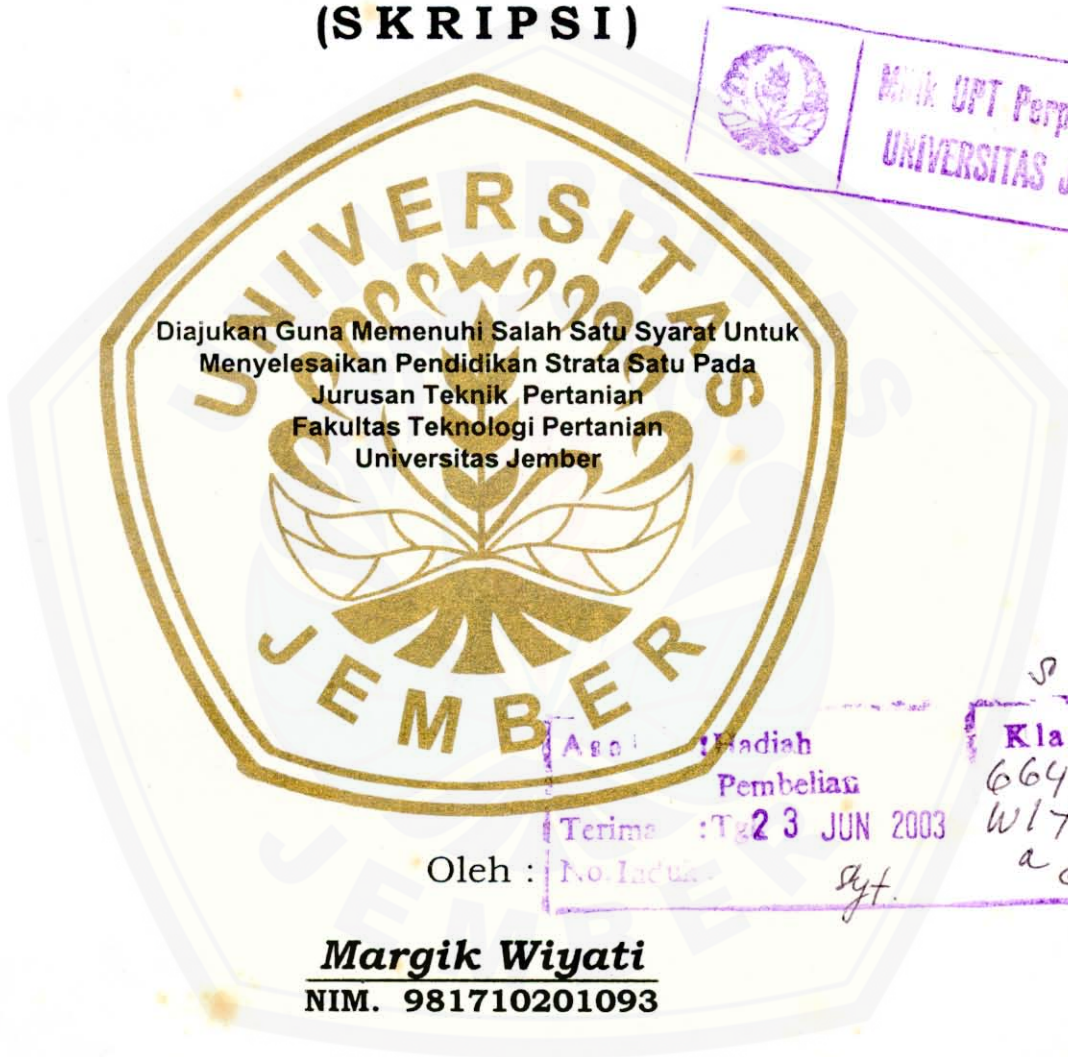


**ANALISIS KESEIMBANGAN PANAS (*Heat Balance*) PADA
PENGERINGAN BUAH PISANG AMBON (*Musa sapientum* L.)
DALAM PROSES PEMBUATAN SALE PISANG**

**KARYA ILMIAH TERTULIS
(SKRIPSI)**



**JURUSAN TEKNIK PERTANIAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
UNIVERSITAS JEMBER
2003**

MOTTO

✽ Hidup bukan untuk hidup, tetapi hidup untuk **Yang Maha Hidup**.
Hidup bukan untuk mati, tetapi justru matilah untuk hidup.
Mati bukanlah akhir dari cerita hidup ini, tetapi awal hidup yang sebenarnya. Karena itu janganlah takut mati, jangan mencari mati,
Jangan lupa mati, tetapi rindukanlah mati. Karena mati bukanlah wafat, mati adalah pintu untuk berjumpa dengan (الله)

✽ Pasti ada kemudahan yang selalu datang mengiringi kesulitan. Kesulitan adalah pelengkap kenikmatan. Tanpa kesulitan, sebuah nikmat tak akan terasa sangat manis, sebagaimana makan terasa sangat nikmat hanya ketika perut sedang lapar. Kesulitan adalah sebuah keharusan hidup. Setiap orang mesti menemui kesulitan dalam perjalanan hidupnya, maka kesulitan tidak perlu ditakuti, tapi harus dihadapi.

✽ 

Artinya: *"Karena Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, dan Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan."*

(QS. Alam –Nasyrah : 5 – 6)

✽ Jika kamu ketinggalan kereta, toh masih ada kereta yang lain yang akan lewat. Jadi janganlah ragu, janganlah cemas, janganlah khawatir, janganlah putus asa dan **"NEVER GIVE UP!!!!"**. Yakinlah masih ada/banyak kesempatan yang lain yang menghampirimu. Yakinlah dengan kemampuan diri sendiri dan **Bertawakkallah** hanya kepada **Allah S.W.T** atas usaha dan tujuan yang hendak dicapai.

HALAMAN PERSEMBAHAN

Karya Tulis Ilmiah ini koe-Persembahkan:

- ❖ Allah S.W.T, Rosululloh Muhammad S.A.W
- ❖ Alm. Ayahanda Djumari, yang telah memberikan dukungan moral, finansial, kasih sayang yang tiada akhir.
Ugiex always love Ayah.....
- ❖ Ibunda Sunarsih, yang senantiasa membimbing, menasehati dan mendukung- koe selama kuliah. Smoga rahmat Allah selalu terlimpahkan kepada beliau.
- ❖ Kakak-koe: Mas Jarwo dan Mba' Sari, yang selalu memotivasi-koe. Thank's my brother and syster.....dan juga si Imut "Lia".
- ❖ Seseorang "Special for me" yang kelak menjadi pendamping hidup-koe.
- ❖ Almamater yang koe-banggakan.

DOSEN PEMBIMBING

DPU : Ir. SISWIJANTO, MP

DPA I : Ir. SURYANTO, MP

DPA II : Ir. HAMID AHMAD

Diterima Jurusan Teknik Pertanian
Fakultas Teknologi Pertanian
Universitas Jember

Dipertahankan pada:

Hari : Senin

Tanggal: 2 Juni 2003

Tempat: Fakultas Teknologi Pertanian
Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua




Ir. Siswijanto, MP
NIP. 130 802 225

Anggota I



Ir. Survanto, MP
NIP. 131 759 841


Anggota II



Ir. Hamid Ahmad
NIP. 131 386 655

Mengesahkan

Dekan



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

KATA PENGANTAR

Puji syukur, Alhamdulillah penulis panjatkan ke hadirat Allah S.W.T yang telah memberikan rahmat, hidayah serta inayah-Nya sehingga Karya Tulis Ilmiah yang berjudul **“Analisis Keseimbangan Panas (*Heat Balance*) pada Pengeringan Buah Pisang Ambon (*Musa sapientum* L.) dalam Proses Pembuatan Sale Pisang”** dapat terselesaikan dengan baik.

Karya Tulis Ilmiah ini diajukan guna memenuhi syarat untuk menyelesaikan Program Pendidikan Strata Satu (S1) pada Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Ir. Hj. Siti Hartanti, MS., selaku Dekan Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember.
2. Bapak Ir. Siswijanto, MP., selaku Ketua Jurusan Teknik Pertanian dan Dosen Pembimbing Utama yang telah banyak memberikan bimbingan, arahan selama penulisan skripsi ini.
3. Bapak Ir. Suryanto, MP., selaku Komisi Bimbingan Teknik Pertanian dan Dosen Pembimbing Anggota I, yang banyak memberikan masukan, bimbingan dan nasehat selama penulisan skripsi ini.
4. Bapak Ir. Hamid Ahmad, selaku Dosen Pembimbing Anggota II, yang banyak memberikan masukan dan bimbingan dalam penulisan skripsi ini.
5. Bapak Ir. Bambang Marhaenanto, Meng., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Pertanian, yang telah membantu proses kelancaran penelitian.
6. Alm. Ayahanda Djumari, *Smoga* Allah selalu berada disisi beliau.
7. Ibunda Tercinta, atas segala jerih payahnya memberikan dorongan moral kepada-koe. *"Matur Suwun sanget Emak..."*
8. Mas Jarwo 'n Mba' Sari dan si centil "Lia", makasih atas pengertiannya serta keceriaan yang mewarnai hidup-koe.
9. Sohib-koe "Titien, Heri 'n Yoeli, makasih atas kebersamaannya. *Smoga tidak akan pernah putus hingga akhir.*

10. Special for the Gank: (Kakak-koe: **Eko, Malkan, Arie, Anom, Khafidh** end Mas Andi .W), serta **Kent, Dani, Cicik, Akhsan"Boy"**, thank's banyak telah mememani akoe selama penelitian.
11. Keluarga Besar Brantas XIII/I : Bapak dan Ibu Fatchul Rodji, Arie, Dimas, Boedi, Mba' Etiek, Mba' Titik, Enny, Erna, Mieke; makasih atas keceriaan dan kebersamaannya.
12. Temen-temen-koe TEP '98 semuanya yang akoe cintai dan sayangi (**Tan, lin, Mas Iwan, Ris, Yul, Krar, Mas iFul, Wid, Danton Noor, Ded, Ra, Fit, Ka, Mama Feni, May, Za, Cal, Yoyok, Mas Andi .P, Pris, Bien, Kak Somad, Mas H-syim, Kiki, Heri 'cowok', Danny wah, O'Ce', Ucil, Dayaf, Zus, Bas**). Smoga kebersamaan kita takkan pernah pudar. "Inga'-inga' kata kunci "**JAGA SOLIDARITAS**"
13. Adhe'koe: Yana 'n Ni'am dan special for '**Wenny**', makasih kasih sayangnya, temenkoe "Oman", Mba'koe U'ut, Yoelie dan Mas Muhtar dan juga Mas Deni, thank's banyak atas semua naschat dan do'anya.
14. Mba' Wim ,Mas Mistar, Mas Agus,Pak Sagan, makasih atas bantuannya selama penelitian.
15. Mba Anik, Mba' Sri, Mbak Tutik dan seluruh staf akademik yang telah membantu penyelesaian dan kelancaran skripsi ini.
16. Adik-adik angkatan '99,'00,'01,'02'; teruskan perjuanganmu.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih belum sempurna, oleh karena itu tidak menutup kemungkinan adanya kritikan dan saran yang membangun demi kesempurnaan Karya Tulis Ilmiah ini. Penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat bagi yang berkepentingan

Jember, Juni 2003

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN MOTTO.....	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN DOSEN PEMBIMBING	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
RINGKASAN.....	xiv
DAFTAR SIMBOL	xv
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Buah Pisang (Musa paradisiaca .L).....	4
2.2 Sale Pisang	6
2.3 Pengeringan.....	7
2.4 Laju Pengeringan.....	8
2.4.1 Periode Laju Pengeringan Konstan	9
2.4.2 Periode Laju Pengeringan Menurun.....	9
2.5 Kadar Air Bahan.....	9
2.6 Grafik Psychometric.....	10
2.7 Pengeringan dengan Tray Dryer.....	12
2.8 Pengeringan Menggunakan Permukaan di Panasi	12

2.9 Sifat Fisik dan Termal Bahan Pangan.....	12
III. METODOLOGI PENELITIAN	14
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	14
3.2 Bahan dan Alat.....	14
3.2.1 Bahan.....	14
3.2.2 Alat.....	14
3.3 Pendekatan Teori.....	14
3.4 Tahapan Penelitian.....	17
3.4.1 Konstruksi Alat.....	17
3.4.2 Parameter Yang Diukur.....	17
3.4.3 Cara Pengambilan Data.....	18
3.4.4 Perlakuan.....	18
3.5 Metode Analisis.....	19
3.5.1 Analisis Grafis.....	19
3.5.2 Analisis Statistik.....	19
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	20
4.1 Hasil Penelitian	20
4.2 Estimasi Konstanta Pengeringan (K) dan (N).....	23
4.3 Penentuan Laju Pengeringan.....	30
4.4 Suhu Bahan	32
4.5 Konsumsi Bahan Bakar.....	33
4.6 Uji Validitas	34
4.6.1 Kadar Air Bahan Prediksi.....	34
4.6.2 Suhu Bahan Prediksi	36
4.6.3 Analisis Grafik	37
4.6.4 Analisis Statistik.....	46
V. KESIMPULAN DAN SARAN	48
5.1 Kesimpulan.....	48
5.2 Saran.....	48
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN	51

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Kandungan Gizi Buah Pisang Setiap 100 gram Buah Segar.....	6
Tabel 2.2 Aw minimum Beberapa Mikroorganisme.....	8
Tabel 2.3 Kadar Air Beberapa Bahan Hasil Pertanian yang telah Dikeringkan hingga Aw 0.70	8
Tabel 4.1 Data-data Penelitian Pendahuluan.....	20
Tabel 4.2 Rata-rata Kadar Air Bahan dengan Variasi Suhu pada Rak 1.....	21
Tabel 4.3 Rata-rata Kadar Air Bahan dengan Variasi Tinggi Tiap Rak Pada Suhu 60°C.....	21
Tabel 4.4 Hasil Regresi Ln(-Ln MR) dan Ln t dengan Variasi Suhu Pada Rak 1.....	25
Tabel 4.5 Hasil Regresi Ln(-Ln MR) dan Ln t dengan Variasi Tinggi Rak...	28
Tabel 4.6 Garis Regresi dan Nilai R ² Kadar Air Bahan dengan Variasi Suhu pada Rak 1.....	41
Tabel 4.7 Garis Regresi dan Nilai R ² Kadar Air Bahan dengan Variasi Tinggi Rak pada Suhu 60°C	42
Tabel 4.8 Garis Regresi dan Nilai R ² Suhu Bahan dengan Variasi Suhu Pada Rak 1.....	46
Tabel 4.9 Garis Regresi dan Nilai R ² Suhu Bahan dengan Variasi Tinggi Rak pada Suhu 60°C	46
Tabel 4.10 Hasil Uji Modulus Deviasi Kadar Air Bahan dengan Variasi Suhu pada Rak 1.....	46
Tabel 4.11 Hasil Uji Modulus Deviasi Kadar Air Bahan dengan Variasi Tinggi Rak pada Suhu 60°C	47
Tabel 4.12 Hasil Uji Modulus Deviasi Suhu Bahan dengan Variasi Suhu Pada Rak 1.....	47
Tabel 4.13 Hasil Uji Modulus Deviasi Suhu Bahan dengan Variasi Tinggi Rak pada Suhu 60°C.....	47

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 4.1 Grafik Hubungan Kadar Air Bahan dan Waktu dengan Variasi Suhu pada Rak 1	22
Gambar 4.2 Grafik Hubungan Kadar Air Bahan dan Waktu dengan Variasi Tinggi Rak pada Suhu 60°C.....	22
Gambar 4.3 Grafik Hubungan $\ln(-\ln MR)$ dan $\ln t$ dengan Variasi Suhu Pada Rak 1	24
Gambar 4.4 Grafik Hubungan $\ln(-\ln MR)$ dan $\ln t$ dengan Variasi Tinggi Rak pada Suhu 60°C	24
Gambar 4.5 Grafik Hubungan Konstanta Pengeringan K dengan Variasi Suhu pada Rak 1.....	26
Gambar 4.6 Grafik Hubungan Konstanta Pengeringan N dengan Variasi Suhu pada Rak 1.....	27
Gambar 4.7 Grafik Hubungan Konstanta Pengeringan K dengan Variasi Tinggi Rak dari Pemanas (Kompor) Suhu 60°C	28
Gambar 4.8 Grafik Hubungan Konstanta Pengeringan N dengan Variasi Tinggi Rak pada Suhu 60°C	29
Gambar 4.9 Grafik Hubungan dM/dt dan waktu dengan Variasi Suhu pada Rak 1	30
Gambar 4.10 Grafik Hubungan dM/dt dan Waktu dengan Variasi Tinggi Rak pada Suhu 60°C.....	31
Gambar 4.11 Grafik Hubungan antara Suhu Bahan dan Waktu dengan Variasi Suhu pada rak 1	32
Gambar 4.12 Grafik Hubungan antara Suhu Bahan dan Waktu dengan Variasi Tinggi Rak Suhu 60°C	33
Gambar 4.13 Grafik Hubungan K_a Observasi dan Prediksi dengan Waktu Dengan Variasi Suhu pada Rak 1.....	34
Gambar 4.14 Grafik Hubungan K_a Observasi dan Prediksi dengan Waktu Dengan Variasi Tinggi Rak Suhu 60°C.....	35

Gambar 4.15 Grafik Hubungan Suhu Bahan Observasi dan Prediksi Dengan Waktu dengan Variasi Suhu pada Rak 1.....	36
Gambar 4.16 Grafik Hubungan Suhu Bahan Observasi dan Prediksi Dengan Waktu dengan Variasi Tinggi Rak Suhu 60°C.....	37
Gambar 4.17 Scatter Plot Ka Bahan Observasi dan Prediksi Suhu 50°C.....	38
Gambar 4.18 Scatter Plot Ka Bahan Observasi dan Prediksi Suhu 60°C.....	38
Gambar 4.19 Scatter Plot Ka Bahan Observasi dan Prediksi Suhu 70°C.....	39
Gambar 4.20 Scatter Plot Ka Bahan Observasi dan Prediksi pada Rak 1.....	39
Gambar 4.21 Scatter Plot Ka Bahan Observasi dan Prediksi pada Rak 2.....	40
Gambar 4.22 Scatter Plot Ka Bahan Observasi dan Prediksi pada Rak 3.....	40
Gambar 4.23 Scatter Plot Ka Bahan Observasi dan Prediksi pada Rak 4.....	41
Gambar 4.24 Scatter Plot Suhu Bahan Observasi dan Prediksi pada Suhu 50°C.....	42
Gambar 4.25 Scatter Plot Suhu Bahan Observasi dan Prediksi pada Suhu 60°C.....	43
Gambar 4.26 Scatter Plot Suhu Bahan Observasi dan Prediksi pada Suhu 70°C.....	43
Gambar 4.27 Scatter Plot Suhu Bahan Observasi dan Prediksi pada Rak 1.....	44
Gambar 4.28 Scatter Plot Suhu Bahan Observasi dan Prediksi pada Rak 2.....	44
Gambar 4.29 Scatter Plot Suhu Bahan Observasi dan Prediksi pada Rak 3.....	45
Gambar 4.30 Scatter Plot Suhu Bahan Observasi dan Prediksi pada Rak 4.....	45

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Konstruksi Alat Pengering Tipe Rak (Tray Dryer).....	51
Lampiran 2. Penurunan Berat Bahan dengan Variasi Suhu 50°C, 60°C dan 70°C	52
Lampiran 3. Kadar Air Bahan dengan Variasi Suhu 50°C, 60°C, dan 70°C	53
Lampiran 4. Penurunan Berat Bahan dengan variasi Tinggi Rak pada Suhu 60°C.....	54
Lampiran 5. Data Rata-rata Suhu dan Kelembaban Relatif pada Lingkungan Ruang Pengering dan Cerobong dengan Variasi Suhu.....	55
Lampiran 6. Program Kadar Air Bahan Prediksi pada berbagai Perlakuan...	56
Lampiran 7. Program Suhu Bahan Prediksi dengan Variasi Suhu.....	58
Lampiran 8. Program Suhu Bahan Prediksi dengan Variasi Tinggi Rak.....	59
Lampiran 9. Nilai Mt Prediksi pada Berbagai Perlakuan.....	60
Lampiran 10. Suhu Bahan Observasi dan Prediksi pada berbagai Perlakuan..	61
Lampiran 11. Perhitungan Analisis Modulus Deviasi Kadar Air Bahan Pada Berbagai Perlakuan.....	62
Lampiran 12. Perhitungan Analisis Modulus Deviasi Suhu Bahan pada Berbagai Perlakuan.....	64
Lampiran 13. Perhitungan Manual Kadar Air Bahan dan Suhu Bahan Secara Manual	67

RINGKASAN

Analisis Keseimbangan Panas (*Heat Balance*) Pada Pengeringan Buah Pisang Ambon (*Musa sapientum* L.) dalam Proses Pembuatan Sale Pisang. Margik Wiyati¹⁾, Ir. Siswijanto, MP²⁾, Ir. Suryanto, MP³⁾, Ir. Hamid Ahmad⁴⁾.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji penurunan kadar air bahan dengan alat pengering tipe rak (*tray dryer*) dan mengkaji distribusi suhu bahan dengan analisis keseimbangan panas (*heat balance*) pada proses pengeringan pada berbagai perlakuan suhu udara pengering dan berbagai tinggi rak. Bahan yang digunakan adalah buah pisang Ambon dengan kadar air awal 70.0173%. Variasi suhu udara pengering dengan alat pengering *tray dryer* untuk bahan buah pisang adalah 50°C, 60°C, dan 70°C, sedangkan variasi tinggi rak secara berturut-turut adalah rak 1: 30 cm, rak 2: 38 cm, rak 3: 46 cm, dan rak 4: 54 cm.

Hasil penelitian di Laboratorium berupa kadar air bahan, suhu bahan dan kelembaban udara. Model matematik yang berupa persamaan pengeringan lapis tipis (*thin layer*) digunakan untuk memprediksi kadar air bahan dan konstanta pengeringan; dan persamaan keseimbangan panas untuk memprediksi suhu bahan.

Untuk mengetahui kesahihan model matematik tersebut digunakan analisis grafis menggunakan Scatter Plot dan Analisis Modulus Deviasi. Hasil dari analisis tersebut didapatkan nilai koefisien korelasi (R^2) antara 0.9936 sampai 0.9988 untuk kadar air bahan, sedangkan untuk suhu bahan antara 0.9376 sampai 0.9868. Berdasarkan analisis modulus deviasi $P \pm S < 10$. Dan hal ini menunjukkan bahwa penelitian yang didapatkan menunjukkan keadaan yang sebenarnya sehingga model matematika tersebut dapat digunakan untuk memprediksi kadar air bahan dan suhu bahan yaitu buah pisang Ambon.

-
- 1) Mahasiswa FTP Universitas Jember
 - 2) Dosen Pembimbing Utama
 - 3) Dosen Pembimbing Anggota I
 - 4) Dosen Pembimbing Anggota II

DAFTAR SIMBOL

C_b	= panas jenis bahan ($\text{Kj/kg}^\circ\text{C}$)
C_w	= panas jenis air ($\text{Kj/kg}^\circ\text{C}$)
dM/dt	= laju pengeringan ($\%/jam$)
G	= aliran udara ($\text{kg/m}^2\text{s}$)
h	= entalpi (Kj/kg)
h_{fg}	= panas laten penguapan air (KJ/kg)
H	= kelembaban absolut (kg/kg)
Δh_v	= panas laten penguapan bahan (KJ/kg)
K	= konstanta pengeringan (jam^{-1})
$K_{a,db}$	= kadar air basis kering (dry basis:desimal,%)
$K_{a,wb}$	= kadar air basis basah (wet basis:desimal, %)
m	= massa bahan (kg)
M_e	= kadar air keseimbangan (%)
M_o	= kadar air bahan awal (%)
MR	= perbandingan kadar air (desimal)
M_t	= kadar air sesaat (%)
n	= banyaknya data
N	= konstanta pengeringan
P	= modulus deviasi
P_a	= tekanan atmosfer (N/m^2)
P_i	= modulus deviasi ke-i
P_{sat}	= tekanan uap jenuh pada suhu yang sama (N/m^2)
P_v	= tekanan uap pada suhu udara (N/m^2)
RH	= kelembaban relatif udara (%)
S	= standar deviasi
t	= waktu (jam)
T_a	= suhu udara ($^\circ\text{C}$)
T_b	= suhu bahan ($^\circ\text{C}$)
U	= koefisien total pindah panas ($\text{Kj/m}^2\text{C}$)

- V = volume bahan (m^3)
 W_d = berat bahan (kering mutlak tanpa air, dalam gr, kg)
 W_m = berat air dalam bahan (gr, kg)
 ρ_b = densitas bahan (kg/m^3)





I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sesuai dengan namanya, tanaman buah-buahan adalah suatu jenis tanaman yang menghasilkan buah yang dapat dimakan mentah atau matang di pohon. Jadi, tanaman buah-buahan merupakan tanaman yang hasilnya dapat disajikan untuk dimakan dalam bentuk segar sebagai buah meja atau pencuci mulut (*table fruit*) atau dalam bentuk yang telah diolah (*processed*). Pada umumnya buah-buahan tersebut tidak dapat disimpan lama karena cepat membusuk dan mudah rusak atau *perishable* (Sunarjono, 1986).

Pisang merupakan salah satu buah yang kini menjadi komoditas pertanian yang mempunyai prospek cerah di Indonesia, karena iklimnya sesuai bagi pertumbuhannya. Buah pisang termasuk buah yang berasal dari tanaman berumpun yang hidupnya menahun dan jenisnya sangat banyak (Satuhu, 1992).

Buah ini sangat familiar di telinga setiap orang khususnya orang Indonesia. Buah yang satu ini sangat mudah didapatkan sekalipun di daerah pedalaman. Di kota-kota besar buah pisang mudah sekali dijumpai dari pasar tradisional sampai pasar modern atau dari warung makan jalanan sampai restoran yang mewah.

Indonesia sebetulnya menduduki ranking keempat penghasil pisang di Asia dengan produksi sekitar 1.870 ton per tahun. Namun sampai sekarang nama Indonesia belum tercatat sebagai negara pengekspor pisang, karena kebanyakan produksi pisang Indonesia untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri sendiri. Namun sudah ada pula ekspor pisang Indonesia ke Timur Tengah, terutama untuk jenis pisang Ambon, Raja, Kepok dan Mass (Trubus, 1992).

Buah pisang secara fisiologis merupakan buah klimaterik artinya buah yang kurang tua saat panen akan menjadi matang setelah dilakukan pemeraman, yang mempunyai metabolisme tinggi daripada jenis buah lainnya, sehingga menyebabkan buah pisang cepat menjadi rusak (Satuhu, 1992).

Munadjim (1984), mengemukakan bahwa apabila tidak dilakukan tindakan khusus setelah buah pisang dipanen, maka paling lama hanya 15 hari dapat

bertahan dalam penyimpanan. Buah pisang tersebut dengan demikian perlu diupayakan menjadi produk lain yang mempunyai daya simpan yang lama agar mempunyai nilai ekonomi yang tinggi diantaranya adalah sale pisang.

Sale pisang adalah merupakan jenis makanan yang terbuat dari buah pisang matang yang diawetkan dengan cara pengeringan. Sale pisang ini mempunyai rasa yang lezat dan daya tahan (keawetan) yang cukup tinggi bahkan sampai tahan berbulan-bulan.

Sale pisang yang disukai konsumen adalah sale pisang yang warnanya kuning kecoklatan, mengkilat, rasanya manis, tidak berbau asing dan tidak berjamur (Anonim, 1983).

Pengeringan dapat diartikan sebagai usaha untuk mengurangi kadar air bahan sampai batas aman untuk disimpan. Secara umum ada dua macam cara pengeringan, yaitu pengeringan secara alami dan pengeringan secara mekanis. Pengeringan secara alami adalah penjemuran dengan sinar matahari, sedangkan pengeringan secara mekanis adalah suatu cara pengeringan produk dengan menggunakan alat pengering buatan manusia.

Alat pengering tipe rak (*tray dryer*) adalah salah satu alat pengering mekanis yang memiliki tumpukan rak-rak dan pemanas yang digunakan berbahan bakar minyak dengan penukar panas tidak bercampur, yaitu gas hasil pembakaran bahan bakar tidak bercampur dengan udara pengering (Rahmanto, 2001).

1.2 Permasalahan

Buah pisang merupakan produk hortikultura yang banyak mengandung air, selain itu merupakan bahan biologis yang pada saat panen merupakan bahan yang masih hidup, sehingga akan mengalami proses-proses biologi seperti respirasi, perubahan warna, perubahan kimia, aroma dan struktur. Hal tersebut menyebabkan buah pisang menjadi cepat rusak dan mengalami penyusutan $\pm 35\%$ dari total produksi, sehingga harga di tingkat petani menjadi rendah. Sebetulnya pasaran ekspor pisang sangatlah baik karena kebutuhan yang meningkat dari tahun ke tahun. Akan tetapi peluang ini belum bisa dimanfaatkan dengan baik, salah satu sebabnya adalah kurangnya pengetahuan dan penanganan produk pasca

panen khususnya dalam hal proses pengeringan buah pisang dalam pembuatan sale pisang.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengkaji penurunan kadar air bahan selama proses pengeringan dengan alat pengering tipe rak (*tray dryer*)
2. Mengkaji distribusi suhu bahan dengan analisis keseimbangan panas (*heat balance*) pada proses pengeringan

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi terutama mengenai proses pengeringan buah pisang untuk produk sale pisang.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Buah Pisang (*Musa paradisiaca* .L)

Menurut ahli sejarah dan botani, bahwa asal mula tanaman pisang adalah Asia Tenggara. Asia Tenggara, termasuk Indonesia disebut sebagai sentra asal tanaman pisang (Satuhu, 1992).

Berdasarkan klasifikasi iklim menurut Schimdt dan Ferguson (1951), pisang merupakan tanaman buah-buahan yang menghendaki tipe iklim basah dengan curah hujan antara 1000 – 3000 mm per tahun dan suhu panas yang berkisar antara 22 - 35°C. Jadi tanaman pisang hanya baik dikembangkan di dataran tinggi yang mempunyai ketinggian 1000 - 2000 m dari permukaan laut. Pada daerah yang mempunyai ketinggian lebih dari 2000 m dari permukaan laut, hanya pisang tanduk, nangka dan pisang kapas yang mampu tumbuh dan berbuah baik (Lakitan, 1994).

Kedudukan tanaman pisang dalam sistematika (taksonomi) tumbuhan diklasifikasikan sebagai berikut:

Divisio	: Spermatophyta
Sub divisio	: Angiospermae
Kelas	: Monocotyledonae
Ordo	: Scitaminae
Famili	: Musaceae
Sub famili	: Muscoideae
Genus	: Musa
Spesies	: <i>Musa paradisiaca</i> Linn

Pisang yang sudah umum dibudidayakan dan buahnya enak dimakan disebut *Musa paradisiaca* Linn. Jenis pisang ini merupakan keturunan dari hasil persilangan antara pisang kole (*Musa acuminata* Colla) dan pisang klutuk (*Musa balbisiana*) (Rukmana, 1999).

Tanaman pisang merupakan tanaman berumpun yang mempunyai batang basah karena banyak mengandung air yang hanya berbuah sekali (*monokarpik*), kemudian mati. Tingginya antara 2 – 9 m; mempunyai batang bawah tanah yang

disebut bonggol pendek (*corn*). Bonggol mempunyai mata dan dapat tumbuh menjadi tanaman baru. Akarnya serabut, menyebar hingga 4 – 5 m. Batang pisang semu yang berasal dari pelepah daun tumbuh saling menutup dan melingkari, hingga ketebalannya mencapai 20 – 50 cm. Daun yang baru menggulung muncul dari tengah batang semu terus tumbuh memanjang keluar di tengah-tengah kanopi tanaman. Pada ujung bunga terdapat kuncup bunga. Tiap kuncup bunga dibungkus oleh seludang (*bractea*) berwarna merah kecoklatan. Seludang tersebut jatuh ke tanah apabila bunga telah membuka. Bunga betina berkembang secara normal, sedangkan bunga jantan ada di daerah ujung bunga, tidak berkembang. tiap kelompok bunga disebut sisir, yang jumlahnya biasanya 12 – 20 buah. Seluruh sisir tersusun rapi dalam satu tandan buah. Pada saat bunga betina yang berada pada dasar bunga berkembang, bunga jantan tetap tertutup oleh seludang. Bunga jantan (jantung) dapat digunakan untuk sayuran. Bunga betina yang panjangnya sampai 10 cm, dalam bakal buahnya terdapat 3 ruang yang menyatu, bentuknya menjadi segitiga. Bunga jantan panjangnya 6 cm. Benang sarinya 5, jarang yang menghasilkan tepung sari. Buah pisang seperti beri, 6 – 35 cm x 2,5 – 5 cm, bentuknya membengkok, berwarna hijau, kuning atau coklat. Tiap kelompok buah atau sisir terdiri dari beberapa buah, yang disebut uler (Ashari, 1995).

Varietas pisang yang telah dibudidayakan di Indonesia banyak sekali, diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Pisang buah meja (*Musa sapientum* L.) yang merupakan turunan murni dari *Musa acuminata*. Yang termasuk golongan ini adalah: pisang *gros michel* (ambon putih, ambon kuning), ambon hijau (lumut), ambon Jepang (*chinese* atau *giant cavandish*), badak (*dwarf cavandish*), raja (raja bulu), seroh, susu, mas, barangan, dan sebagainya.
2. Pisang rebus atau plantain (*Musa normalis*) yang merupakan hasil silangan antara *Musa acuminata* dengan *Musa balbisiana*. Yang termasuk golongan ini ialah: pisang tanduk, kapas, nangka, siem, kepok putih, kepok kuning, bangsa dan sebagainya.
3. Pisang berbiji (*Musa brochycarpa*). Yang termasuk golongan ini adalah pisang batu atau pisang klutuk (Sunarjono, 1986).

Hampir semua bagian tanaman pisang mempunyai nilai guna dalam kehidupan manusia sehari-hari. Bagian utama dari tanaman pisang yang mempunyai nilai ekonomi dan sosial cukup tinggi adalah buahnya. Buah pisang yang sudah matang (masak), selain enak dan lezat rasanya, mengandung gizi yang cukup tinggi dan lengkap serta berkhasiat obat. Kandungan gizi buah pisang dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Kandungan Gizi Buah Pisang setiap 100 gram Bahan Segar

Kandungan Gizi	Jenis Pisang					
	Ambon	Raja	Susu	Uli	Mas	Lampung
Kalori (kal)	99,0	12,00	118,00	146,00	127,00	99,00
Protein (g)	1,20	1,20	1,20	1,20	1,40	1,30
Lemak (g)	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Karbohidrat (g)	25,80	31,80	31,10	38,20	33,60	25,60
Kalsium (mg)	8,00	10,00	7,00	10,00	7,00	10,00
Fosfor (mg)	28,00	22,00	29,00	28,00	25,00	19,00
Zat besi (mg)	0,50	0,80	0,30	0,90	0,80	0,90
Vitamin A (S.I)	146,00	950,00	112,00	75,00	79,00	618,00
Vitamin B1 (mg)	0,08	0,06	0,00	0,05	0,09	0,00
Vitamin C (mg)	3,00	10,00	4,00	3,00	2,00	4,00
Air (g)	72,00	65,80	67,00	59,10	64,20	72,10

Sumber: Direktorat Gizi Depkes RI, 1981.

2.2 Sale Pisang

Buah pisang banyak manfaatnya, selain untuk buah meja, buah pisang yang belum matang dapat dibuat keripik. Sedangkan buah yang telah matang dapat dibuat sale dan pisang goreng. Sale pisang adalah makanan yang terbuat dari buah pisang masak yang dikeringkan. Menurut Departemen Pertanian yang diunggulkan sebagai sale pisang adalah dengan kriteria rasanya manis, aromanya harum, daging buahnya empuk untuk dimakan dan tidak mudah hancur, tekstur daging halus (hampir tanpa serat), mempunyai bentuk buah yang menarik.

Untuk memperoleh mutu sale yang baik, pisang yang dipergunakan harus memiliki beberapa kriteria seperti tingkat ketuaan buah, tingkat kematangan buah, aroma dan rasa. Buah pisang yang bisa dimanfaatkan untuk sale adalah pisang ambon, mas, raja, siem, raja bulu dan pisang susu (Munadjim, 1984).

Rasa manis sale pisang mungkin disebabkan oleh beberapa macam gula yang sampai sekarang belum dapat diidentifikasi dengan jelas. Besar kemungkinan zat pati atau zat tepung telah terhidrolisa menjadi gula sederhana oleh enzim pemecah pati atau mungkin juga disebabkan oleh hilangnya sebagian besar kandungan air pada waktu pengeringan, sehingga kadar gula di dalam pisang menjadi naik dan rasa manisnya bertambah (Muchtadi, dkk., 1977).

Menurut Zachrawan, dkk. (1973) untuk mendapatkan sale pisang yang baik digunakan buah pisang dengan tingkat kematangan yang ditandai oleh warna kulit luar buah, buah kuning kehijauan atau kuning, aroma buah mulai nyata, konsistensi sedang dan kulit mudah lepas. Pada tingkat kematangan ini terjadi kenaikan kadar gula reduksi, kadar gula non-reduksi dan kadar pektin serta penurunan kadar pati, protopektin dan tannin. Selain itu kadar asam mula-mula meningkat kemudian menurun. Sedangkan Rismunandar (1981), menandai tingkat kematangan buah pisang yang baik untuk pembuatan sale pisang adalah dari warna kuning pada seluruh buah atau dengan adanya bercak-bercak sawo matang pada kulitnya.

2.3 Pengeringan

Pengeringan merupakan salah satu cara pengawetan pangan yang paling tua. Cara ini merupakan suatu proses yang ditiru dari alam, dan manusia telah memperbaiki pelaksanaannya pada bagian-bagian tertentu. Pengeringan merupakan suatu metode pengawetan pangan yang paling luas digunakan (Desrosier, 1988).

Adapun tujuan proses pengeringan tersebut menurut Desrosier (1988) diantaranya adalah menekan biaya produksi; agar bahan menjadi lebih kompak dan volumenya diperkecil untuk memudahkan dalam penyimpanan dan pengangkutan; dan menekan biaya distribusi.

Berbagai mikroorganisme mempunyai Aw minimum agar dapat tumbuh dengan baik seperti yang terlihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Aw minimum Beberapa Mikroorganisme

Mikroorganisme	Aw minimum
Bakteri	0,90
Khamir	0,80 – 0,90
Kapang	0,60 – 0,70

Sumber: Winarno, 1984.

Untuk mencegah dan menghambat pertumbuhan mikroorganisme tersebut, bahan perlu dikeringkan sedemikian rupa sehingga mempunyai Aw akhir kurang dari 0,70 pada Tabel 2.2. Di bawah ini terlihat beberapa bahan yang dikeringkan untuk mencapai Aw 0,70 dengan kadar air yang berbeda-beda.

Tabel 2.3 Kadar Air Beberapa Bahan Hasil Pertanian yang telah dikeringkan hingga Aw 0,70

Bahan	Kadar air (%) Aw 0,70
Biji-bijian	15
Sayuran kering	14 – 20
Buah kering	18 – 25
Padi	18
Susu kering	8

Sumber: Winarno dan Laksmi, 1974.

Berdasarkan tabel tersebut diatas, maka kadar air sale pisang yang baik adalah 18 – 25%, jika kadar airnya lebih dari 30% maka sale pisang tersebut akan mudah rusak (Zachrawan, dkk., 1973).

Kadar air tersebut dicapai dengan suhu pengeringan 55 - 70°C selama 18 – 20 jam dengan alat pengering (Munadjim, 1984).

2.4 Laju Pengeringan

Laju pengeringan menggambarkan bagaimana cepatnya pengeringan berlangsung. Besarnya laju pengeringan diketahui dengan pengukuran banyaknya uap air yang diuapkan (Anonim, 1988).

Suatu bahan padat bila dikeringkan dengan menggunakan alat pengering akan diperoleh data mengenai hubungan antara kadar air dengan waktu. Berdasarkan hubungan antara kadar air terhadap waktu terdapat dua periode

utama pengeringan yaitu: (1) periode laju pengeringan tetap (konstan), dan (2) periode laju pengeringan menurun.

2.4.1 Periode Laju Pengeringan Konstan

Pada periode laju pengeringan konstan, bahan mengandung air cukup banyak, hal mana pada permukaan bahan berlangsung penguapan yang lajunya dapat disamakan dengan laju penguapan pada permukaan air bebas. Periode ini berakhir pada saat laju difusi air dari dalam bahan telah turun, sehingga lebih lambat daripada laju penguapan (Henderson dan Perry, 1955).

2.4.2 Periode Laju Pengeringan Menurun

Laju pengeringan menurun terjadi setelah bahan mencapai kadar air kritis (*Critical Moisture Content*). Sedangkan kadar air kritis terjadi setelah laju pengeringan konstan. Kadar air kritis adalah kadar air terendah saat laju air bebas dalam bahan ke permukaan sama dengan laju pengambilan uap air dari dalam bahan (Taib, dkk., 1988).

Pada periode laju pengeringan menurun terdapat dua tahap lagi yaitu tahap kecepatan menurun pertama dan tahap kecepatan menurun kedua. Tahap kecepatan menurun pertama berhubungan dengan permukaan bahan yang tidak seluruhnya basah. Tahap ini berakhir apabila seluruh permukaan bahan telah kering. Tahap kecepatan menurun kedua mulai berlangsung bila permukaan bahan seluruhnya telah menjadi kering. Penguapan air terjadi dari bagian dalam bahan. Panas yang diperlukan untuk penguapan ditransfer dari udara ke permukaan bahan yang kering dan selanjutnya masuk ke dalam bahan sampai terjadi penguapan.

Tahap kecepatan menurun kedua biasanya lebih dominan dalam menentukan waktu total pengeringan untuk tahap kecepatan menurun sampai mencapai kadar air yang lebih rendah (Tyoso, 1987).

2.5 Kadar Air Bahan

Ada tiga kemungkinan keadaan daripada air yaitu padat, cair dan gas (uap). Perubahan keadaan dari padat menjadi cair, dari cair menjadi uap dan atau

sebaliknya, dipengaruhi oleh temperatur dan tekanan yang diberlakukan terhadapnya (Suharto, 1991).

Kadar air suatu bahan dapat dinyatakan dalam 2 cara yaitu berdasarkan berat basah (*wet basis=wb*) dan berat kering (*dry basis=db*). Kadar air basis basah adalah perbandingan antara berat air yang terkandung dalam bahan tersebut dengan berat bahan mentah (awal).

$$Ka_{wb} = \frac{W_m}{W_m + W_d} \times 100\% \dots\dots\dots (2.1)$$

Kadar air basis kering adalah perbandingan antara berat air yang terkandung dalam bahan tersebut dengan bahan kering atau bahan tanpa air (mutlak). Berat bahan kering adalah berat bahan awal setelah dikurangi dengan berat airnya.

$$Ka_{db} = W_m / W_d \times 100\% \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana: W_m = berat air dalam bahan (gr, kg)

W_d = berat kering bahan (kering mutlak tanpa air dalam gr, kg)

(Winarno, dkk., 1988).

2.6 Grafik Psychometric

a. Kelembaban Relatif (RH)

Kelembaban relatif adalah perbandingan fraksi mol (tekanan uap) uap air dalam udara dengan fraksi mol (tekanan uap) uap air dalam udara jenuh pada suhu yang sama pada tekanan atmosfer. Kelembaban relatif ditunjukkan dalam desimal atau bila dikalikan seratus dalam persen. Kelembaban relatif ini dapat dihitung dengan persamaan:

$$RH = \frac{P_v}{P_{sat}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.3)$$

dimana: RH = kelembaban relatif udara (%)

P_v = tekanan uap pada suhu udara (N/m^2)

P_{sat} = tekanan uap jenuh pada suhu yang sama (N/m^2)

(Sherwin, 1996).

b. Kelembaban mutlak (H)

Kelembaban absolut adalah banyaknya massa uap air yang dikandung per satuan volume udara. Kelembaban mutlak dapat dihitung dengan persamaan:

$$H = 0,622 \times \frac{P_v}{P_a} \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana: H = kelembaban absolut (kg/kg)

P_a = tekanan atmosfer (N/m²)

P_v = tekanan uap pada suhu udara (N/m²)

c. Panas Laten Penguapan (Δh_v)

Energi yang digunakan untuk menguapkan air tergantung pada setiap kenaikan suhu. jumlah energi yang dibutuhkan oleh satu pound air disebut panas laten penguapan apabila berasal dari suatu bahan cair. Data KAS dapat digunakan didalam penentuan panas laten penguapan. Besarnya panas laten penguapan air (h_{fg}) menurut Hall (1957), dapat dituliskan sebagai berikut.

$$h_{fg} = 2502 - 2,3775T \dots\dots\dots (2.5)$$

Selanjutnya hubungan panas laten penguapan bahan terhadap KAS dinyatakan dalam persamaan Hall (1957).

$$\frac{\Delta h_v}{h_{fg}} = 1 + ae^{bMe} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dengan menggunakan regresi eksponensial, panas laten penguapan bahan dinyatakan sebagai berikut.

$$\frac{\Delta h_v}{h_{fg}} = 1 + 1,0991e^{-0,0697Me} \dots\dots\dots (2.7)$$

Berdasarkan persamaan (2.7), persamaan tersebut menjadi.

$$\Delta h_v = (2502 - 2,3775T)(1 + 1,0991e^{-0,0697Me}) \dots\dots\dots (2.8)$$

(Purnamasari, 2001).

c. Entalpi (h)

Entalpi uap air dapat diasumsikan seimbang dengan entalpi uap jenuh pada suhu yang sama (T). Entalpi uap air pada 0°C adalah sekitar 2501 KJ/kg dengan nilai Cp sebesar 1,82 KJ/kg°K.

2.7 Pengeringan dengan Tray Dryer

Alat pengering *tray dryer* adalah alat pengering yang memiliki tumpukan rak-rak dan pemanas yang digunakan berbahan bakar minyak dengan penukar panas tidak bercampur, yaitu gas hasil pembakaran bahan bakar tidak bercampur dengan udara pengering. Penukar panas menggunakan plat tembaga dan penyekat panas dinding samping menggunakan asbes. Dinding luar menggunakan kayu lapis sedangkan penghembus udara masuk menggunakan kipas aksial besi yang berfungsi untuk sirkulasi udara dan menghembuskan udara secara paksa serta untuk mencegah terjadinya pengembunan di dalam ruang pengering (Rahmanto, 2001).

2.8 Pengeringan Menggunakan Permukaan Dipanasi

Pada pengeringan menggunakan permukaan dipanasi, panas terkonduksi dari permukaan yang dipanasi ke permukaan bahan pangan. Kandungan air dalam bahan pangan tersebut akan teruapkan dari permukaan terluarnya. Hambatan utama dalam perpindahan panas adalah konduktivitas termal bahan. Pengetahuan mengenai karakteristik termal bahan diperlukan untuk menentukan ketebalan bahan dan cara penanganan yang seharusnya dilakukan untuk pengeringan pada permukaan yang dipanasi. Bila bagian bahan yang dekat dengan permukaan panas telah kering hambatan perpindahan panas akan meningkat. Koefisien total pindah panas dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$U = 48,63 G^{0,6906} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana: U = koefisien total pindah panas ($\text{KJ}/\text{m}^2\text{C}$)

G = aliran udara ($\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$)

(Gigler, 2000).

2.9 Sifat Fisik dan Termal Bahan Pangan

a. Sifat Fisik Bahan Pangan

Kerapatan bahan (ρ) merupakan salah satu sifat fisik bahan pangan. Kerapatan bahan dirumuskan sebagai perbandingan antara berat bahan dan volume bahan, yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\rho = \frac{m}{v} \dots\dots\dots (2.10)$$

b. Sifat Termal Bahan Pangan

Panas Spesifik (C_p) adalah sifat termal bahan pangan. Beberapa rumus telah diusulkan untuk memperkirakan panas spesifik bahan pangan yang didasarkan atas komponen-komponen bahan yang bersangkutan.

Land (1975) dalam Siswijanto (1998) merumuskan hubungan panas spesifik dengan panas sensibel adalah sebagai berikut:

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T \dots\dots\dots (2.11)$$

Rumus dari Dickerson (1969) untuk bahan dengan kadar air tinggi adalah sebagai berikut:

$$C_p = 1,675 + 0,025 (\text{Kadar air, \%}) \dots\dots\dots (2.12)$$

Menurut Harrington dan Crystal, panas spesifik dirumuskan :

$$C_p = 1,651 + 0,04116 M_w \dots\dots\dots (2.13)$$

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Nopember 2002 di Laboratorium Alat dan Mesin Pertanian, Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember.

3.2 Bahan dan Alat

3.2.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah buah pisang Ambon (*Musa sapientum* L.) dan minyak tanah.

3.2.2 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Unit Pengering Tipe Rak
- b. Timbangan analitis
- c. Termokopel
- d. Termometer bola basah dan bola kering
- e. Higrometer
- f. Eksikator
- g. Oven
- h. Termos
- i. Stop Watch



3.3 Pendekatan Teori

Adapun asumsi-asumsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Bahan berbentuk pipih (slab)
- b. Debit aliran udara di titik pengukuran dianggap sama dengan ditempat yang lain pada pengering
- c. Pengeringan buah pisang terjadi pada periode kecepatan menurun

- d. Tidak ada kebocoran selama proses pengeringan
- e. Proses penguapan air terjadi merata di seluruh permukaan bahan
- f. Bahan dianggap satu dimensi
- g. Suhu bahan dianggap sama atau mendekati suhu udara yang keluar pengering

Penelitian ini didasarkan pada hukum keseimbangan panas untuk bahan yang berlapis tipis (thin layer) yang dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$\rho_b(C_b + C_w M) \frac{\partial T_b}{\partial t} = \rho_b \Delta h_v \frac{\partial M}{\partial t} + U(T_a - T_b) \dots \dots \dots (3.1)$$

Selanjutnya persamaan ini dapat menjadi:

$$\frac{\partial T_b}{\partial t} = \frac{\rho_b \Delta h_v \frac{\partial M}{\partial t} + U(T_a - T_b)}{\rho_b(C_b + C_w M)} \dots \dots \dots (3.2)$$

- dimana: ρ_b = kerapatan bahan (kg/m^3)
- C_b = panas spesifik bahan ($\text{KJ/kg}^\circ\text{C}$)
- C_w = panas spesifik air ($\text{KJ/kg}^\circ\text{C}$)
- M = kadar air bahan awal ($\text{kg H}_2\text{O/ kg bahan kering}$)
- T_b = suhu bahan ($^\circ\text{C}$)
- t = waktu (jam)
- Δh_v = panas laten penguapan air (KJ/kg)
- U = koefisien total pindah panas ($\text{KJ/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$)
- T_a = suhu udara ($^\circ\text{C}$)

(Sharp, 1982).

$\frac{\partial T_b}{\partial t}$ merupakan perubahan suhu dari bahan, dihitung dengan

menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{\partial T_b}{\partial t} = \frac{T_b^{i+1} - T_b^i}{\Delta t} \dots \dots \dots (3.3)$$

Kondisi awal dan kondisi batas bahan selama pengeringan

$T = T_b^o$ pada $t = 0$

$T = T_b^i$ pada $t = \sim$

dimana: Δt = selang waktu (jam)

i = pengamatan ke - 1, 2, 3, ..., n

Persamaan (3.3) dimasukkan pada persamaan (3.2) menjadi:

$$\frac{T_b^{i+1} - T_b^i}{\Delta t} = \frac{\rho_b \Delta h_v \frac{\partial M}{\partial t} + U(T_a^i - T_b^i)}{\rho_b(C_b + C_w M)} \dots\dots\dots (3.4)$$

Sehingga menjadi:

$$T_b^{i+1} = T_b^i + \left[\frac{\rho_b \Delta h_v \frac{\partial M}{\partial t} + U(T_a^i - T_b^i)}{\rho_b(C_b + C_w M)} \right] \Delta t \dots\dots\dots (3.5)$$

Untuk menentukan besarnya laju penurunan kadar air bahan (dM/dt) pada persamaan (3.5) digunakan persamaan pendinginan Newton

$$\frac{\partial M}{\partial t} = -k(Mt - Me) \dots\dots\dots (3.6)$$

Apabila persamaan (3.6) diintegalkan, maka akan didapat persamaan:

$$\frac{Mt - Me}{Mo - Me} = \exp(-kt^N) \dots\dots\dots (3.7)$$

Dengan kondisi awal dan kondisi batas sebagai berikut:

Untuk $t = 0$ maka $M = Mo$

$t = \infty$ maka $M = Me$

Nilai $\frac{Mt - Me}{Mo - Me}$ disebut sebagai Moisture Ratio (MR), sehingga persamaan

(3.7) menjadi:

$$MR = \exp(-kt^N) \dots\dots\dots (3.8)$$

Nilai Me (KAS) buah pisang dicari dengan persamaan Henderson berikut:

$$\left(1 - \frac{RH}{100}\right) = \exp(-C(Me)^N) \dots\dots\dots (3.9)$$

dimana: RH = kelembaban relatif

$$C = -2.45E-07 + 1.01E-08T$$

$$N = 11.349 - 0.1646T$$

Me = kadar air keseimbangan

(Darmawan, 1999).

Apabila persamaan (3.8) diliniierkan akan didapat persamaan sebagai berikut:

$$\ln(-\ln MR) = \ln K + N \ln t \dots\dots\dots (3.10)$$

Plotting antara $\ln(-\ln MR)$ dengan $\ln t$ akan didapat nilai konstanta K dan N. Konstanta K dan N pada berbagai perlakuan suhu dan variasi tinggi tiap rak dapat dianalisis dengan regresi linear sederhana sehingga didapat persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} K &= K(T) \\ N &= N(T) \\ K &= K(H) \\ N &= N(H) \dots\dots\dots (3.11) \end{aligned}$$

Penentuan nilai M_t (kadar air sesaat) prediksi dapat dituliskan sebagai berikut:

$$M_t = (\exp(-k(T)t^{N(T)}))(M_o - M_e) + M_e \dots\dots\dots (3.12)$$

3.4 Tahapan Penelitian

Tahapan-tahapan dalam penelitian ini meliputi konstruksi alat, parameter yang diukur, cara pengambilan data, dan beberapa perlakuan.

3.4.1 Kontruksi Alat

Alat pengering yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat pengering tipe rak dengan pemanas minyak tipe tidak bercampur. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Lampiran 1.

3.4.2 Parameter Yang Diukur

Dalam penelitian ini data yang akan diambil adalah sebagai berikut:

- Suhu udara lingkungan, pengering, cerobong dan suhu bahan
- Waktu pengeringan
- Berat bahan selama setiap 2 jam sekali
- Kadar air bahan

- e. Kelembaban udara pengering, kelembaban udara keluar dan kelembaban udara sekeliling
- f. Laju aliran udara
- g. Konsumsi bahan bakar

3.4.3 Cara Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Kerapatan bahan diukur dengan cara memotong buah pisang kecil-kecil dengan berat tertentu kemudian dimasukkan ke dalam gelas ukur untuk menentukan volume bahan, kemudian dihitung dengan menggunakan persamaan (2.10)
2. Panas laten penguapan bahan dengan menggunakan persamaan (2.8)
3. Koefisien total pindah panas dihitung dengan persamaan (2.9)
4. Panas spesifik air = $4187 \text{ KJ/kg}^\circ\text{C}$
5. Panas spesifik bahan dihitung dengan menggunakan persamaan (2.13)
6. Suhu bahan diukur dengan memasukkan bahan ke dalam termos yang diberi sensor suhu selama ± 5 menit

3.4.4 Perlakuan

Adapun perlakuan yang dilakukan untuk mendapatkan data-data diatas adalah sebagai berikut:

- a. Menyiapkan buah pisang Ambon yang matang dengan kadar air $\pm 70\%$ dari berat bahan
- b. Mengupas kulit pisang dan mengerok sedikit permukaan daging buahnya lalu membelahnya menjadi 2 bagian, kemudian membelahnya lagi menjadi berbentuk slab
- c. Menyiapkan alat pengering yang akan digunakan dengan mengkondisikan pada suhu udara dan kelembaban yang konstan
- d. Menimbang dan mencatat berat bahan sebelum dikeringkan
- e. Meletakkan bahan yang akan dikeringkan dalam alat pengering dengan 3 level suhu yaitu 50°C , 60°C dan 70°C , kemudian melakukan pengukuran terhadap

berat bahan selama beberapa jam sampai mendekati kadar air yang diinginkan (20 – 25%)

- f. Mencatat lama pengeringan dan menimbang berat bahan setiap 2 jam sekali
- g. Menentukan kadar air bahan dengan menggunakan kadar air basis basah (persamaan 2.1)

3.5 Metode Analisis

Pengujian hasil percobaan dan hasil perhitungan dengan menggunakan analisis grafis dan analisis statistik.

3.5.1 Analisis Grafis

Analisis grafis digunakan untuk menampilkan sebaran data observasi dan data prediksi bahan pada berbagai variasi suhu pengeringan. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan Scatter plot ($y = x$).

3.5.2 Analisis Statistik

Analisis statistik bertujuan untuk menguji kesahihan persamaan yang digunakan dan untuk membandingkan antara data observasi dan data prediksi. Analisis yang digunakan adalah analisis modulus deviasi yaitu dengan menghitung besarnya nilai modulus deviasi (P) dan standar deviasi (S). Ketentuan pengambilan keputusan adalah sebagai berikut:

1. Jika $P \pm S < 10$ maka model valid
2. Jika $P \pm S > 10$ maka model tidak valid

$$P = \left[\frac{(Mt_{obs} - Mt_{pred})}{Mt_{obs}} \right] \times 100\%$$

Untuk mengetahui beda antara sebaran galat digunakan standart deviasi :

$$S = \frac{\sqrt{(P_i - P)^2}}{n - 1}$$

dimana: P_i = modulus deviasi ke-i

P = modulus deviasi rata-rata

n = banyaknya data

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan diatas, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Suhu pengeringan mempunyai peranan yang sangat penting terhadap penurunan kadar air bahan; dimana semakin tinggi suhu pengering maka penurunan kadar air akan semakin besar; yaitu untuk mencapai kadar air 20% dibutuhkan waktu 10 jam pada suhu 70°C.
2. Tinggi rendahnya letak rak dari pemanas (kompur) sangat berpengaruh terhadap penurunan kadar air, dimana semakin rendah (dekat) letak rak dari pemanas maka semakin cepat pula penurunan kadar air; yaitu pada ketinggian 30 cm diperlukan waktu 12 jam untuk mencapai kadar air 20%
3. Konstanta pengeringan sebagai fungsi suhu dan sebagai fungsi jarak adalah sebagai berikut:

$$K(T) = 0.0014T - 0.0028$$

$$N(T) = -0.0014T + 1.4803$$

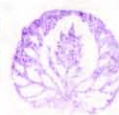
$$K(H) = -0.0006H + 0.0968$$

$$N(H) = -0.0067H + 1.5663$$

4. Model matematika persamaan Page dan keseimbangan panas pada lapisan tipis layak digunakan untuk menentukan kadar air bahan dan suhu bahan pada pengeringan buah pisang.
5. Suhu bahan hasil prediksi dan observasi mempunyai validitas yang cukup baik sesuai dengan analisis grafis scatter plot yang mempunyai koefisien korelasi (R^2) mendekati 1 yaitu antara 0.9378 sampai 0.9868; juga berdasarkan analisis modulus deviasi dimana nilai $P \pm S < 10$ yang menunjukkan bahwa model dapat menggambarkan keadaan yang sebenarnya dengan tepat

5.2 Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk proses pengeringan lapis tebal dengan bahan pangan atau bahan pertanian yang berbeda, serta penggunaan pemanas (kompur) yang lebih efisien.

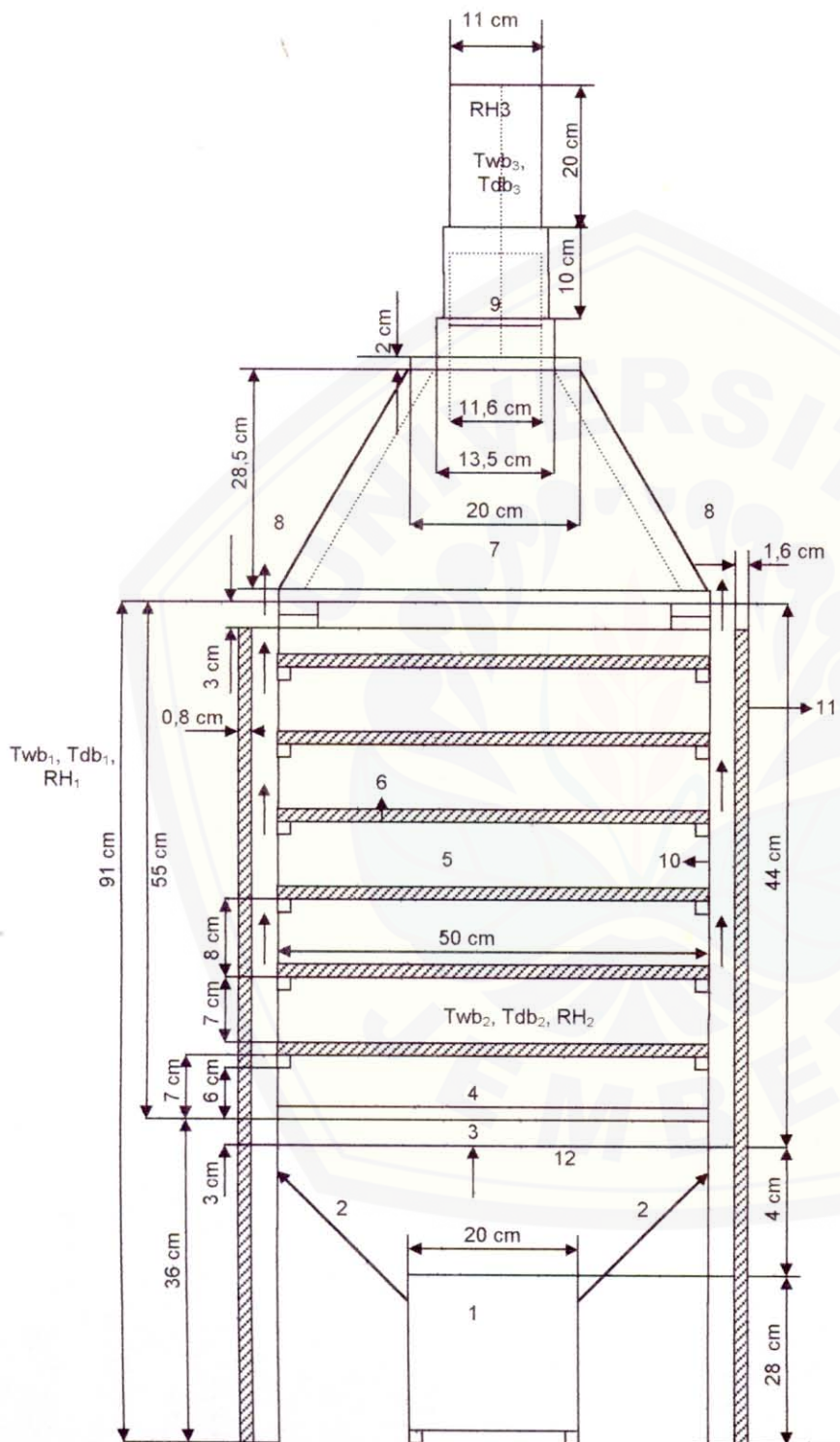


DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1983, **Pisang Sale Seri Teknologi Pangan II**, PusbangTepa-Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Anonim, 1988, **Pengeringan Bahan Pangan**, UGM-Press, Yogyakarta.
- Ashari, S., 1995, **Hortikultura Aspek Budidaya**, Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press), Jakarta.
- Desrosier, N.W., 1988, **Pengawetan Makanan**, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, Direktorat Pendidikan Tinggi, Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta.
- Darmawan, M.Y., 1999, **Penerapan Persamaan Henderson Tentang Hubungan Aktivitas Air dengan Kadar Air Setimbang pada Sale Pisang**, Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember, Jember.
- Gigler, J.K., et.al, 2000, **Drying Characteristics of Willow Chips and Stems**, Journal of Agricultural Engineering Research,30, 401-407.
- Henderson, S.M. dan R.L. Perry, 1955, **Deep Bed Drying Performance**, Journal Agricultural Engineering, Inc. West Post Connecycut, The AVI Publishing Company.
- Lakitan, B., 1994, **Dasar-dasar Klimatologi**, P.T Raja Grafindo Persada, Jakarta.
- Muchtadi, D., T.R. Muchtadi, S. Hardjo dan S. Sjafei, 1977, **Penuntun Praktikum Pengetahuan dan Pengolahan Bahan Pangan Nabati (Sayuran dan Buah-buahan)**, Departemen THP, FATEMETA-IPB, Bogor.
- Munadjim, 1984, **Teknologi Pengolahan Pisang**, P.T Gramedia, Jakarta.
- Rismunandar, 1981, **Bertanam Pisang**, C.V Sinar Baru, Bandung.
- Rukmana, H.R., 1999, **Usaha Tani Pisang**, Kanisius, Yogyakarta.
- Rahmanto, D.E., 2001, **Perancangan Alat Pengering Tipe Rak dengan Pemanas Berbahan Bakar Minyak Tipe Tidak Bercampur**, Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember, Jember.
- Sharp, J.R., 1982, **A Review of Low Temperature Drying Simulation Models**, Journal of Agricultural Engineering Research, 27, 169-190.

- Sunarjono, H., 1986, **Ilmu Produksi Tanaman Buah-buahan**, C.V Sinar Baru, Bandung.
- Suharto, 1991, **Teknologi Pengawetan Pangan**, Rineka Cipta, Jakarta.
- Satuhu, S. dan A. Supriyadi, 1992, **Pisang Budidaya Pengolahan dan Prospek Pasar**, Penebar Swadaya, Jakarta.
- Sembiring, R.K., 1995, **Analisis Regresi**, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Sherwin, K., 1996, **Introduction to Thermodynamics**, Chapman dan Hall, London.
- Siswijanto, 1998, **Perpindahan Panas Konveksi Alami pada Cairan Non Newtonian di dalam Silinder Tegak Tertutup**, Program Pasca Sarjana UGM, Yogyakarta.
- Taib, G., G. Said, dan S. Wiraatmadja, 1988, **Operasi Pengeringan pada Pengolahan Hasil Pertanian**, P.T Mediyatama Sarana Perkasa, Jakarta.
- Trubus, 1992, **Edisi Februari 1992 No. 267 Tahun XXIII**, Jakarta.
- Winarno, F.G dan B.S Laksmi, 1974, **Dasar Pengawetan Sanitasi dan Keracunan**, Departemen THP FATEMETA-IPB, Bogor.
- Winarno, F.G., 1984, **Kimia Pangan dan Gizi**, P.T Gramedia, Jakarta.
- Zachrawan, J.G dan Sumarto, 1973, **Percobaan Pengeringan Buah Pisang dalam Bentuk Sale**, Buletin Penelitian Hortikultura.

Lampiran 1. Konstruksi alat Pengering Tipe Rak (Tray Dryer)



Keterangan:

1. Pemanas (kompos)
 2. Gas hasil pembakaran
 3. Saluran udara masuk
 4. Udara sebelum masuk rak pengering
 5. Rak pengering
 6. Bahan yang dikeringkan
 7. Udara pengering setelah melewati bahan
 8. Gas keluar dari celah penukar panas
 9. Kipas aksial
 10. Dinding bagian luar sebagai penyekat panas
 11. Dinding samping bagian luar sebagai penyekat panas
 12. Dinding bagian bawah
- Twb_1, Tdb_1, RH_1 : Sensor bola basah dan bola kering lingkungan
 Twb_2, Tdb_2 : Sensor bola basah dan bola kering ruang pengering
 Twb_3, Tdb_3 : Sensor suhu bola basah dan bola kering cerobong (output)
 RH_1 : Kelembapan relatif lingkungan
 RH_2 : kelembapan relatif ruang pengering
 RH_3 : kelembapan relatif cerobong (output)

Lampiran 2. Penurunan Berat Bahan dengan Variasi Suhu 50°C, 60°C dan 70°C

Waktu (jam)	Rak 1			Rak 2			Rak 3			Rak 4		
	50°C	60°C	70°C	50°C	60°C	70°C	50°C	60°C	70°C	50°C	60°C	70°C
0	32,1280	30,0541	29,0774	33,8440	31,5757	30,6231	31,8073	30,8124	30,3063	30,4977	29,9060	28,8193
2	24,6783	22,4136	20,8358	27,0767	24,0302	22,4686	25,9108	23,8618	22,7387	25,5113	23,8583	21,9641
4	19,7507	17,3333	15,4650	21,8967	19,6662	18,6592	21,2503	19,5688	18,8503	22,2097	19,2674	18,0832
6	16,5967	14,8135	13,2854	18,7193	16,1907	15,5275	19,4211	16,3335	15,5417	19,8120	17,3700	15,7982
8	14,4178	12,8468	12,6317	16,4670	14,8830	13,6065	17,0140	15,2704	14,4090	17,7050	15,0087	13,9275
10	13,1457	11,9500	11,0265	14,7307	13,5298	12,3554	15,6897	14,0325	13,3143	16,0140	14,1212	13,0520
12	12,5780	11,3485		14,0600	12,7190	11,5577	13,8123	13,0431	12,1143	14,9940	13,3455	12,4540
14	12,1300			13,3340	11,9725		12,9020	12,1593	11,4552	14,2120	12,6142	11,4778
16				12,7280			12,6400	11,6590		12,5550	11,7512	10,8547
18							12,0530			11,8250	11,3212	
20										11,5260		

Keterangan:

Berat Bahan Kering Mutlak

◆ Suhu 50°C

Rak 1 : 9.6328 gram

Rak 2 : 10.1473 gram

Rak 3 : 9.5367 gram

Rak 4 : 9.1440 gram

◆ Suhu 70°C

Rak 1 : 8.7182 gram

Rak 2 : 9.1816 gram

Rak 3 : 9.0866 gram

Rak 4 : 8.6408 gram

Suhu 60°C

Rak 1 : 9.0110 gram

Rak 2 : 9.4672 gram

Rak 3 : 9.2384 gram

Rak 4 : 8.9666 gram

Lampiran 3. Kadar Air Bahan dengan Variasi Suhu 50°C, 60°C dan 70°C

Waktu (jam)	Rak 1			Rak 2			Rak 3			Rak 4		
	50°C	60°C	70°C	50°C	60°C	70°C	50°C	60°C	70°C	50°C	60°C	70°C
0	70,0174	70,0174	70,0173	70,0174	70,0175	70,0174	70,0173	70,0173	70,0175	70,0174	70,0174	70,0173
2	60,9665	59,7967	58,1576	62,5239	60,6029	59,1359	61,2837	61,2837	60,0391	64,1571	62,4173	60,6594
4	51,2281	48,0134	43,6263	53,6583	51,8606	50,7912	52,7902	52,7902	51,7960	58,8288	53,4623	52,2164
6	41,9595	39,1704	34,3776	45,7923	41,5269	40,8688	43,4389	43,4389	41,5341	53,8462	48,3788	45,3052
8	33,1881	29,8580	25,0479	38,3780	36,3892	32,5205	39,5013	39,5013	36,9380	48,3536	40,2573	37,9587
10	26,7228	24,5941	20,9341	31,1146	30,0271	25,6876	34,1643	34,1643	31,7531	42,8999	36,5026	33,7971
12	23,4155	20,5974		27,8286	25,5665	20,5586	29,1702	29,1702	24,9928	39,0156	32,8118	30,6183
14	20,5870			23,8991	20,9255		26,0836	24,0219	20,6771	35,6600	28,9166	24,7173
16				20,2758			24,5514	20,7616		27,1685	23,6963	20,3958
18							20,8770			22,6723	20,7981	
20										20,6663		

Lampiran 4. Penurunan Berat Bahan dengan Variasi Tinggi Tiap Rak pada Suhu 60°C

Waktu (jam)	Berat Bahan (gram)				Kadar Air Bahan (%)			
	Rak 1	Rak 2	Rak 3	Rak 4	Rak 1	Rak 2	Rak 3	Rak 4
0	30,0541	31,5757	30,8124	29,9060	70,0174	70,0175	70,0173	70,0174
2	22,4136	24,9302	23,8618	23,8583	59,7967	60,6029	61,2837	62,4173
4	17,3333	19,6662	19,5688	19,2674	48,0134	51,8606	52,7902	53,4623
6	14,8135	16,1907	16,3335	17,3700	39,1704	41,5269	43,4389	48,3788
8	12,8468	14,8830	15,2704	15,0087	29,8580	36,3892	39,5013	40,2573
10	11,9500	13,5298	14,0325	14,1212	24,5941	30,0271	34,1643	36,5026
12	11,3485	12,7190	13,0431	13,3455	20,5974	25,5665	29,1702	32,8118
14		11,9725	12,1593	12,6142		20,9255	24,0219	28,9166
16			11,6590	11,7512			20,7616	23,6963
18				11,3212				20,7981

Keterangan:

Berat Bahan Kering Mutlak

- Suhu 60°C
- Rak 1: 9.0110 gram
- Rak 2: 9.4672 gram
- Rak 3: 9.2384 gram
- Rak 4: 8.9666 gram

Lampiran 5. Data Suhu dan Kelembaban Relatif pada Lingkungan, Ruang Pengering dan Cerobong dengan Variasi Suhu

Waktu (jam)	50°C						60°C											
	lingk.		peng.		out		lingk.		peng.		out							
	Tdb	Twb	RH	Tdb	Twb	RH	Tdb	Twb	RH	Tdb	Twb	RH						
0	29.1	27.5	90	49.9	37.3	49	36.6	31.1	69	30.0	27.9	87	57.6	37.6	29	38.8	31.5	65
2	30.1	28.0	87	53.2	37.9	43	44.9	34.5	54	31.2	28.3	75	62.4	40.3	31	47.0	35.9	62
4	31.3	28.6	84	54.3	38.5	42	48.1	35.1	47	30.6	27.7	83	61.1	37.9	32	49.0	35.8	46
6	31.9	29.0	84	51.4	38.1	43	47.1	35.1	50	29.7	27.4	86	57.1	38.3	37	47.9	35.2	48
8	30.8	28.2	89	51.7	36.4	46	45.0	34.0	52	29.7	27.3	85	58.5	39.1	34	45.9	34.9	53
10	30.5	28.2	86	52.1	36.6	42	45.9	34.4	51	29.2	27.3	88	60.0	40.5	34	50.2	35.5	42
12	30.1	28.4	90	52.9	37.0	41	46.5	34.9	51	30.0	27.7	86	60.0	40.5	34	50.2	35.5	42
14	31.0	28.8	87	50.2	36.3	45	44.2	34.3	56	30.4	28.5	88	60.0	41.2	36	49.8	35.9	44
16	32.7	29.1	79	51.1	36.3	42	46.2	34.7	50	31.3	28.9	86	58.4	36.2	28	39.0	34.7	77
18	33.0	29.3	81	45.7	36.6	45	41.4	34.7	57	32.1	28.9	79	65.3	39.7	26	41.8	37.6	57

Waktu (jam)	70°C								
	lingk.		pengering		out				
	Tdb	Twb	RH	Tdb	Twb	RH			
0	31.7	28.3	79	68.0	37.9	29	44.5	35.8	55
2	22.9	29.1	79	68.2	40.8	25	51.4	38.3	47
4	32.9	28.9	78	68.0	41.2	25	52.2	39.0	48
6	32.7	28.8	79	67.2	40.3	26	51.4	38.4	49
8	32.8	29.1	79	70.0	40.4	27	51.9	38.7	51
10	33.5	29.3	76	71.0	42.2	26	54.7	39.8	50
12	33.8	28.5	71	67.8	40.8	24	53.1	40.0	48
14	34.2	29.7	71	71.9	41.2	20	54.3	40.0	45
16	35.1	29.7	71	73.5	42.0	19	55.5	40.4	44
18	35.5	30.1	71	72.3	42.0	20	54.3	39.6	44

Lampiran 6. Program Kadar Air Bahan Prediksi pada Berbagai Perlakuan

- Program Kadar Air Bahan Prediksi dengan Variasi Suhu

```

REM *Kadar Air Bahan Prediksi dengan Variasi Suhu*
REM * *****
INPUT "Tulis Kadar Air Awal      (%)      "; Mo
INPUT "Tulis Konstanta a         (1/jam) "; ka
INPUT "Tulis Konstanta b         (1/jam) "; kb
INPUT "Tulis Konstanta c         (1/jam) "; kc
INPUT "Tulis Konstanta d         "; nd
INPUT "Tulis Konstanta e         "; ne
INPUT "Tulis Konstanta f         "; nf
INPUT "Tulis Kadar Air Seimbang (1) (%) "; Me(1)
INPUT "Tulis Kadar Air Seimbang (2) (%) "; Me(2)
INPUT "Tulis Kadar Air Seimbang (3) (%) "; Me(3)
PRINT CHR$(14); "      Konstanta Pengeringan      "
PRINT CHR$(14); "*****"
PRINT
PRINT USING "Kadar Air Awal      :##.##### (%) "; Mo
PRINT USING "Konstanta a         :##.##### (1/jam)"; ka
PRINT USING "Konstanta b         :##.##### (1/jam)"; kb
PRINT USING "Konstanta c         :##.##### (1/jam)"; kc
PRINT USING "Konstanta d         :##.##### "; nd
PRINT USING "Konstanta e         :##.##### "; ne
PRINT USING "Konstanta f         :##.##### "; nf
PRINT USING "Kadar Air Seimbang(1):##.##### (%) "; Me(1)
PRINT USING "Kadar Air Seimbang(2):##.##### (%) "; Me(2)
PRINT USING "Kadar Air Seimbang(3):##.##### (%) "; Me(3)
PRINT
PRINT
PRINT CHR$(14); "      Tabel Hasil      "
PRINT CHR$(14); "===== "
PRINT
PRINT "Waktu      Kadar air prediksi (%)      "
PRINT "(jam)      l      i      a      "
PRINT "-----"
FOR t = 0 TO 14 STEP 2
  l = EXP((-ka) * t ^ nd) * (Mo - Me(1)) + Me(1)
  i = EXP((-kb) * t ^ ne) * (Mo - Me(2)) + Me(2)
  a = EXP((-kc) * t ^ nf) * (Mo - Me(3)) + Me(3)
PRINT USING "## ##.##### ##.##### ##.#####"; t; l; i; a
NEXT t
END

```


- Program Kadar Air Bahan Prediksi dengan Variasi Tinggi Tiap Rak

```

REM *Kadar Air Bahan Prediksi dengan Variasi Tinggi Tiap Rak*
REM *****
INPUT "Tulis Kadar Air Awal (%) "; Mo
INPUT "Tulis Kadar Air Seimbang (%) "; Me
INPUT "Tulis Konstanta w (1/jam) "; kw
INPUT "Tulis Konstanta i (1/jam) "; ki
INPUT "Tulis Konstanta y (1/jam) "; ky
INPUT "Tulis Konstanta a (1/jam) "; ka
INPUT "Tulis Konstanta s "; ns
INPUT "Tulis Konstanta a "; na
INPUT "Tulis Konstanta r "; nr
INPUT "Tulis Konstanta i "; ni
PRINT STR$(14); "      Konstanta Pengeringan  "
PRINT STR$(14); "*****"
PRINT
PRINT USING " Kadar Air Awal :##.##### (%) "; Mo
PRINT USING " Kadar Air Seimbang :##.##### (%) "; Me
PRINT USING " Konstanta w :##.##### (1/jam) "; kw
PRINT USING " Konstanta i :##.##### (1/jam) "; ki
PRINT USING " Konstanta y :##.##### (1/jam) "; ky
PRINT USING " Konstanta a :##.##### (1/jam) "; ka
PRINT USING " Konstanta s :##.##### "; ns
PRINT USING " Konstanta a :##.##### "; na
PRINT USING " Konstanta r :##.##### "; nr
PRINT USING " Konstanta i :##.##### "; ni
PRINT STR$(14); "      Tabel Hasil  "
PRINT STR$(14); "===== "
PRINT
PRINT " Waktu      Kadar Air Bahan Prediksi (%)"
PRINT " (jam)      Ma      Mg      Mi      Mk"
PRINT "-----"
FOR t= 0 TO 18 STEP 2
  Ma = EXP((-kw) * t ^ ns) * (Mo - Me) + Me
  Mg = EXP((-ki) * t ^ na) * (Mo - Me) + Me
  Mi = EXP((-ky) * t ^ nr) * (Mo - Me) + Me
  Mk = EXP((-ka) * t ^ ni) * (Mo - Me) + Me
PRINT USING " ##      ##.#####      ##.#####      ##.#####      ##.#####"; t, Ma,
Mg, Mi, Mk
NEXT t
END

```

Lampiran 7. Program Suhu Bahan Prediksi dengan Variasi Suhu

```
REM * Program Suhu Bahan Prediksi dengan Variasi Suhu*
REM *****
CONST RHOb = 256.41
CONST deltax = 3132.07
CONST U = 172.72
CONST Cb = 1679.8
CONST Cw = 4187
CONST M = .700173
CONST deltat = 2
DIM Tbi(3)
DIM Tbii(3)
DIM atas(3)
DIM bawah(3)
DIM hasil(3)
DIM dmdt(3)
Tbii(1) = 29
Tbii(2) = 28.9
Tbii(3) = 29
Tba(1) = 50
Tba(2) = 60
Tba(3) = 70
DATA 0.00000, 0.00000, 0.00000
DATA 2.84902, 3.38219, 3.98973
DATA 2.20404, 2.45944, 2.62931
DATA 1.59018, 1.76695, 1.76345
DATA 1.00925, 1.03769, 0.89000
DATA 0.58106, 0.62548, 0.50486
DATA 0.36201, 0.31250, 0.00000
DATA 0.17468, 0.00000, 0.00000
CLS
PRINT "jam", 50, 60, 70
FOR a = 0 TO 14 STEP 2
  READ dmdt(1), dmdt(2), dmdt(3)
  PRINT a,
  FOR b = 1 TO 3
    Tbi(b) = Tbii(b)
    atas(b) = (RHOb * deltax * dmdt(b)) + (U * (Tba(b) - Tbi(b)))
    bawah(b) = (RHOb * (Cb + Cw * M))
    hasil(b) = atas(b) / bawah(b)
    Tbi(b) = Tbi(b) + (hasil(b) * deltat)
    PRINT Tbi(b),
  NEXT
  PRINT
NEXT
PRINT
END
```


Lampiran 8. Program Suhu Bahan Prediksi dengan Variasi Tinggi Tiap Rak

```

REM * Program Suhu Bahan Prediksi dengan Variasi Tinggi Tiap Rak*
REM *****
DATA 256.41,3132.07,172.72,1679.8,4187,0.700173,2.60
READ RHOb, deltahv, U, Cb, Cw, M, deltat, Ta
DIM Tbi(4)
DIM Tbii(4)
DIM a(4)
DIM g(4)
DIM i(4)
DIM dMdt(4)
Tbii(1) = 30.5
Tbii(2) = 30
Tbii(3) = 29.6
Tbii(4) = 28.8
DATA 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000
DATA 3.38219, 3.27506, 3.19663, 2.90942
DATA 2.45944, 2.62429, 2.58892, 2.34069
DATA 1.76695, 1.85504, 1.91983, 2.01783
DATA 1.03769, 1.47259, 1.63809, 1.50204
DATA 0.62548, 0.99900, 1.25623, 1.26358
DATA 0.31250, 0.66695, 0.89890, 1.02917
DATA 0.00000, 0.32148, 0.53054, 0.78179
DATA 0.00000, 0.00000, 0.29727, 0.45025
DATA 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.26618
CLS
PRINT "Waktu          Suhu Bahan Prediksi          "
PRINT "(jam)   Rak 1   Rak 2   Rak 3   Rak 4   "
PRINT "-----"
FOR i = 0 TO 18 STEP 2
  READ dMdt(1), dMdt(2), dMdt(3), dMdt(4)
  PRINT i,
  FOR J = 1 TO 4
    Tbi(J) = Tbii(J)
    a(J) = (RHOb * deltahv * dMdt(J)) + (U * (Ta - Tbi(J)))
    g(J) = (RHOb * (Cb + Cw * M))
    i(J) = a(J) / g(J)
    Tbii(J) = Tbi(J) + (i(J) * deltat)
    PRINT Tbii(J),
  NEXT
  PRINT
NEXT
PRINT
NEXT
END
    
```

Lampiran 9. Nilai Mt Prediksi pada Berbagai Perlakuan**Nilai Mt Prediksi dengan Variasi Suhu pada Rak 1**

Waktu (jam)	Mt Prediksi		
	50°C	60°C	70°C
0	70,0173	70,0173	70,0173
2	61,5698	60,1347	58,1559
4	50,3881	47,9005	44,1483
6	40,4038	37,5207	33,0996
8	32,6466	29,8201	25,5985
10	27,1262	24,5725	20,9787
12	23,4472	21,2170	
14	21,1230		

Nilai Mt Prediksi dengan Variasi Tinggi Tiap Rak pada Suhu 60°C

Waktu (jam)	Mt Prediksi			
	Rak 1	Rak 2	Rak 3	Rak 4
0	70,0173	70,0173	70,0173	70,0173
2	60,1347	61,1473	61,7247	62,6624
4	47,9005	50,9007	52,4852	54,4102
6	37,5207	41,9258	44,2905	46,8953
8	29,8201	34,7302	37,5079	40,4574
10	24,5725	29,2583	32,1154	35,1311
12	21,2170	25,2522	27,9473	30,8291
14		22,4051	24,7948	27,4175
16			22,4523	24,7517
18				22,6945

Lampiran 10. Suhu Observasi dan Prediksi Bahan pada Berbagai Perlakuan

♦ Suhu Observasi dan Prediksi dengan Variasi Suhu

Waktu (jam)	Observasi			Prediksi		
	50°C	60°C	70°C	50°C	60°C	70°C
0	29,0	28,9	29,0	29,0	28,9	29,0
2	32,1	34,6	35,5	32,9	33,5	34,4
4	34,4	35,6	37,7	35,9	36,9	38,0
6	36,3	37,4	40,0	38,0	39,3	40,4
8	38,6	39,6	40,6	39,4	40,7	41,6
10	39,0	40,8	41,6	40,2	41,5	42,3
12	39,8	41,3		40,7	42,0	
14	40,1			40,9		

♦ Suhu Observasi dan Prediksi dengan Variasi Tinggi Tiap Rak

Waktu (jam)	Observasi				Prediksi			
	Rak 1	Rak 2	Rak 3	Rak 4	Rak 1	Rak 2	Rak 3	Rak 4
0	30,5	30,0	29,6	28,8	30,5	30,0	29,6	28,8
2	35,6	35,0	34,3	33,5	35,1	34,5	34,0	32,8
4	39,6	36,8	36,1	35,8	38,5	38,0	37,5	36,0
6	40,6	40,4	38,7	36,4	40,9	40,6	40,1	38,7
8	42,2	41,0	40,5	39,6	42,3	42,6	42,3	40,8
10	42,8	41,8	41,1	40,7	43,1	43,9	44,0	42,5
12	43,3	42,9	42,5	41,0	43,6	44,8	45,3	43,9
14		43,1	43,6	41,8		45,3	46,0	44,9
16			44,0	42,6			46,4	45,6
18				43,5				45,9

Lampiran 11. Perhitungan Analisis Modulus Deviasi Kadar Air pada Berbagai Perlakuan

♦ Suhu 50°C

obs	pred	(obs-pred)/obs	Pi	(Pi-Prerata) ²	S	P + S	P - S	Keterangan
70,0174	70,0173	1,42822E-06	0,00014	2,33175	0,4628	1,98994	1,06435	sangat tepat
60,9665	61,5698	-0,009895598	0,98956	0,28900				
51,2281	50,3881	0,016397251	1,63973	0,01267				
41,9595	40,4038	0,037076228	3,70762	4,75447				
33,1881	32,6466	0,016316089	1,63161	0,01091				
26,7228	27,1262	-0,015095724	1,50957	0,00031				
23,4155	23,4472	-0,001353804	0,13538	1,93702				
20,5870	21,1230	-0,026035848	2,60358	1,15870				
			1,52715	10,49483				

♦ Suhu 60°C

obs	pred	(obs-pred)/obs	Pi	(Pi-Prerata) ²	S	P + S	P - S	Keterangan
70,0174	70,0173	1,42822E-06	0,00014	1,38366	0,69716	1,8736	0,47927	sangat tepat
59,7967	60,1347	-0,005652486	0,56525	0,37355				
48,0134	47,9005	0,002351427	0,23514	0,88603				
39,1704	37,5207	0,042115986	4,21160	9,21222				
29,8580	29,8201	0,001269342	0,12693	1,10145				
24,5941	24,5725	0,000878259	0,08783	1,18507				
20,5974	21,2170	-0,030081467	3,00815	3,35518				
			1,17643	17,49716				

♦ Suhu 70°C

obs	pred	(obs-pred)/obs	Pi	(Pi-Prerata) ²	S	P + S	P - S	Keterangan
70,0173	70,0173	0,000000000	0,00000	1,4917488	0,6686	1,89006	0,55268	sangat tepat
58,1576	58,1559	0,000029231	0,00292	1,484617				
43,6263	44,1483	-0,011965259	1,19653	0,0006171				
34,3776	33,0996	0,037175370	3,71754	6,2308413				
25,0479	25,5985	-0,021981883	2,19819	0,954174				
20,9341	20,9787	-0,002130495	0,21305	1,0167126				
			1,22137	11,178711				

Rak 1

obs	pred	(obs-pred)/obs	Pi	(Pi-Prerata) ²	S	P + S	P - S	Keterangan
70,0174	70,0173	1,42822E-06	0,00014	1,38366	0,69716	1,8736	0,47927	sangat tepat
59,7967	60,1347	-0,005652486	0,56525	0,37355				
48,0134	47,9005	0,002351427	0,23514	0,88603				
39,1704	37,5207	0,042115986	4,21160	9,21222				
29,8580	29,8201	0,001269342	0,12693	1,10145				
24,5941	24,5725	0,000878259	0,08783	1,18507				
20,5974	21,2170	-0,030081467	3,00815	3,35518				
			1,17643	17,49716				

 Rak 2

obs	pred	(obs-pred)/obs	Pi	(Pi-Prerata) ²	S	P + S	P - S	Keterangan
70,0175	70,0173	2,85643E-06	0,00029	5,71649	0,88364	3,27485	1,50756	sangat tepat
60,6029	61,1473	-0,008983068	0,89831	2,22874				
51,8606	50,9007	0,018509234	1,85092	0,29190				
41,5269	41,9258	-0,009605822	0,96058	2,04668				
36,3892	34,7302	0,045590450	4,55904	4,69953				
30,0271	29,2583	0,025603538	2,56035	0,02861				
25,5665	25,2522	0,012293431	1,22934	1,34992				
20,9255	22,4051	-0,070707988	7,07080	21,89860				
			2,39120	38,26049				

 Rak 3

obs	pred	(obs-pred)/obs	Pi	(Pi-Prerata) ²	S	P + S	P - S	Keterangan
70,0173	70,0173	0,00000	0,00000	11,00367	0,97898	4,29615	2,33820	sangat tepat
61,2837	61,7247	-0,00720	0,71960	6,74739				
52,7902	52,4852	0,00578	0,57776	7,50442				
43,4389	44,2905	-0,01960	1,96046	1,84070				
39,5013	37,5079	0,05046	5,04642	2,99026				
34,1643	32,1154	0,05997	5,99720	7,18250				
29,1702	27,9473	0,04192	4,19229	0,76582				
24,0219	24,7948	-0,03217	3,21748	0,00994				
20,7616	22,4523	-0,08143	8,14340	23,29241				
			3,31718	61,33711				

 Rak 4

obs	pred	(obs-pred)/obs	Pi	(Pi-Prerata) ²	S	P + S	P - S	Keterangan
70,0174	70,0173	1,42822E-06	0,00014	11,75395	0,9679	4,39644	2,46065	sangat tepat
62,4173	62,6624	-0,003926796	0,39268	9,21648				
53,4623	54,4102	-0,017730251	1,77303	2,74075				
48,3788	46,8953	0,030664258	3,06643	0,13113				
40,2573	40,4574	-0,004970527	0,49705	8,59365				
36,5026	35,1311	0,037572666	3,75727	0,10806				
32,8118	30,8291	0,060426432	6,04264	6,83351				
28,9166	27,4175	0,051842194	5,18422	3,08239				
23,6963	24,7517	-0,044538599	4,45386	1,05127				
20,7981	22,6945	-0,091181406	9,11814	32,37149				
			3,42855	75,88267				

Lampiran 12. Analisis Modulus Deviasi Suhu Bahan pada Berbagai Perlakuan

• Suhu 50°C

obs	pred	(obs-pred)/obs	Pi	(Pi-Prerata)^2	S	P + S	P - S	Keterangan
29,0	29,0	0,00000	0,00000	6,85239	0,55686	3,17457	2,06085	sangat tepat
32,1	32,9	-0,02492	2,49221	0,01575				
34,4	35,9	-0,04360	4,36047	3,03722				
36,3	38,0	-0,04683	4,68320	4,26626				
38,6	39,4	-0,02073	2,07254	0,29721				
39,0	40,2	-0,03077	3,07692	0,21088				
39,8	40,7	-0,02261	2,26131	0,12702				
40,1	40,9	-0,01995	1,99501	0,38775				
			2,61771	15,19448				

• Suhu 60°C

obs	pred	(obs-pred)/obs	Pi	(Pi-Prerata)^2	S	P + S	P - S	Keterangan
28,9	28,9	0,00000	0,00000	6,68553	0,66634	3,25198	1,91930	sangat tepat
34,6	33,5	0,03179	3,17919	0,35230				
35,6	36,9	-0,03652	3,65169	1,13646				
37,4	39,3	-0,05080	5,08021	6,22288				
39,6	40,7	-0,02778	2,77778	0,03692				
40,8	41,5	-0,01716	1,71569	0,75681				
41,3	42,0	-0,01695	1,69492	0,79338				
			2,58564	15,98429				

• Suhu 70°C

obs	pred	(obs-pred)/obs	Pi	(Pi-Prerata)^2	S	P + S	P - S	Keterangan
29,0	29,0	0,00000	0,00000	2,27009	0,51037	2,01706	0,99631	sangat tepat
35,5	34,4	0,03099	3,09859	2,53418				
37,7	38,0	-0,00796	0,79576	0,50541				
40,0	40,4	-0,01000	1,00000	0,25673				
40,6	41,6	-0,02463	2,46305	0,91464				
41,6	42,3	-0,01683	1,68269	0,03098				
			1,50668	6,51202				

➤ Rak 1

obs	pred	(obs-pred)/obs	Pi	(Pi-Prerata)^2	S	P + S	P - S	Keterangan
30,5	30,5	0,00000	0,00000	0,87608	0,37748	1,31347	0,55851	sangat tepat
35,6	35,1	0,01404	1,40449	0,21950				
39,6	38,5	0,02778	2,77778	3,39218				
40,6	40,9	-0,00739	0,73892	0,03884				
42,2	42,3	-0,00237	0,23697	0,48863				
42,8	43,1	-0,00701	0,70093	0,05525				
43,3	43,6	-0,00693	0,69284	0,05912				
			0,93599	5,12960				

➤ Rak 2

obs	pred	(obs-pred)/obs	Pi	(Pi-Prerata)^2	S	P + S	P - S	Keterangan
30,0	30,0	0,00000	0,00000	8,73510	0,77166	3,72718	2,18386	sangat tepat
35,0	34,5	0,01429	1,42857	2,33157				
36,8	38,0	-0,03261	3,26087	0,09324				
40,4	40,6	-0,00495	0,49505	6,05391				
41,0	42,6	-0,03902	3,90244	0,89666				
41,8	43,9	-0,05024	5,02392	4,27828				
42,9	44,8	-0,04429	4,42890	2,17085				
43,1	45,3	-0,05104	5,10441	4,61773				
			2,95552	29,17733				

➤ Rak 3

obs	pred	(obs-pred)/obs	Pi	(Pi-Prerata)^2	S	P + S	P - S	Keterangan
29,6	29,6	0,00000	0,00000	17,28537	0,85074	5,00831	3,30683	sangat tepat
34,3	34,0	0,00875	0,87464	10,77764				
36,1	37,5	-0,03878	3,87812	0,07809				
38,7	40,1	-0,03618	3,61757	0,29160				
40,5	42,3	-0,04444	4,44444	0,08230				
41,1	44,0	-0,07056	7,05596	8,40068				
42,5	45,3	-0,06588	6,58824	5,90817				
43,6	46,0	-0,05505	5,50459	1,81447				
44,0	46,4	-0,05455	5,45455	1,68216				
			4,15757	46,32047				

➤ Rak 4

obs	pred	(obs-pred)/obs	Pi	(Pi-Prerata)^2	S	P + S	P - S	Keterangan
28,8	28,8	0,00000	0,00000	18,89530	0,92601	5,27288	3,42086	sangat tepat
33,5	32,8	0,02090	2,08955	5,09549				
35,8	36,0	-0,00559	0,55866	14,35055				
36,4	38,7	-0,06319	6,31868	3,88803				
39,6	40,8	-0,03030	3,03030	1,73336				
40,7	42,5	-0,04423	4,42260	0,00573				
41,0	43,9	-0,07073	7,07317	7,43270				
41,8	44,9	-0,07416	7,41627	9,42120				
42,6	45,6	-0,07042	7,04225	7,26506				
43,5	45,9	-0,05517	5,51724	1,36976				
			4,34687	69,45719				

Lampiran 13. Perhitungan Kadar Air dan Suhu Bahan Secara Manual

1. Perhitungan Kadar Air Bahan Observasi

$$Ka = \frac{ba - bkm}{ba} \times 100\%$$

Dimana: Ka = kadar air bahan
 ba = berat bahan awal
 bkm = berat bahan kering mutlak

Contoh : a. Kadar air bahan rak 1 suhu 50°C pada t = 2

$$Ka1 = \frac{24.6783 - 9.6328}{24.6783} \times 100\% = 60.9665\%$$

b. Kadar air bahan rak 3 suhu 60°C pada t = 6

$$Ka3 = \frac{16.3335 - 9.2384}{16.3335} \times 100\% = 43.4389\%$$

2. Perhitungan Prediksi Kadar Air Bahan dan Suhu Bahan

a). Kadar air bahan fungsi suhu (T)

$$Mt = \text{EXP}((-k).t^n).(Mo-Me)+Me$$

Contoh: Kadar air bahan suhu 60°C pada rak 2

Diketahui: k = 0.07444 (jam⁻¹)

$$n = 1.2866$$

$$Mo = 70.0173\%$$

$$Me = 16.6069\%$$

$$t = 4 \text{ jam}$$

$$\begin{aligned} Mt &= \text{EXP}((-k).t^n).(Mo-Me)+Me \\ &= \text{EXP}((-0.07444).4^{1.2866}).(70.0173-16.6069)+16.6069 \\ &= 50.9016\% \end{aligned}$$

b). Suhu Bahan Prediksi (Tbⁱ⁺¹)

$$Tb^{i+1} = Tb^i + \left[\frac{\rho b \cdot \Delta h v \cdot \frac{\partial M}{\partial t} + U(Ta^i - Tb^i)}{\rho b(Cb + Cw.M)} \right] \cdot \Delta t$$

Contoh: Suhu bahan prediksi rak 1 suhu 50°C pada t = 2

Diketahui : $T_b^i = 29.0^\circ\text{C}$

$$\rho_b = 256.41 \text{ kg/m}^3$$

$$\Delta h_v = 3132.07 \text{ KJ/kg}$$

$$dM/dT = 2.84902 \text{ \%/jam}$$

$$U = 172.72 \text{ KJ/m}^2\text{C}$$

$$T_a^i = 50^\circ\text{C}$$

$$C_b = 1679.8 \text{ KJ/kg}^\circ\text{C}$$

$$C_w = 4187 \text{ KJ/kg}^\circ\text{C}$$

$$M = 0.700173 \text{ kg H}_2\text{O/kg bahan kering}$$

$$\Delta t = 2 \text{ jam}$$

$$\begin{aligned} T_b^{i+1} &= T_b^i + \left[\frac{\rho_b \cdot \Delta h_v \cdot \frac{dM}{dt} + U(T_a^i - T_b^i)}{\rho_b(C_b + C_w \cdot M)} \right] \cdot \Delta t \\ &= 29.0 + \left[\frac{256.41 \times 3132.07 \times 2.84902 + 172.72(50 - 29.0)}{256.41(1679.8 + 4187 \times 0.700173)} \right] \times 2 \\ &= 32.9^\circ\text{C} \end{aligned}$$



Milik UPT Perpustakaan
UNIVERSITAS JEMBER