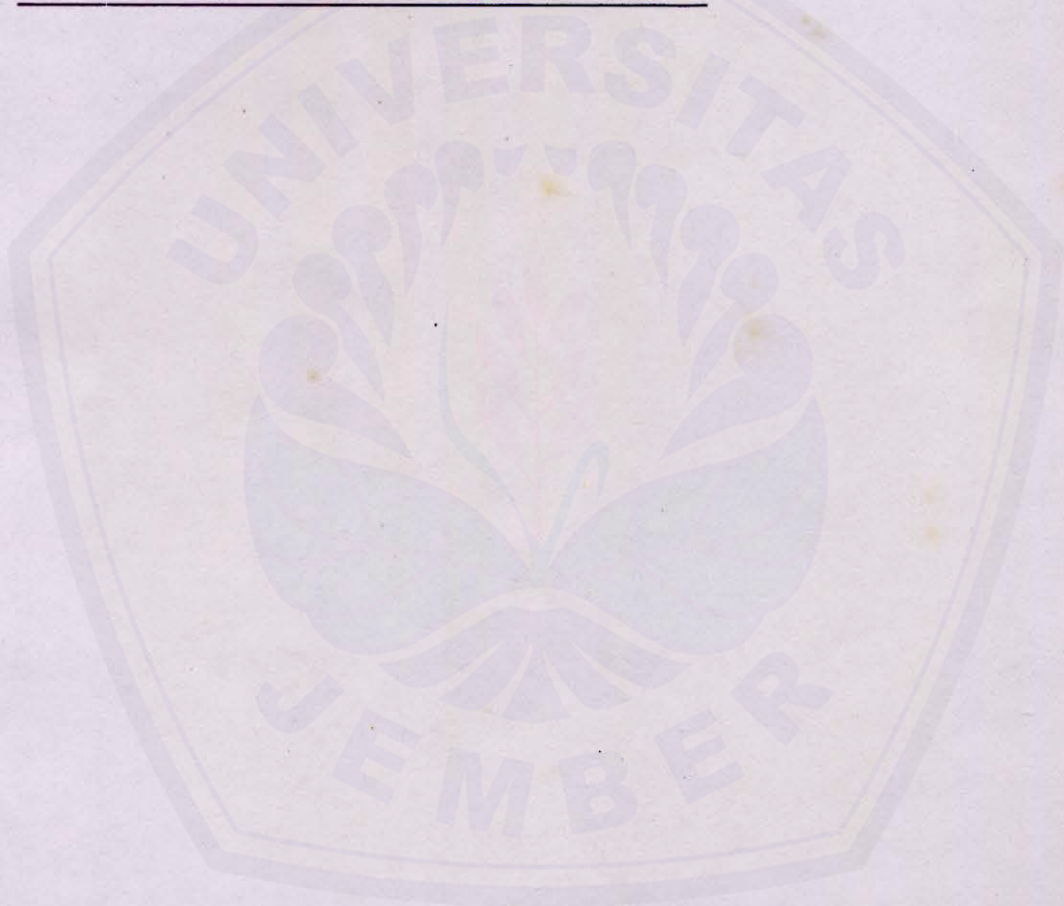
Lampiran 13. Data bahan Bakar yang Digunakan per Jam untuk Menguapkan Air dalam Steam Boiler Selama Proses Pengeringan

Jam ke	Bahan bakar yang terpakai (kg)		
	1 lapis	2 lapis	3 lapis
1	0.071	0.0723	0.0717
2	0.0725	0.0729	0.072
3	0.073	0.074	0.0722
4	0.0738	0.0754	0.0721
5	0.0753	0.087	0.072



Lampiran 14. Tabel Rata-rata Intensitas Radiasi Matahari (watt/m²)
Selama Pengeringan

Variabel Ketebalan	Jam ke	Intensitas Radiasi Matahari pada Variasi Ketebalan		
		1 lapis	2 lapis	3 lapis
	0	250	252	253
	1	257	263	253
	2	269	272	270
	3	276	250	265
	4	279	246	250



Lampiran 15. Perhitungan Effisiensi Pengeringan

di dalam ruangan

variabel	1 lapis	2 lapis	3 lapis
bb (kg)	0.19365	0.28046	0.409
m1(%)	40.2625	41.335	41.1566
m2(%)	7.39426	7.341544	7.15129
t (jam)	5	6	6
E (kg)	0.06873	0.1028919	0.149794
W (kg/jam)	0.01375	0.0171487	0.024966
Tup (o C)	36	37.2	41.7
Tb (o C)	29.4	32.6	36.7
hfg (j/kg)	2432.85	2425.2164	2415.434
LHV (kkal/kg)	9749	9749	9749
wp (kg)	0.07312	0.07632	0.072
cp bahan (kj/kg ⁰ C)	2.68156	2.708375	2.703915
Qs (kj)	3.42728	3.4941179	5.529506
Qev (kj)	167.214	249.53513	361.8173
Qp (kj)	2983.26	3113.8228	2937.569
eff. Pengeringan(%)	5.71994	8.1260001	12.50513

di luar ruangan

variabel	1 lapis	2 lapis	3 lapis
bb (kg)	0.1929	0.2997	0.48
m1(%)	40.63225	39.7331	40.5148
m2(%)	6.504632	7.39557	7.3226
t (jam)	4	4	5
E (kg)	0.070412	0.10466	0.171911
W (kg/jam)	0.017603	0.02616	0.034382
Tup (o C)	48.6	47.4	47.4
Tb (o C)	40.4	37.2	40
hfg (j/kg)	2406.606	2414.24	2407.56
wp (kg)	0.07392	0.07232	0.07472
LHV (kkal/kg)	9749	9749	9749
cp bahan (kj/kg ⁰ C)	2.690806	2.66833	2.68787
Qs (kj)	4.256264	8.15691	9.547314
Qev (kj)	169.4545	252.663	413.8858
Qp (kj)	3018.426	2953.09	3051.093
tho	0.79	0.79	0.79
a	1	1	1
l (watt/m ²)	188	198	156
A (m ²)	0.30856	0.30856	0.30856
t (jam)	4	4	5
Qirr (kj)	767.2412	808.052	795.8087
eff. Pengeringan (%)	4.588642	6.93459	11.00712

**Lampiran 16. Perhitungan Efisiensi Kompor
Di dalam ruangan**

variabel	1 lapis	2 lapis	3 lapis
m air (kg)	6	6	6
cp air (kkal/o C kg)	1	1	1
delt T ($^{\circ}$ C)	73	72.5	73.5
Lu (kj/kg)	539.8	539.8	539.8
mu (kg/jam)	1.032	0.98	0.97
Q air (kj)	1833.25	1820.6925	1845.806
Q uap (kj)	557.074	529.004	523.606
Q p (kj)	2983.26	3113.8228	2937.569
eff kompor (%)	80.1244	75.460187	80.65893

Di luar ruangan

variabel	1 lapis	2 lapis	3 lapis
m air (kg)	6	6	6
cp air (kkal/o C kg)	1	1	1
delt T (0C)	74	74.5	73
Lu (kj/kg)	539.8	539.8	539.8
mu (kg/jam)	0.984	0.966	0.962
Q air (kj)	1858.362	1870.92	1833.249
Q uap (kj)	531.1632	521.447	519.2876
eff kompor (%)	79.16461	81.0122	77.10471

Lampiran 17. Contoh perhitungan nilai efisiensi pengeringan dengan ketebalan bahan 1 lapis pada perlakuan di dalam ruangan.

Berat bahan awal (bb)	0.1929 kg
Kadar air awal (m_1)	= 40.63225 %
Kadar air akhir (m_2)	= 6.504632%
Lama pengeringan (t)	4 jam
Suhu udara pengering (T_{up})	= 48.6 %
Suhu bahan (T_b)	= 40.4 %
Panas laten penguapan (hfg)	= 2406.606 kJ/kg
LHV minyak tanah	= 40804.4395 kJ/kg
Massa minyak yang terbakar (W_p)	= 0.07392 kg
Irradiasi Matahari (I)	= 188 watt/m ²
Koefisien tembus cahaya (τ)	= 0.79
Koefisien penyerap panas (α)	= 1
Luas permukaan kolektor (A)	= 0.30856 m ²
Lama penyinaran matahari (t_{irr})	= 4 jam

1. Energi untuk menguapkan air bahan atau panas penguapan.

❖ Berat air yang diuapkan (E)

$$\begin{aligned} E &= bb \times (m_1 - m_2) / (100 - m_2) \\ &= 0.1929 \times (40.6323 - 6.5046) / (100 - 6.5046) \\ &= 0.070412 \text{ kg} \end{aligned}$$

❖ Panas penguapan (Q_{ev})

$$\begin{aligned} Q_{ev} &= E \times hfg \\ &= 0.0704 \times 2406.606 \\ &= 169.4 \text{ kJ} \end{aligned}$$

2. Energi untuk memanaskan bahan atau panas sensible

❖ Panas jenis bahan (C_p)

$$\begin{aligned}C_p &= 1.675 + 0.025 (ka \%) \\ &= 1.675 + 0.025 (6.5046) \\ &= 2.69 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

❖ Panas sensible (Q_s)

$$\begin{aligned}Q_s &= bb \times C_p \times (T_{up} - T_b) \\ &= 0.1929 \times 2.69 \times (48.6 - 40.4) \\ &= 4.25 \text{ kJ}\end{aligned}$$

3. Energi panas minyak tanah (Q_p)

$$\begin{aligned}\text{❖ } Q_p &= W_p (LIHV) \\ &= 0.07392 \times 40804.4395 \\ &= 3018.426 \text{ kJ}\end{aligned}$$

4. Energi panas radiasi matahari (Q_{irr})

$$\begin{aligned}Q_{irr} &= (\tau \cdot \alpha) \cdot I \cdot A \cdot t_{irr} \\ &= (0.79 \times 1) \times 188 \times 0.30856 \times 3.6 \\ &= 767.2412 \text{ kJ}\end{aligned}$$

5. Efisiensi sistem pengering (η)

$$\begin{aligned}\eta &= ((Q_s + Q_{ev}) / (Q_{irr} + Q_p)) \times 100\% \\ &= ((4.25 + 169.4) / (767.2412 + 3018.426)) \times 100\% \\ &= 4.58 \%\end{aligned}$$

Lampiran 18. Contoh perhitungan nilai efisiensi kompor (η_k)

Massa air yang teruapkan (m_a)	= 6 kg
Panas jenis air (C_{pa})	= 1 kkal/ $^{\circ}$ C kg = 4.1855 kJ/ $^{\circ}$ C kg
ΔT air	= 73 $^{\circ}$ C
L_u	= 539.8 kJ/kg
Laju massa uap air	= 1.032 kg/jam
W_p minyak	= 0.07312 kg
LHV minyak	= 40804.4395 kJ/kg
Efisiensi Kompor (η_k)	= $((m_a \cdot C_{pa} \cdot \Delta T + m_u \cdot L_u) / (W_p \cdot LHV)) \times 100\%$ = $(6 \times 4.1855 \times 73 + 1.032 \times 539.8) \times 100\%$ 0.07312 x 40804.4395 = 80.12 %

Lampiran 19. Foto Kegiatan



Foto Alat Steam Boiler

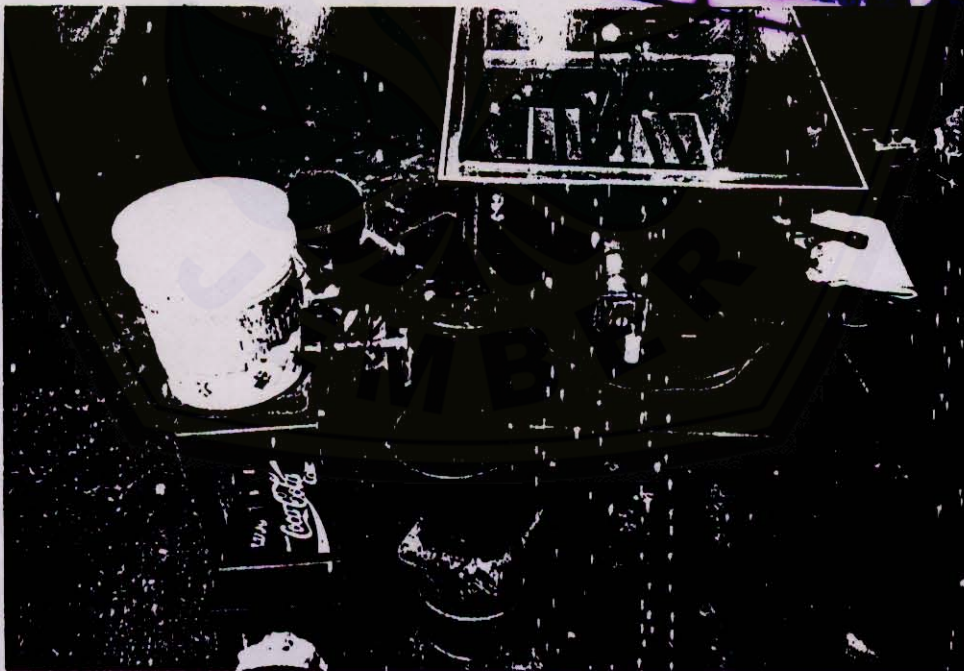


Foto Pengambilan Data
(Pengukuran Jumlah Bahan Bakar yang Terpakai)



Foto Pengamatan Suhu dan Kelembaban pada Layar Komputer

JEMBER