

MEMPELAJARI KARAKTERISTIK PENGERINGAN BIJI KAKAO (*Theobroma cacao* L.) JENIS UPPER AMAZONE HYBRID

Oleh
PARDOMUAN
F. 26. 0340



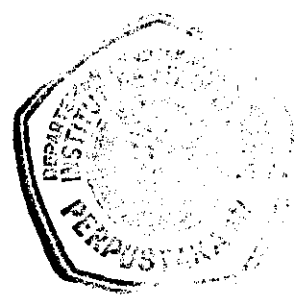
1 9 9 3
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
B O G O R

Hak Cipta Penulisan: Unsur yang
1. Outline meliputi: a. Judul, b. Nama Penulis, c. Tanggal, d. Kata Kunci, e. Abstrak, f. Kesimpulan, g. Daftar Pustaka, h. Kesimpulan, i. Kesimpulan, j. Kesimpulan, k. Kesimpulan, l. Kesimpulan, m. Kesimpulan, n. Kesimpulan, o. Kesimpulan, p. Kesimpulan, q. Kesimpulan, r. Kesimpulan, s. Kesimpulan, t. Kesimpulan, u. Kesimpulan, v. Kesimpulan, w. Kesimpulan, x. Kesimpulan, y. Kesimpulan, z. Kesimpulan.

Pardomuan. F. 26.0430. Mempelajari Karakteristik Pengeringan Biji Kakao Jenis Upper Amazone Hybrid (*Theobroma cacao* L.). Dibawah bimbingan Dr. Ir. Hadi K. Purwardaria dan Drs. Sarmidi.

RINGKASAN

Kakao (*Theobroma cacao* L.) merupakan salah satu komoditas ekspor non migas yang mendapat perhatian untuk ditingkatkan dan dikembangkan. Sampai tahun 1990, luas lahan kakao Indonesia mencapai 318.938 ha dan pada tahun yang sama ekspor biji kering dan olahan masing-masing sebesar 104,470 ton dan 15,255 ton. Salah satu tahap pengolahan biji kakao yang kritis dan memerlukan biaya tinggi adalah tahap pengeringan. Dengan semakin meningkatnya produksi kakao Indonesia dan dengan adanya pemanenan sepanjang tahun maka cara pengeringan alami kurang efektif, terutama pada musim penghujan, sehingga biji kakao perlu dikeringkan dengan alat pengering buatan. Untuk merancang suatu alat pengering, penting diketahui karakteristik pengeringan biji kakao. Beberapa hal lain yang perlu dipertimbangkan dalam merancang alat pengering adalah konsumsi energi, efisiensi dan mutu hasil pengeringan.





Hasil penelitian Zulkifli M. Manurung (1982) dan Aluisius Arisubagijo (1990) menunjukkan bahwa karakteristik pengeringan satu lapis biji kakao terdiri dari periode pengeringan menurun, sedangkan hasil penelitian Faborode, et al. 1992. menyimpulkan bahwa setelah periode pemanasan dan periode laju pengeringan konstan yang cepat, kurva karakteristik pengeringan terdiri dari periode laju pengeringan menurun.

Hasil penelitian Yayan Cahyana (1989) menunjukkan bahwa karakteristik pengeringan tumpukan biji kakao terdiri dari periode laju pengeringan konstan dan periode laju pengeringan menurun. Zulkifli M. Manurung (1982) memperinci hasil penelitian, bahwa karakteristik pengeringan tumpukan untuk lapisan bawah hanya terdiri dari periode laju pengeringan menurun, sedangkan untuk lapisan tengah dan atas terdiri dari periode laju pengeringan konstan dan periode laju pengeringan menurun.

Tujuan penelitian ini adalah mempelajari karakteristik pengeringan biji kakao, yaitu koefisien pengeringan dan kadar air keseimbangan biji kakao pada berbagai tingkat suhu udara pengering, serta menentukan model laju pengeringan biji kakao.

Penelitian pengeringan dilakukan dengan menggunakan alat pengering percobaan yaitu alat Refrigerated/Heated/Humidified Test Cabinet Model 500SB/+101U dari Wiss Teknik buatan Jerman yang telah dimodifikasi. Komponen utama alat pengering meliputi blower, penyearah aliran udara, pengatur suhu, kelembaban dan tekanan serta wadah pengering. Alat ini juga dilengkapi dengan timbangan digametic 6300 Seri No. 57757, 57754 Gibertini dan perangkat komputer Monochrome monitor Nytech Seri No. NM-144 HHK.

Bahan yang dikeringkan adalah biji kakao hasil fermentasi dan tanpa pencucian. Biji kakao yang dikeringkan adalah jenis *Upper Amazone Hybrid* (UAH) yang diperoleh dari perkebunan PT. Inter Green Estate, desa Layungsari, Cianjur. Sebelum difermentasi, buah matang (perubahan warna lebih dari 67%), diperam selama 11 hari. Pengeringan biji kakao dilakukan sampai kadar air bahan mendekati kadar air keseimbangannya, dengan memberikan lima taraf perlakuan suhu dan RH pada kecepatan aliran udara 0.10 m/detik, yaitu 40°C, 50°C, 60°C, 70°C dan 80°C, dengan RH masing-masing 43%, 23%, 16%, 10% dan 7%. Untuk suhu 60°C dan RH 16% digunakan empat taraf kecepatan aliran udara

yaitu 0.05 m/detik, 0.10 m/detik, 0.20 m/detik dan 0.60 m/detik.

Pengukuran dan pengamatan yang dilakukan meliputi berat bahan awal dan akhir, berat bahan selama pengeringan, laju aliran udara pengering, suhu udara pengering dan lingkungan, suhu biji di pusat dan di permukaan. Penentuan kadar air awal ditentukan dengan metode oven.

Data percobaan kadar air dan laju pengeringan diolah untuk menentukan nilai kadar air keseimbangan, M_e dan koefisien pengeringan, K dengan persamaan regresi dan penyapuan matriks Gauss Jordan. Sebuah program komputer disusun untuk menentukan kadar air keseimbangan dan koefisien pengeringan dengan model silinder tak hingga dan bola berdasarkan teori pengeringan lapisan tipis.

Dengan menggunakan program komputer yang merupakan modifikasi dari program komputer yang dibuat oleh Aluisius Arisubagijo (1990), maka dapat ditentukan nilai kadar air keseimbangan, M_e dan koefisien pengeringan, K .

Proses pengeringan biji kakao memerlukan waktu 8-100 jam lebih tergantung dari suhu yang digunakan pada proses pengeringan.

Karakteristik pengeringan lapisan tipis biji kakao menunjukkan setelah periode pemanasan dan periode laju

pengeringan konstan yang cepat, terlihat periode laju pengeringan yang dapat dibagi menjadi tiga tahap laju pengeringan, yaitu laju pengeringan menurun cepat, laju pengeringan menurun lambat dan laju pengeringan menurun sangat lambat.

Persamaan regresi M_e berdasarkan model silinder tak hingga dan bola untuk biji kakao pada kecepatan aliran udara 0.10 m/detik adalah sebagai berikut :

a. untuk model silinder tak hingga :

$$M_{e_s} = 12.1087 - 0.2354 Z + 0.0011 Z^2$$

$$\text{dimana } r^2 = 0.95$$

b. untuk model bola :

$$M_{e_b} = 11.5213 - 0.2148 Z + 0.0008 Z^2$$

$$\text{dimana } r^2 = 0.96$$

Nilai kadar air keseimbangan, M_e diatas berlaku pada Z (selisih bola kering dan bola basah) antara 11.5 sampai 43.5.

Zulkifli M. Manurung (1982) telah menyusun persamaan M_e dinamik biji kakao dengan menganggap bahwa M_e merupakan fungsi eksponensial dari RH udara pengering sebagai berikut :

$$M_{e_d} = 5.1266 + 0.0192 RH - 0.000078 RH^2$$

sedangkan Aluisius Arisubagijo (1990), merumuskan persamaan umum Kadar Air keseimbangan dinamis kakao berdasarkan

persamaan Henderson sebagai berikut :

$$1-RH = \exp(-8.5219 \times 10^{-6} T Me^{2.4179})$$

Persamaan regresi K berdasarkan model silinder tak hingga dan bola untuk biji kakao pada kecepatan aliran udara 0.10 m/detik adalah sebesar :

a. untuk model silinder tak hingga :

$$K_s = \exp(10.1733-3800.7283/T), \text{ dimana } r^2 = 0.99.$$

b. untuk model bola :

$$K_b = \exp(9.5506-3814.5742/T), \text{ dimana } r^2 = 0.99.$$

Nilai koefisien pengeringan, K berlaku pada T (suhu mutlak) antara 313^oK sampai 353^oK.

Sedangkan persamaan regresi K yang disusun oleh Aluisius Arisubagijo (1990) untuk biji kakao adalah sebagai berikut:

Untuk model silinder tak hingga :

$$K_{STH} = \exp(19.4800-6689.2026/T)$$

$$\text{dimana } 323.4^{\circ}\text{K} \leq T \leq 337.4^{\circ}\text{K}$$

Untuk model bola :

$$K_{bola} = \exp(19.4472-6911.8539/T)$$

$$\text{dimana } 323.4^{\circ}\text{K} \leq T \leq 337.4^{\circ}\text{K}$$

Hasil penelitian menunjukkan semakin tinggi suhu (RH rendah), maka laju pengeringan rata-rata semakin tinggi sehingga perlu dilakukan pengujian lebih lanjut terhadap mutu biji hasil pengeringan.

**MEMPELAJARI KARAKTERISTIK
PENGERINGAN BIJI KAKAO (*Theobroma cacao* L.)
JENIS UPPER AMAZONE HYBRID**

Oleh
PARDOMUAN
F.26.0340

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN
pada **JURUSAN MEKANISASI PERTANIAN**
Fakultas Teknologi Pertanian
Institut Pertanian Bogor

1993
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR

INSTITUT PERTANIAN BOGOR
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN

MEMPELAJARI KARAKTERISTIK
PENGERINGAN BIJI KAKAO (*Theobroma cacao* L.)
JENIS UPPER AMAZONE HYBRID

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN

pada **JURUSAN MEKANISASI PERTANIAN**

Fakultas Teknologi Pertanian

Institut Pertanian Bogor

Oleh

Pardomuan

F 26 0340

Disetujui,

Bogor, Oktober 1993





Drs. Sarmidi

Dosen Pembimbing II



Dr. Ir. Hadi K. Purwadaria

Dosen Pembimbing I



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas berkat rahmat-Nyalah sehingga penulis berhasil menyelesaikan skripsi ini.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

Dalam kesempatan ini penulis tak lupa mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Dr. Ir. Hadi K. Purwadaria, sebagai dosen Pembimbing utama.
2. Drs. Sarmidi, sebagai dosen pembimbing kedua.
3. Ir. I Wayan Budiastra, M. Agr., sebagai dosen penguji.
4. Kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Terimakasih pula yang sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada :

1. Direktorat Teknologi Proses Industri, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), atas kesempatan dan bantuan yang diberikan sehingga penulis dapat melakukan penelitian ini.
2. Ibunda tercinta, atas segala do'a yang dipanjatkan kehadirat Illahi, bantuan dan dorongan yang telah diberikan demi keberhasilan studi penulis.



Penulis sadari bahwa masih banyak terdapat kekurangan dari skripsi ini, dan dengan segala kerendahan hati, penulis menantikan kritik dan saran yang membangun untuk perbaikan skripsi ini.

Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang memerlukan.

Bogor, September 1993

Penulis

DAFTAR ISI

Kata Pengantar.....	i
Daftar Isi.....	iii
Daftar Tabel.....	vi
Daftar Gambar.....	vii
Daftar Lampiran.....	viii
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang.....	1
B. Tujuan.....	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Tanaman Kakao.....	7
B. Pengolahan.....	8
1. Panen.....	8
2. Pengupasan Buah.....	9
3. Fermentasi.....	10
4. Pencucian.....	11
5. Pengeringan.....	12
6. Sortasi.....	12
C. Arti Dan Manfaat Pengeringan.....	13
D. Laju Pengeringan.....	14
III. PENDEKATAN TEORITIS	
A. Kadar Air Bahan	19
B. Penerapan Teori Pengeringan Lapisan Tipis Untuk Pengeringan Tumpukan.....	20

C.	Persamaan Pada Model Pengeringan Lapisan Tipis.....	21
1.	Model Teoritis Pengeringan Lapisan Tipis.....	22
2.	Model Semiteoritis Pengeringan Lapisan Tipis.....	25
D.	Konstanta Pengeringan Dan Kadar Air Keseimbangan.....	25
IV.	METODE PENELITIAN	
A.	Bahan Dan Alat.....	28
B.	Waktu Dan Tempat Penelitian.....	29
C.	Pelaksanaan Percobaan.....	29
1.	Pengolahan biji kakao.....	29
2.	Pengukuran Kadar Air Biji Kakao.....	29
3.	Pengeringan.....	35
4.	Pengamatan Dan Pengukuran.....	36
5.	Perhitungan Perubahan Kadar Air.....	37
D.	Model Pendugaan.....	38
E.	Perhitungan Nilai Me Dan K.....	38
F.	Uji Keabsahan Model.....	42
V.	HASIL DAN PEMBAHASAN	
A.	Karakteristik Pengeringan Lapisan Tipis Biji Kakao.....	45
1.	Perubahan Kadar Air Terhadap Waktu.....	45
2.	Perubahan Laju Pengeringan Terhadap Waktu.....	48

3. Perubahan Laju Pengeringan Terhadap Kadar Air.....	52
B. Model Persamaan Kadar Air Keseimbangan.....	56
C. Model Persamaan Koefisien Pengeringan.....	60
D. Evaluasi Model Pengeringan Lapisan Tipis....	65
E. Uji Keabsahan Model.....	82
F. Analisa Kepekaan.....	85
VI. KESIMPULAN DAN SARAN	
A. Kesimpulan.....	92
B. Saran.....	93
LAMPIRAN.....	94
DAFTAR PUSTAKA.....	116

DAFTAR TABEL

No	<u>Teks</u>	halaman
1.	Ekspor kakao Indonesia.....	2
2.	Nilai konstanta c dan n beberapa komoditi pertanian.....	27
3.	Kadar Air Keseimbangan dinamis biji kakao pada kec. aliran udara 0.1 m/detik.....	57
4.	Kadar Air Keseimbangan dinamis biji kakao pada suhu 60°C dan RH 16%.....	58
5.	Nilai koefisien pengeringan K pada kec. aliran udara 0.1 m/detik.....	61
6.	Nilai koefisien pengeringan K pada berbagai variasi kec. aliran udara.....	62
7.	Data hasil uji t-student.....	83
8.	Koefisien determinasi darab (r^2) untuk model STT dan bola.....	85

Hal yang terdapat dalam buku ini merupakan hasil dari penelitian dan pengembangan yang dilakukan oleh dosen dan mahasiswa IPB University. Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada daftar isi buku ini.

DAFTAR GAMBAR

No	<u>Teks</u>	halaman
1.	Kurva laju pengeringan.....	15
2.	Alat pengering percobaan.....	30
3.	Box percobaan.....	31
4.	Desikator.....	32
5.	Oven.....	32
6.	Timbangan digital.....	33
7.	Timbangan digital.....	34
8.	Biji kakao sebelum dan sesudah dikeringkan.....	43
9.	Bagan Alir Perhitungan Me dan K.....	44
10.	Kurva penurunan kadar air terhadap waktu pada kecepatan udara 0.1 m/detik.....	46
11.	Kurva penurunan kadar air terhadap waktu pada suhu 60 ^o C dan RH 16%.....	47
12.	Kurva laju pengeringan terhadap waktu pada kecepatan udara 0.1 m/detik.....	49
13.	Kurva laju pengeringan terhadap waktu pada suhu 60 ^o C dan RH 16%.....	50
14.	Kurva laju pengeringan terhadap kadar air pada kecepatan udara 0.1 m/detik.....	53
15.	Kurva laju pengeringan terhadap kadar air pada suhu 60 ^o C dan RH 16%.....	54
16.	Kurva koefisien pengeringan terhadap suhu udara pengering.....	63
17.	Kurva pengeringan lapisan tipis biji kakao dari model STH pada suhu 40 ^o C dan RH 43%.....	66
18.	Kurva pengeringan lapisan tipis biji kakao dari model bola pada suhu 40 ^o C dan RH 43%.....	67
19.	Kurva pengeringan lapisan tipis biji kakao dari model STT pada suhu 50 ^o C dan RH 23%.....	69



20.	Kurva pengeringan lapisan tipis biji kakao dari model bola pada suhu 50°C dan RH 23%.....	70
21.	Kurva pengeringan lapisan tipis biji kakao dari model STH pada suhu 60°C dan RH 16%.....	72
22.	Kurva pengeringan lapisan tipis biji kakao dari model bola pada suhu 60°C dan RH 16%.....	73
23.	Kurva pengeringan lapisan tipis biji kakao dari model STT pada suhu 70°C dan RH 10%.....	75
24.	Kurva pengeringan lapisan tipis biji kakao dari model bola pada suhu 70°C dan RH 10%.....	76
25.	Kurva pengeringan lapisan tipis biji kakao dari model STT pada suhu 80°C dan RH 7%.....	79
26.	Kurva pengeringan lapisan tipis biji kakao dari model bola pada suhu 80°C dan RH 7%.....	80
27.	Kurva perbandingan model silinder tak hingga dan bola pada suhu 60°C dan RH 16%.....	84
28.	Kepekaan penurunan kadar air terhadap waktu untuk model STH pada berbagai tingkat suhu.....	88
29.	Kepekaan penurunan kadar air terhadap waktu untuk model bola pada berbagai tingkat suhu.....	89
30.	Kepekaan penurunan kadar air terhadap waktu untuk model STH pada berbagai tingkat kecepatan aliran udara pengeringan.....	90
31.	Kepekaan penurunan kadar air terhadap waktu untuk model bola pada berbagai tingkat kecepatan aliran udara pengeringan.....	91

DAFTAR LAMPIRAN

No	Teks	halaman
1.	Akar positif fungsi Bessel nol jenis pertama	95
2.	Perubahan K.A. biji kakao selama pengeringan pada suhu 40°C dan RH 43%.....	96
3.	Perubahan K.A. biji kakao selama pengeringan pada suhu 50°C dan RH 23%.....	97
4.	Perubahan K.A. biji kakao selama pengeringan pada suhu 60°C dan RH 16%.....	98
5.	Perubahan K.A. biji kakao selama pengeringan pada suhu 70°C dan RH 10%.....	99
6.	Perubahan K.A. biji kakao selama pengeringan pada suhu 80°C dan RH 7%.....	100
7.	Perubahan K.A. biji kakao selama pengeringan pada suhu 60°C, kec. udara 0.2 m/detik.....	101
8.	Perubahan K.A. biji kakao selama pengeringan pada suhu 60°C, kec. udara 0.6 m/detik.....	102
9.	Perubahan K.A. biji kakao selama pengeringan pada suhu 60°C, kec. udara 0.05 m/detik.....	103
10.	Perhitungan perubahan K.A. biji kakao pada suhu 40°C dan RH 43%.....	104
11.	Perhitungan perubahan K.A. biji kakao pada suhu 50°C dan RH 23%.....	105
12.	Perhitungan perubahan K.A. biji kakao pada suhu 60°C dan RH 16%.....	106
13.	Perhitungan perubahan K.A. biji kakao pada suhu 70°C dan RH 10%.....	107
14.	Perhitungan perubahan K.A. biji kakao pada suhu 80°C dan RH 7%.....	108
15.	Program perhitungan perubahan kadar air biji kakao selama pengeringan.....	109
16.	Program perhitungan nilai Me dan K.....	111
17.	Skema bagian dalam alat pengering.....	115

DAFTAR SIMBOL

a	: ketebalan bahan (m)
A	: luas permukaan (m^2)
AH	: berat air yang menguap (gram)
BA	: berat air dalam bahan (gram)
BC_0	: berat awal biji kakao (gram)
BC_i	: berat biji kakao ke-i (gram)
BD	: berat biji di timbangan dryer (gram)
BW	: berat wadah
D	: koefisien difusivitas (m^2/jam)
f	: konduktivitas panas ($J/jam\ m^2\ ^\circ C$)
f_v	: koefisien pindah uap air ($kg/(jam^2\ m\ kg/m^2)$)
h_{fg}	: panas laten penguapan air (kJ/kg)
K	: koefisien pengeringan (1/jam)
KAB_0	: kadar air awal (% bb)
KAB_i	: kadar air ke-i (% bb)
LP_i	: laju pengeringan (% bk/jam)
M	: kadar air (% bk)
Me	: Kadar air keseimbangan (% bk)
Mo	: kadar air awal (% bk)
MR	: rasio kadar air
n	: jumlah deret
P	: tekanan uap bahan (N/m^2)
Ps	: tekanan uap air jenuh pada bahan (N/m^2)
Pv	: tekanan uap air jenuh pada udara (N/m^2)
r	: koordinat partikel (m)
t	: waktu (jam)
T	: suhu mutlak (K)
Z	: Selisih suhu bola kering dan bola basah ($^\circ C$)
	: Akar positif fungsi Bessel
θ	: Suhu ($^\circ C$)

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Dalam Repelita IV, kakao merupakan salah satu komoditi yang mendapat perhatian khusus. Untuk mendorong peningkatan penerimaan devisa negara, maka pemerintah mengalihkan perhatian terhadap peningkatan dan pengembangan komoditas kakao ini. Salah satu usaha yang dilakukan oleh pemerintah adalah dengan melaksanakan program perluasan tanaman kakao terhadap Perkebunan Rakyat, Perkebunan Besar Negara dan Perkebunan Besar Swasta.

Sampai tahun 1990, luas lahan kakao Indonesia mencapai 318.938 ha, yang sebagian besar merupakan Perkebunan Rakyat (72.07%), sedangkan sisanya terdiri atas Perkebunan Besar Negara dan Perkebunan Besar Swasta yang masing masing sebesar 16.70% dan 11.23%.

Dalam dekade terakhir, konsumsi kakao dunia rata-rata adalah 1,500,000 ton pertahun. Konsumsi kakao tersebut menunjukkan kecenderungan yang terus meningkat. Dengan adanya kemunduran yang dialami oleh negara-negara penghasil kakao lainnya, maka peluang untuk memasarkan kakao Indonesia di pasaran Internasional masih cukup besar, sehingga pada masa yang akan datang komoditas biji kakao diharapkan menduduki tempat sejajar dengan komoditas perkebunan lainnya seperti kelapa sawit dan karet.

Ekspor kakao Indonesia Indonesia mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Agar mutu ekspor terjamin, Indonesia masih mengandalkan biji kakao hasil produksi perkebunan negara dan swasta. Bagi perkebunan swasta yang mengembangkan kakao, mutu jelas merupakan faktor utama yang sangat dijaga. Oleh karena itu hampir 100 persen dari produksi kakaonya ditujukan untuk ekspor.

Tabel 1. Ekspor Kakao Indonesia.

Tahun	Jumlah (ton)	
	Biji	Olahan
1986	33,170	1,877
1987	37,228	3,726
1988	57,357	4,153
1989	67,588	8,412
1990	104,470	15,255

Sumber : BPS, 1991.

Pengolahan kakao di Perkebunan biasanya hanya sampai biji kakao yang telah dikeringkan. Untuk mencapai kakao kering, buah kakao mengalami proses pengolahan yang khusus, terdiri dari pengupasan buah (pemecahan buah), fermentasi, pencucian yang didahului dengan perendaman, pengeringan, sortasi, pemutuan serta pengepakan (Soenaryo dan Manurung, 1978). Salah satu

dari tahap pengolahan ini yang memerlukan penanganan yang cukup serius dan juga memerlukan biaya yang lebih tinggi dari biaya-biaya pengolahan lainnya adalah tahap pengeringan (Chatt, 1953).

Sebelum dikeringkan, biji yang telah difermentasikan mengalami proses pencucian (washed). Tetapi ada juga pengolahan tanpa pencucian (unwashed). Biji yang lebih dulu mengalami pencucian biasanya menghasilkan kulit biji yang tipis sehingga rapuh dan mudah terkelupas sedangkan biji tanpa pencucian memiliki rendemen yang tinggi dan kulitnya tidak rapuh. Disamping itu aroma biji tanpa pencucian juga lebih baik karena tidak ada bagian yang dibilas oleh air.

Menurut Effendi (1991), untuk biji kakao tipe **Forastero** yang berasal dari buah yang tidak mengalami pemeraman perlu dilakukan pencucian ringan, sedangkan biji yang berasal dari buah yang diperam tidak perlu dicuci lagi.

Pada umumnya pengeringan biji kakao Indonesia dilakukan dengan kombinasi 2 cara yaitu: tahap pertama penjemuran (Sun Drying) dan tahap kedua pengeringan dengan alat pengering buatan (Artificial Drying). Dengan semakin meningkatnya produksi kakao Indonesia dan dengan adanya pemanenan sepanjang tahun menyebabkan cara pengeringan alami atau kombinasi di atas tidak selamanya dapat digunakan (efektif), terutama pada

musim penghujan, sehingga saat ini biasanya biji kakao hanya dikeringkan dengan alat pengering buatan.

Untuk mendisain suatu alat pengering, maka penting diketahui karakteristik pengeringan dari bahan atau biji-bijian yang akan dikeringkan. Karakteristik pengeringan dapat dipelajari melalui pengeringan lapisan tipis yaitu pengeringan dari satu lapis biji yang mendapatkan lingkungan suhu dan RH konstan, (Ridwan Tahir, et al., 1985).

Untuk mendapatkan hasil pengeringan yang baik maka perlu pengetahuan mengenai kadar air keseimbangan (Me) dari bahan yang akan dikeringkan. Pada pengeringan, Me berguna untuk mengetahui batas kadar air yang dapat dicapai sedangkan pada proses penyimpanan berfungsi untuk mengetahui batas kadar air yang dapat dipertahankan.

Beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam merancang alat pengering antara lain adalah konsumsi energi bagi alat pengering yang efisien dan efektif serta menghasilkan komoditi kering dengan mutu yang tinggi. Oleh karena itu perlu diketahui data dari karakteristik pengeringan.

Hasil penelitian Faborode et al., 1992, menunjukkan bahwa pada suhu tinggi, 60°C, ternyata tidak mempengaruhi mutu dari biji kakao, walaupun demikian pengeringan pada suhu 40°C memberikan mutu yang paling baik.

Gunarif et al., 1988 menyatakan bahwa pada proses pengeringan, suhu udara selain akan berpengaruh terhadap waktu pengeringan, juga akan berpengaruh terhadap kualitas bahan yang akan dikeringkan. Untuk menekan biaya pengeringan dengan biaya serendah mungkin dengan kapasitas pengeringan yang tinggi, maka dapat digunakan suhu yang tinggi, akan tetapi suhu yang digunakan tersebut tidak merusak bahan yang dikeringkan. Pada penelitian ini, penulis tidak melakukan pengujian mutu biji kakao kering, sehingga berdasarkan hasil penelitian Faborode et al. (1992), penulis mencoba menggunakan suhu tinggi, 60°C , pada berbagai kecepatan aliran udara pengeringan.

Pada pengeringan bahan hasil pertanian terjadi migrasi air dari bagian dalam ke permukaan bahan. Pola migrasi air pada pengeringan lapisan tipis dapat dianalisa melalui model matematik yang merupakan penyederhanaan dari persamaan differensial yang dikembangkan oleh Lukikov (1966).

Persamaan pengeringan banyak digunakan dengan asumsi bahwa bentuk-bentuk geometris bahan beraturan seperti bola, silinder terbatas dan tak terbatas, serta lempeng tak terbatas untuk menganalisa proses migrasi air pada berbagai bentuk hasil pertanian.

Oleh karena hal-hal di atas, penulis dalam penelitian ini akan mencoba mempelajari karakteristik penge-

ringan lapisan tipis biji kakao pada berbagai kondisi udara pengering dengan alat pengering percobaan dan mencoba membuat model pengeringannya.

B. Tujuan

Tujuan penelitian yang akan dilakukan adalah untuk mempelajari karakteristik pengeringan lapisan tipis biji kakao pada berbagai kondisi udara pengering, menentukan koefisien pengeringan K dan kadar air keseimbangan M_e , serta membuat model pengeringan pada biji kakao.



II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Tanaman Kakao

Tanaman kakao adalah tanaman yang termasuk di dalam genus *Theobroma*, suatu genus yang masuk keluarga *stereuliaceae* di dalam ordo *Malvales*. Biji kakao dihasilkan oleh *Theobroma cacao* L..

Chessman membagi tanaman kakao dalam dua tipe besar yaitu pertama *Criollo*, yang terdiri dari *Criollo* Amerika Tengah dan *Criollo* Amerika Selatan. Kedua adalah *Forastero*, yang terdiri dari *Forastero Amazone* dan *Trinitario* (merupakan hibrida dari *Criollo* dan *Forastero*). Diantara ketiga jenis tersebut dapat dibedakan atas dasar bentuk, warna buah dan biji. Sebagai hibrida dari *Criollo* dan *Forastero*, jenis *Trinitario* memiliki sifat-sifat diantara keduanya. Saat ini bahan tanam kakao yang banyak digunakan adalah *Upper Amazone Hybrid (UAH)*, karena produksinya tinggi dan cepat sekali mengalami fase generatif.

Didalam industri kakao, jenis *Criollo* dan *Trinitario* dikenal sebagai tipe kakao mulia dan *Forastero* dikenal sebagai kakao *Lindak*. Perbedaan syarat pertumbuhan yang optimum dari tipe kakao *Lindak* dan *Mulia*, menghasilkan produksi yang berbeda pula. Karena perbedaan-perbedaan tersebut maka akan menimbulkan perbedaan dalam soal pengolahan dan mutu, serta penggunaan dan pemasarannya.

Secara garis besar buah kakao terdiri dari 4 bagian, yaitu kulit, *placenta*, *pulp* dan biji. Buah kakao masak memiliki kulit yang tebal dan berisi 30-50 biji bergantung pada jenis tanaman. Sedangkan berat kering atau satu biji kakao yang ideal adalah $1 + 0.1$ gram.

Biji kakao terdiri dari dua bagian, yaitu biji dan keping biji. Keping biji meliputi 86 sampai 90 persen dari berat kering keping biji, sedangkan kulit biji sekitar 10-14 persen dari berat keping biji.

Pulp yang meliputi biji kakao sebagian besar terdiri dari air dan sebagian kecil gula yang sangat berperan dalam proses fermentasi.

B. Pengolahan Kakao

1. Panen

Panen dilakukan apabila buah telah matang. Buah yang matang dapat diketahui dari perubahan warna kulitnya. Pada tanaman kakao tipe *Forastero*, buah muda yang semula berwarna hijau akan berubah menjadi kuning atau kuning jingga, sedangkan buah yang semula berwarna merah akan berubah menjadi jingga. Pada kakao tipe *DR* (Djati Runggo), buah muda yang semula berwarna merah muda akan berubah menjadi merah tua apabila buah sudah matang, (Sulaiman Effendi, 1991).

Pemetikan buah dilakukan dengan menggunakan pisau yang tajam. Hal yang perlu diperhatikan

adalah tangkal buah atau bantalan bunga tidak boleh rusak karena pemetikan. Tangkal buah yang rusak akan menyebabkan terhentinya pembentukan bunga/buah pada tahun berikutnya. Hal ini dapat terjadi karena bantalan bunga ini yang menghasilkan bunga/buah, (Atjeng M. Syarief, et al., 1988).

Untuk mengurangi tingkat keasaman biji kakao, buah-buah kakao tipe *Forastero* disimpan terlebih dahulu sekitar 10 hari sebelum pemecahan. Tujuan dari penyimpanan buah ini adalah untuk mengurangi sebagian gula *pulp* agar pembentukan asam pada proses fermentasi tidak terlalu tinggi, (Sulaiman Effendi, 1991).

Penelitian di Malaysia menunjukkan bahwa penyimpanan selama 7-10 hari menyebabkan penurunan pada kadar gula *pulp* sekitar 40%, volume *pulp* sekitar 50% dan kadar air *pulp* sekitar 4%.

2. Pengupasan buah

Buah dikumpulkan kemudian dipecah, yaitu dengan memisahkan biji-biji dari kulit buah. Pemecahan ini dapat menggunakan pisau, arit maupun dengan pemukul kayu. Cara pemecahan ini memerlukan keterampilan dan pengalaman yang lama. Pemecahan ini dilakukan dengan membelah buah, baik melintang maupun membujur tanpa mengenai biji didalamnya, (Atjeng M. Syarief, et al., 1988).

3. Fermentasi

Proses fermentasi pada pengolahan kakao memegang peranan utama. Tujuan fermentasi ini adalah selain untuk mempermudah sisa-sisa *pulp* yang melekat pada kulit biji, sehingga dapat tercuci bersih, tujuan utama diperlukan untuk mematikan biji, (Atjeng M. Syarief, et al. 1988).

Kegiatan enzim terjadi setelah biji mati. Hal ini dapat terjadi karena kematian biji menyebabkan desintegrasi pada sistem sel sehingga enzim dan substrat dapat bereaksi. Kematian biji ini disebabkan oleh panas dan asam asetat yang dihasilkan oleh kerja mikroba, (Sulaiman Effendi, 1991).

Peningkatan mutu melalui proses fermentasi ini sangat erat hubungannya dengan panas yang dihasilkan selama fermentasi berlangsung. Panas ini menyebabkan suhu biji kakao yang difermentasi meningkat secara bertahap dari 45°C sampai 60°C. Peranan suhu dalam hal ini adalah untuk mempercepat terbentuknya asam dari *pulp* biji, difusi dan kerja semua zat yang bersifat racun untuk mematikan biji tersebut tanpa merusak kegiatan enzim yang ada pada biji, sehingga proses enzimatik untuk pembentukan aroma, warna dan rasa dapat berlangsung.

Selain pembentukan calon aroma dan perbaikan rasa, fermentasi juga menyebabkan terhambatnya



proses perkecambahan, kulit biji menjadi longgar, dan *pulp* biji menjadi hancur atau terlepas sehingga mempermudah pengeringan, (Sulaiman Effendi, 1991).

Waktu yang dibutuhkan untuk melakukan proses fermentasi biji kakao tergantung dari jumlah pigmen ungu yang terdapat di dalam biji segar. Makin besar jumlah pigmen ungu, makin lama proses fermentasi yang dibutuhkan. Biji kakao untuk tipe *Forastero* difermentasi selama 5 hari dan 3 hari untuk tipe *DR*. Pembalikan massa biji dilakukan satu kali setelah fermentasi berlangsung 48 jam, (Sulaiman Effendi, 1991).

Tanda-tanda bahwa fermentasi sudah selesai adalah *pulp* mudah dilepas dari kulit biji, kulit biji berwarna coklat, bau asam cuka sangat nyata. Sebaliknya biji yang belum selesai fermentasinya mempunyai *pulp* berwarna putih, kulit biji belum berwarna coklat.

4. Pencucian

Tujuan dari pencucian ini adalah agar kulit dapat memenuhi keinginan konsumen yakni maksimum 12%. Untuk biji kakao tipe *Forastero* yang berasal dari buah yang tidak mengalami pemeraman perlu dilakukan pencucian ringan, sedangkan biji yang berasal dari buah yang disimpan tidak perlu dicuci lagi, (Sulaiman Effendi, 1991).



5. Pengeringan

Pada akhir fermentasi kandungan air biji kakao mencapai 55-60% bb. Persentasi ini harus diturunkan menjadi 6-7% bb untuk menjamin penyimpanan yang aman. Apabila kadar air diturunkan menjadi lebih kecil dari 6 persen, maka hal ini mengakibatkan kulit biji menjadi mudah patah-patah dan apabila kadar air lebih dari 8 persen, maka dikhawatirkan pertumbuhan jamur pada biji tersebut akan lebih cepat, (Atjeng M. Syarief, et al., 1988).

Untuk mencapai kadar air 6-7% dapat dilakukan dengan proses pengeringan, baik menggunakan sinar matahari, maupun alat pengering mekanis atau dengan kombinasi keduanya.

Pengeringan pada kakao tidak hanya untuk melepaskan atau menguapkan air dari dalam biji saja, akan tetapi juga meneruskan atau menghentikan proses-proses biologis dan kimia di dalam biji yang berlangsung terus menerus sejak mulai fermentasi. Ini semua dapat tercapai bila udara pengering dapat masuk ke dalam biji. Pada saat itu diharapkan udara masuk secara perlahan-lahan melalui pori-pori kecil dari biji dan pengeringan tidak boleh dilakukan terlalu cepat, (Atjeng M. Syarief, et al., 1988).

6. Sortasi

Biji kakao yang telah dikeringkan perlu disortasi untuk memisahkan biji pecah, kotoran atau benda

asing lainnya. Biji-biji yang sangat kecil, yang mempunyai berat kurang dari 0.8 gram perlu dipisahkan karena biji-biji ini dilarang diekspor. Biji kecil ini ditandai dengan panjangnya yang hanya mencapai 1 cm, (Sulaiman Effendi, 1991).

C. Arti Dan Manfaat Pengeringan

Menurut Henderson dan Perry (1966), pengeluaran kandungan air dari suatu bahan dikenal sebagai proses pengeringan (drying) atau dehidrasi (dehydration). Walaupun kedua istilah ini dapat digunakan bersama-sama, tetapi jika ditinjau lebih mendalam mempunyai arti yang agak berbeda. Pengeringan adalah proses pengeluaran air dari suatu hasil pertanian sampai kadar air setimbang dengan keadaan udara disekelilingnya (equilibrium with atmospheric air) atau sampai tingkat kadar air dimana mutu hasil pertanian tersebut dapat dipertahankan dari serangan jamur, aktifitas serangga dan enzim. Sedangkan dehidrasi adalah proses pengeluaran air sampai tingkat kadar air yang serendah-rendahnya sehingga mendekati keadaan kering mutlak. Bahan yang kering mutlak adalah bahan dimana semua kandungan airnya telah dikeluarkan sehingga kadar airnya adalah nol.

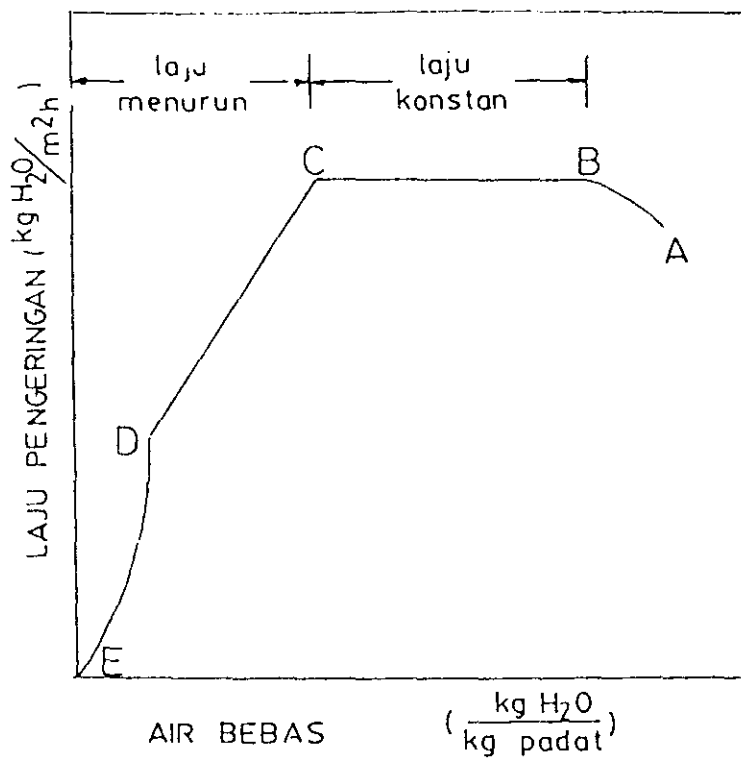
Pengeringan mempunyai peranan yang semakin meningkat bagi hasil-hasil pertanian, manfaat pengeringan yang sampai saat ini dapat dikemukakan adalah sebagai

berikut (Hall, 1957; Broker, et al., 1974 dan Henderson and Perry, 1976):

- a. Memungkinkan pemanenan lebih awal (kadar air tinggi) sehingga mengurangi kehilangan hasil dilapangan dan kerusakan oleh faktor alami.
- b. Memungkinkan penyimpanan yang lebih lama dengan kerusakan bahan yang sekecil-kecilnya.
- c. Memungkinkan perencanaan penggunaan tenaga kerja yang lebih baik setiap musimnya. Hasil-hasil pertanian masih dapat dipanen walaupun kondisi pengeringan secara alami tidak menguntungkan.
- d. Memungkinkan para petani mendapatkan keuntungan dengan harga yang tinggi beberapa bulan setelah pemanenan.
- e. Daya kecambah biji-bijian dapat dipertahankan dalam waktu yang agak lebih lama.
- f. Hasil limbah dapat dirubah menjadi bahan yang lebih berguna, misalnya pulp buah-buahan setelah dikeringkan dapat digunakan sebagai makanan ternak.

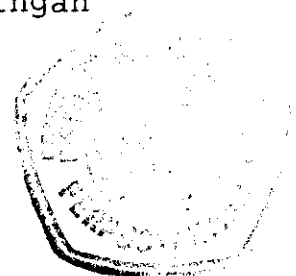
D. Laju Pengeringan

Kurva karakteristik pengeringan biji-bijian seperti juga halnya dengan hasil-hasil pertanian lainnya mengalami periode kecepatan pengeringan konstan dengan awal yang cepat diikuti oleh periode dengan kecepatan menurun yang lebih lambat, yang umumnya terdiri dari dua kecepatan yang berbeda.



Gambar 1. Kurva laju pengeringan (Helman dan Singh, 1980).

Kurva laju pengeringan diperoleh dengan memplotkan laju pengeringan terhadap kadar air basis kering, seperti terlihat pada **Gambar 1** (Helman dan Singh, 1980). Kurva laju pengeringan menunjukkan adanya periode pemanasan AB, periode laju pengeringan tetap BC, dan periode laju pengeringan menurun CE. Laju pengeringan menurun terdiri dari dua tahap, yaitu laju pengeringan menurun pertama CD dan laju pengeringan menurun kedua DE.



Menurut Henderson dan Perry (1976), pada periode laju pengeringan tetap, bahan atau massa bahan berisi sedemikian banyak air, sehingga cairan yang berada dipermukaan akan mengering dengan cara yang serupa dengan penguapan pada permukaan bebas. Air dan zat-zat lain yang berada disekitarnya, yang bukan bahan padat, akan menentukan laju pengeringan. Periode laju pengeringan tetap ini berlangsung pada waktu yang singkat dan dapat diabaikan.

Laju pengeringan menurun akan terjadi sesuai dengan penurunan kadar air selama pengeringan. Permukaan partikel bahan yang dikeringkan tidak lagi ditutupi oleh lapisan air. Jumlah air terlihat makin lama makin berkurang karena terjadi migrasi air dari bagian dalam ke permukaan secara difusi (Henderson dan Perry, 1976).

Menurut Brooker (1979), faktor-faktor yang mempengaruhi laju pengeringan konstan adalah kecepatan aliran udara, suhu udara, dan kelembaban udara.

Migrasi uap air terjadi karena perbedaan konsentrasi atau tekanan uap pada bagian dalam dengan bagian luar biji (Brooker et al., 1974).

Lukikov dalam Brooker et al. (1974) mengembangkan model matematik untuk menjelaskan pengeringan dari bahan berpori dalam bentuk persamaan diferensial.

$$\begin{aligned}\frac{\delta M}{\delta t} &= u^2 K_{11} M + u^2 K_{12} Tg + u^2 K_{13} P \\ \frac{\delta \theta}{\delta t} &= u^2 K_{21} M + u^2 K_{22} \theta + u^2 K_{23} P \\ \frac{\delta P}{\delta t} &= u^2 K_{31} M + u^2 K_{32} \theta + u^2 K_{33} P\end{aligned}\quad (1)$$

Menurut Brooker et al. (1974) pada praktek pengeringan, gradien suhu dan tekanan dalam biji dapat diabaikan sehingga persamaan (1) menjadi

$$\frac{\delta M}{\delta \theta} = u^2 K_{11} M \quad (2)$$

Menurut Buckle et al. (1978) menyatakan bahwa faktor-faktor utama yang mempengaruhi kecepatan pengeringan dari suatu bahan pangan adalah sifat fisik dan kimia dari produk (bentuk, ukuran, komposisi dan kadar air), pengaturan geometris produk, sehubungan dengan permukaan alat atau media perantara pemindah panas, sifat-sifat fisik dan lingkungan alat pengering (suhu, kelembaban dan kecepatan udara) dan karakteristik alat pengering.

Peranan udara di dalam proses pengeringan adalah sebagai tempat pelepasan dan penampungan uap air yang keluar dari bahan, dan juga bertindak sebagai penghantar panas ke bahan yang dikeringkan (F. G. Winarno et al., 1980).

Zulkifli M. Manurung (1982) telah menyusun persamaan Me dinamik biji kakao dengan menganggap bahwa Me merupakan fungsi eksponensial dari RH udara pengering sebagai berikut :

$$Me_d = 5.1266 + 0.0192 RH - 0.000078 RH^2 \quad (3)$$

Aluisius Arisubagijo (1990), merumuskan persamaan umum Kadar Air keseimbangan dinamis kakao berdasarkan persamaan Henderson sebagai berikut :

$$1-RH = \exp(-8.5219 \times 10^{-6} T Me^{2.4179}) \quad (4)$$

Persamaan regresi K berdasarkan model silinder tak hingga dan bola pada penelitian Aluisius Arisubagijo (1990) untuk biji kakao adalah :

Untuk model silinder tak hingga :

$$K_{STH} = \exp(19.4800-6689.2026/T) \quad (5)$$

$$\text{dimana } 323.4^{\circ}\text{K} \leq T \leq 337.4^{\circ}\text{K}$$

Untuk model bola :

$$K_{bola} = \exp(19.4472-6911.8539/T) \quad (6)$$

$$\text{dimana } 323.4^{\circ}\text{K} \leq T \leq 337.4^{\circ}\text{K}$$

III. PENDEKATAN TEORITIS

A. Kadar Air Bahan

Menurut Brooker et al. (1974), Henderson & Perry (1976) dan Heldman & Singh (1980), ada dua cara untuk menyatakan kadar air suatu bahan pangan, yaitu kadar air basis basah yang merupakan perbandingan antara berat air di dalam bahan tersebut dengan berat bahan total.

$$m = \frac{W_m}{W_m + W_d} \times 100 \% \quad (7)$$

Sedangkan kadar air basis kering yang merupakan perbandingan antara berat air di dalam bahan tersebut dengan berat bahan kering. Persamaannya kadar air basis kering adalah sebagai berikut:

$$M = \frac{W_m}{W_d} \times 100 \% = \frac{100m}{100 - m} \quad (8)$$

dimana : W_m = bobot air

W_d = bobot padatan

Kadar air akhir dari bahan pangan setelah dikeringkan sangat bervariasi tergantung jenis bahan pangan yang dikeringkan. Demikian pula dengan lama proses pengeringan dan lama masa simpan hasil pengeringan juga dipengaruhi oleh jenis bahan pangan yang dikeringkan.

Hal yang penting dalam memahami...
1. Untuk mengungkap seberapa...
2. Bagaimana...
3. Bagaimana...
4. Bagaimana...
5. Bagaimana...
6. Bagaimana...
7. Bagaimana...
8. Bagaimana...
9. Bagaimana...
10. Bagaimana...

B. Penerapan Teori Pengeringan Lapisan Tipis Untuk Pengeringan Tumpukan (Bed Drying)

Pada praktek-praktek pengeringan jarang dilakukan pengeringan hasil pertanian secara individu atau lapisan tipis. Pada kenyataannya pengeringan dilakukan secara tumpukan.

Untuk menduga penampilan pengeringan lapisan tebal dilakukan model simulasi yang didasarkan pada asumsi bahwa tumpukan tebal tersusun dari sederetan lapisan-lapisan tipis. Oleh karena itu, berlakunya model-model pengeringan tumpukan tebal secara langsung tergantung pada ketepatan model pengeringan lapisan tipis.

Henderson dan Perry (1976) mendefinisikan pengeringan lapisan tebal adalah pengeringan dimana terdapat gradien kadar air pada lapisan pengeringan pada setiap waktu.

Kadar air dan sifat thermal udara pengering dihitung pada setiap lapisan dengan menggunakan persamaan pengeringan lapisan tipis dan persamaan termodinamika. Keluaran dari lapisan tipis pertama akan merupakan masukan bagi lapisan berikutnya (Ridwan Thahir et al. 1985).

Pada alat pengeringan tipe stasioner, mula-mula pengeringan terjadi pada lapisan paling bawah. Kemudian pengeringan dilanjutkan pada lapisan yang di atasnya. Dan ketika pengeringan telah berlangsung

pada semua lapisan, seluruh bahan telah dikeringkan sampai terjadi keseimbangan dengan udara pengering (Brooker et al., 1974).

Suhu bahan pada setiap lapisan dihitung dengan menggunakan asumsi bahwa jumlah panas total sama dengan panas konveksi dari udara pengering dikurangi dengan panas yang diperlukan untuk evaporasi dan dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\frac{\delta \theta_b}{\delta t} = \frac{-f a (\theta_b - \theta_u) - (h_{fg} W_u \delta M / \delta t) / 100}{W_b C_{pb}} \quad (9)$$

dimana indeks b dan a masing-masing untuk bahan dan udara.

Suhu udara dihitung dengan asumsi bahwa panas yang dilepaskan oleh udara pangering digunakan untuk memanasi bahan dan evaporasi tanpa ada panas yang hilang dan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\delta \theta_u = \frac{W_b C_{pb} (\delta \theta_b / \delta t) + (\delta M / \delta t) W_d h_{fg} / 100}{\mu \int_u C_{pu}} \quad (10)$$

Nilai $\delta M / \delta t$ pada persamaan 1 dan 2 dapat diperoleh dengan mendiferensialkan persamaan pengeringan lapisan tipis terhadap waktu t (Ridwan Thahir et al. 1985).

C. Persamaan Pada Model Pengeringan Lapisan Tipis

Pada periode laju pengeringan konstan, perubahan kadar air biji-bijian yang berada di dalam lapisan

tipis dapat dihitung berdasarkan persamaan dibawah ini (Henderson and Perry et al., 1976)

$$\frac{\delta M}{\delta t} = f_v A (P_s - P_u) = \frac{f A (\theta_u - \theta_s)}{h_{fg}} \quad (11)$$

Pada periode laju pengeringan menurun sangat dominan dalam menentukan waktu pengeringan. Model persamaan lapisan tipis yang telah dikembangkan baik secara teoritis maupun semi-teoritis empiris bertitik tolak dari anggapan bahwa lapisan tipis sebagai satu kesatuan pengeringan yang terjadi secara difusi mengikuti bentuk beraturan tertentu.

1. Model Teoritis Pengeringan Lapisan Tipis

Brooker et al. (1974) dan Heldman and Singh (1980) menyelesaikan persamaan (2) dengan merubah k menjadi D sebagai koefisien difusi.

$$\frac{\delta M}{\delta \theta} = D \left[\frac{\delta^2 M}{\delta r^2} + \frac{c}{r} \frac{\delta M}{\delta r} \right] \quad (12)$$

dimana $c = 0$ untuk bentuk lempeng , $c = 1$ untuk silinder dan $c = 2$ untuk bentuk bola.

Dengan kondisi awal : $M(r, 0) = M_0$

kondisi batas : $M(r, t) = M_e$

Henderson and Perry memecahkan persamaan (12)

untuk bentuk datar, yaitu :

$$\frac{M - M_e}{M_o - M_e} = 8/\pi^2 \left[e^{-D\theta\pi^2/4a^2} + \frac{1}{9} e^{-9D\theta\pi^2/4a^2} + \frac{1}{25} e^{-25D\theta\pi^2} + \dots \right] \quad (13)$$

dan Crank (1957) menyelesaikan :

$$M_r = 8/\pi^2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[- \frac{(2n-1)^2 r^2}{R^2} x^2 \right] \quad (14)$$

sedangkan untuk bentuk bola, Heldman and Singh

(1980) menyelesaikan dalam bentuk :

$$\frac{M_o - M}{M_o - M_e} = 1 - 6/\pi^2 \sum_{n=1}^{\infty} 1/n^2 \exp \left[\frac{-D n^2 \pi^2 t}{R^2} \right] \quad (15)$$

dan Crank (1957) :

$$M_r = 6/\pi^2 \sum_{n=1}^{\infty} 1/n^2 \exp \left[- \frac{n^2 r^2}{9} x^2 \right] \quad (16)$$

Witaker and Young (1972) menyelesaikan persamaan (12) untuk menggambarkan pergerakan air dalam bahan dengan bentuk geometris lempeng tak terbatas, silinder tak terbatas, silinder terbatas dan bola sebagai berikut :

a. Untuk bentuk datar tak terbatas (DTT)

$$M_r = 8/\pi^2 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[(-2n+1)^2 K t \right] \quad (17)$$

b. Untuk bentuk silinder tak hingga (STH)

$$M_r = \sum_{n=0}^{\infty} 4/\tau \exp(-\tau n^2 K t/\pi^2) \quad (18)$$

c. Untuk bentuk silinder terbatas (ST)

$$M_r = 8/\pi^2 \left[\sum_{n=0}^{\infty} 4/\tau n^2 \exp(-K \tau n^2 t/\pi^2) \right] \\ \times \left[\sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[-K (2n+1)^2 t a^2 \right] \right] \quad (19)$$

d. Untuk bentuk bola

$$M_r = 6/\pi^2 \sum_{n=1}^{\infty} 1/n^2 \exp(-n^2 K t) \quad (20)$$

dimana

$$M_r = \frac{M - M_e}{M_o - M_e} \quad (21)$$

2. Model Semiteoritis Pengeringan Lapisan Tipis

Model pengeringan lapisan tipis yang tersusun dari deret tak hingga seperti di atas, selain susunannya sangat rumit, juga menyita banyak memori komputer untuk mengerjakannya. Henderson and Perry (1976) mengemukakan model semi-teoritis sebagai berikut :

$$\frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = A e^{k\theta} \quad (22)$$

dimana A adalah koefisien yang besarnya tergantung bentuk partikel :

Untuk lempeng	:	$8 \pi^{-2}$	=	0.810569
Untuk silinder	:	$(8 \pi^{-2})^3$	=	0.532527
Untuk bola	:	$(6 \pi^{-2})$	=	0.607927

K adalah koefisien pengeringan yang merupakan fungsi difusifitas dan geometri, dimana :

$$K = \frac{\pi^2}{r^2} \quad (23)$$

D. Konstanta Pengeringan dan Kadar Air Keseimbangan

Kadar air keseimbangan suatu bahan dapat diartikan sebagai kadar air minimum yang dapat dikeringkan dibawah kondisi pengeringan yang tetap atau pada suhu dan kelembaban nisbi yang tetap. Suatu bahan berada dalam keadaan seimbang dengan kondisi sekelilingnya bila laju kehilangan air dari bahan menuju udara sama

dengan laju air yang didapat dari udara sekelilingnya. Bahan higroskopis akan melepaskan atau menyerap air untuk mencapai kadar air keseimbangan ini. Proses pengeringan dapat terjadi jika kondisi suhu dan kelembaban udara memungkinkan bahan melepaskan air agar tercapai kondisi keseimbangan.

Ada dua cara untuk mendapatkan kadar air keseimbangan, yaitu secara statis dan dinamis. Metoda statis dilakukan dengan cara meletakkan niji di dalam udara yang tekanan uapnya dikendalikan melalui larutan garam. Kesukaran utama dari metode ini adalah membutuhkan waktu yang lama, sehingga dapat menyebabkan tumbuhnya jamur, terutama pada RH tinggi, (Ridwan Thahir, 1986).

Brooker et al. (1974) dan Hall (1980) menyatakan bahwa ada dua kadar air keseimbangan, yaitu kadar air keseimbangan statis dan dan kadar air keseimbangan dinamis.

Menurut Henderson (1952) dan Henderson and Perry (1976), Kadar air keseimbangan statis merupakan fungsi dari kelembaban dan suhu dengan persamaan sebagai berikut:

$$1 - Rh = e^{-c T M e^n} \quad (24)$$

dimana c dan n adalah kontanta yang tergantung jenis komoditi. Harga c dan n untuk beberapa komoditi pertanian dapat dilihat pada **tabel 2**.

Tabel 2. Nilai konstanta c dan n beberapa komoditi pertanian (Hall, 1957).

Jenis	c	n
Jagung pipil	1.10×10^{-5}	1.90
Kedelai	3.20×10^{-5}	1.52
Sorgum	3.40×10^{-5}	2.31
Kapas	4.19×10^{-5}	1.52

Konstanta pengeringan adalah fungsi dari difusivitas bahan, dan merupakan penyederhanaan dalam memecahkan persamaan difusi. Banyak penelitian melaporkan bahwa konstanta pengeringan bervariasi terhadap suhu mengikuti persamaan Arrhenius (Brooker et al., 1974 dan Henderson & Pabis, 1961).

$$k = C_1 e^{-(C_2)/T} \quad (25)$$

dimana C_1 dan C_2 merupakan konstanta yang nilainya tergantung dari jenis biji-bijian.

IV. METODE PENELITIAN

A. Bahan Dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah biji kakao jenis Upper Amazon Hybrid (UAH) tanpa melalui pencucian. Biji kakao ini telah difermentasi selama 5 hari. Biji kakao ini diperoleh dari desa Layungsari, **PT. Inter Green Estate di Cianjur.**

Peralatan yang digunakan adalah alat pengering percobaan yaitu alat Refrigerated/Heated/Humidified Test Cabinet Model 500SB/+101U dari Weiss Teknik yang telah dimodifikasi yang diperlengkapi dengan sensor, timbangan digametic 6300 Seri No. 57757, 57754 Giber-tini, komputer Monochrome monitor Nytech seri No.NM-144 HHK dan Printer type LQ 1010 seri NO. OMYO 001738, oven, wadah metal, timbangan, beaker glass, pengaduk magnet, cawan dan penumbuk dari porselin, pH meter, desikator.

Prinsip kerja alat pengering percobaan adalah sebagai berikut: Udara luar dihembuskan oleh kipas ke ruang pengatur kelembaban. Udara ini diatur kelembabannya oleh alat pengatur kelembaban yang terdapat didalam ruang sirkulasi udara. Air disuplai secara kontinyu ke ruang pengatur kelembaban dengan suhu yang dikontrol oleh alat pemanas dan pendingin sesuai dengan suhu yang diinginkan. Udara selanjutnya dihembuskan oleh kipas melalui satu lapis biji kakao yang diletakkan pada kotak pengeringan.

B. Waktu Dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan pada bulan Juni sampai September 1993. Sedangkan pelaksanaan percobaan dilakukan di Laboratorium Teknologi Proses, PUSPIPTEK di Serpong.

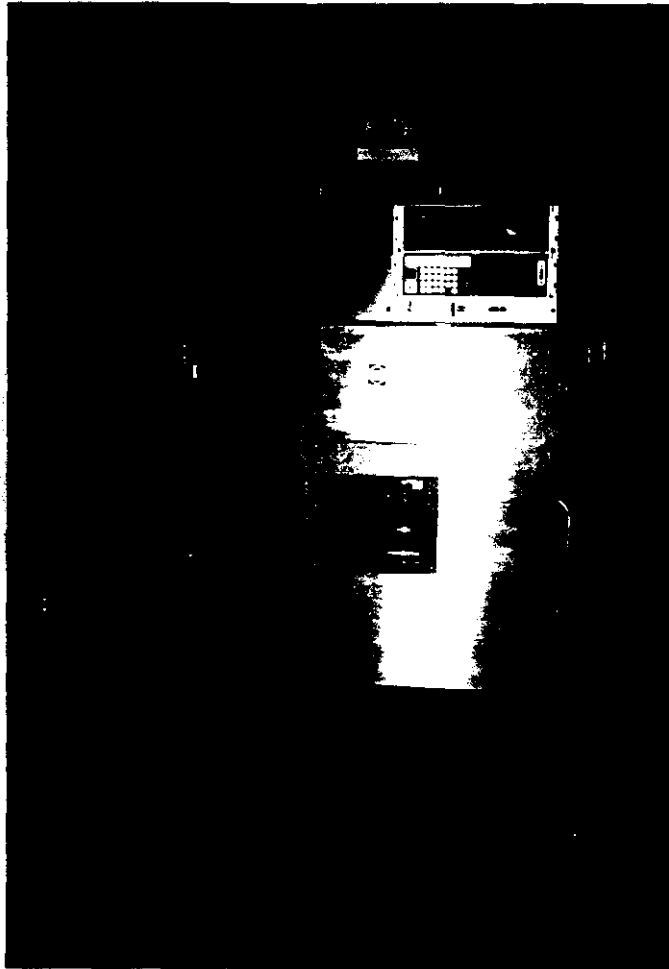
C. Pelaksanaan Percobaan

1. Pengolahan Biji Kakao

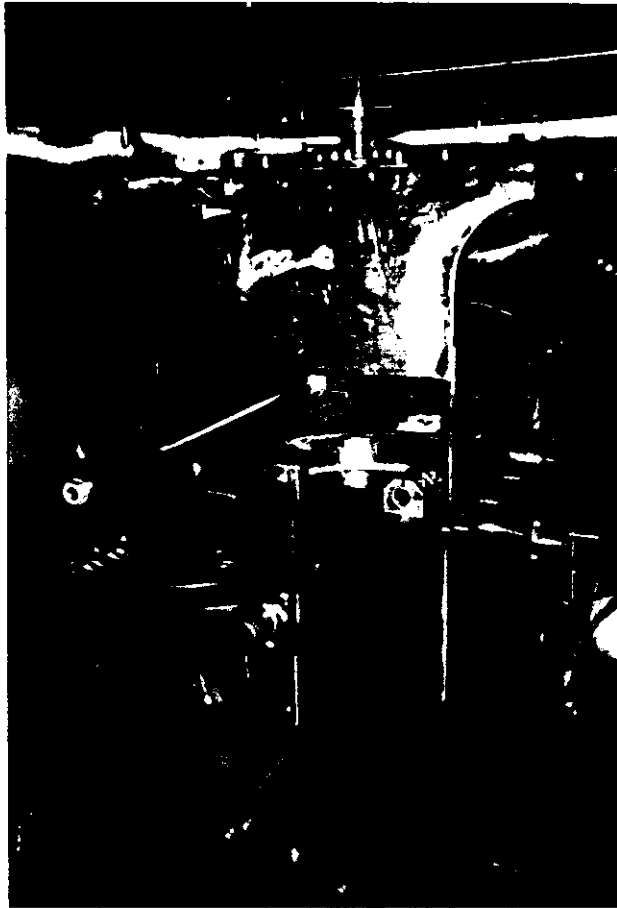
Buah kakao dengan rata-rata tingkat perubahan warna lebih dari 67%, dipetik, dan selanjutnya diperam selama 11 hari. Buah yang telah diperam dikupas dan dikeluarkan bijinya. Biji dipisahkan dari biji yang masih muda atau cacat. Biji-biji kakao tersebut selanjutnya difermentasikan dalam kotak fermentasi yang berukuran 80 cm x 80 cm x 50 cm selama 5 hari penuh, dibiarkan 2 hari, sekali dibalikkan dan dibiarkan 3 hari. Biji-biji hasil fermentasi dikeringkan dengan alat pengering percobaan.

2. Pengukuran Kadar Air Biji Kakao

Pengukuran kadar air biji kakao dilakukan secara tidak langsung. Dalam hal ini hanya kadar akhir pengeringan yang diukur, sedangkan perubahan kadar air selang pengukuran diketahui dengan cara penimbangan berat bahan. Penimbangan ini dilakukan dengan alat penimbang yang tersedia pada alat yang telah dimodifikasi.



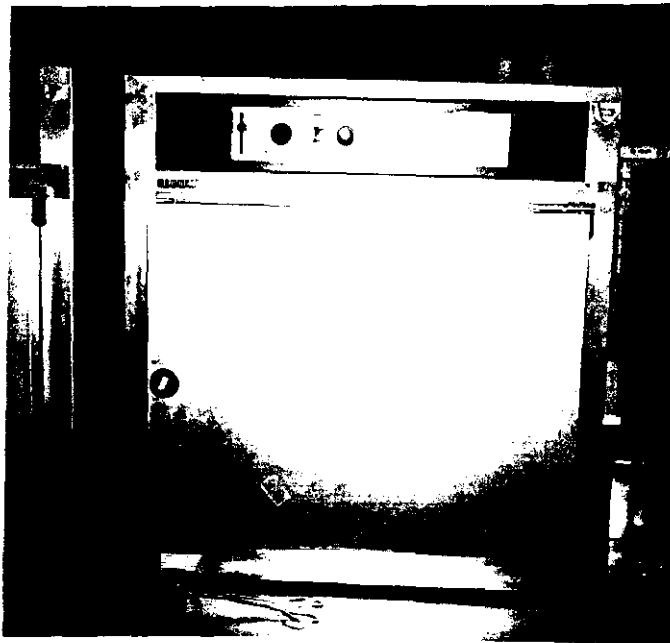
Gambar 2. Alat pengering percobaan.



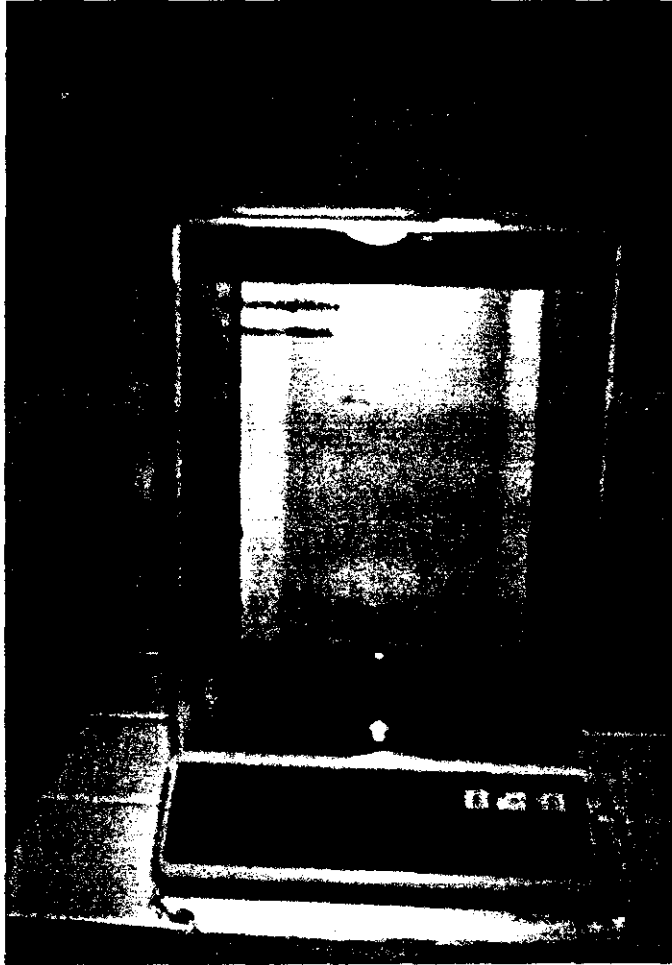
Gambar 3. Box pengeringan.



Gambar 4. Desikator.

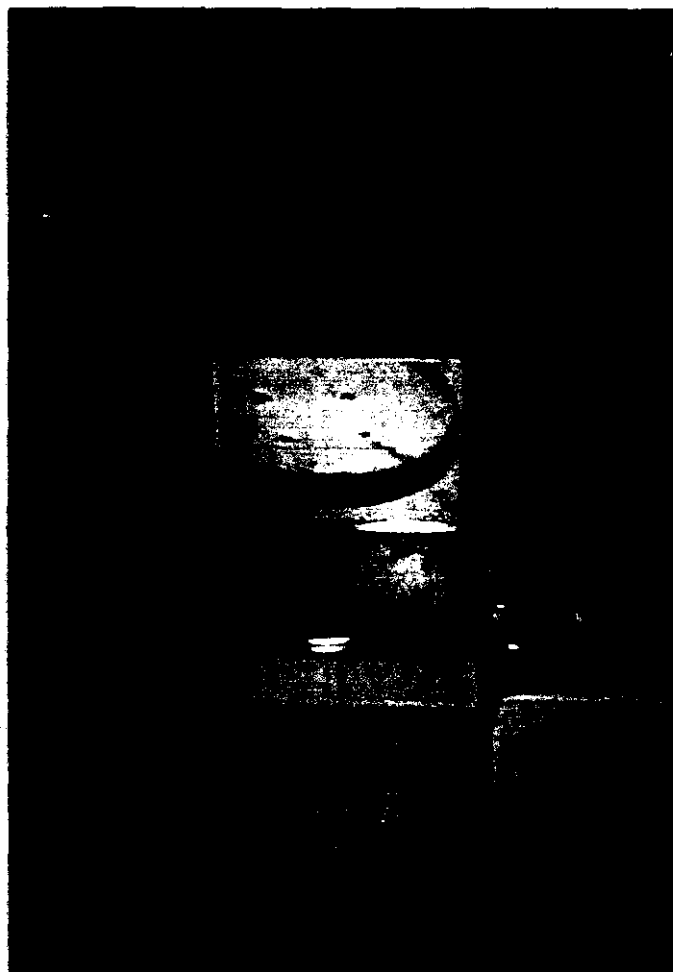


Gambar 5. Oven.



Gambar 6. Timbangan digital.





Gambar 7. Timbangan digital.

Penentuan kadar air ini dilakukan dengan cara yaitu sebagai berikut :

- biji kakao yang telah dikeringkan ditumbuk hingga halus bersama kulitnya.
- timbang kurang lebih 5 gram sampel, catat berat sesungguhnya.
- masukkan ke dalam oven dengan suhu 104°C selama 24 jam.
- ambil dari oven dan segera masukkan dalam desikator setelah itu ditimbang dengan teliti.
- Perhitungan kadar airnya sebagai berikut :

$$\text{KA} = \frac{(M_1 - M_2)}{(M_1 - M_0)} \times 100\%$$

dimana :

KA = kadar air biji kakao (% basis basah)

M_0 = berat cawan (gr)

M_1 = berat cawan dan biji kakao sebelum dimasukkan ke dalam oven (gr)

M_2 = berat cawan dan biji kakao setelah dimasukkan ke dalam oven (gr)

- Penentuan kadar air ini dilakukan dengan 2 kali ulangan.

3. Pengeringan

Pengeringan dilakukan dengan alat pengering percobaan (Experimental Drier). Satu lapis bahan

yang disusun pada wadah secara horizontal dikeringkan terus menerus sampai tercapai berat yang konstan.

Biji kakao yang telah difermentasi selama 5 hari, ditimbang beserta wadahnya dimana sebelumnya wadah pengering telah dicatat beratnya. Kemudian dimasukkan ke alat pengering dan selanjutnya dilakukan pengeringan. Pengeringan biji kakao ini dilakukan dengan empat taraf suhu dan RH yaitu 40°C, 50°C, 60°C, 70°C dan 80°C, dengan RH masing-masing adalah 43%, 23%, 16%, 10% dan 7% dengan kecepatan aliran udara 0.1 m/detik, untuk suhu 60°C dan RH 16% digunakan empat taraf kecepatan aliran udara yaitu 0.05 m/detik, 0.10 m/detik, 0.20 m/detik dan 0.60 m/detik.

4. Pengamatan Dan Pengukuran

Pada jam ke 00.00 dilakukan pengamatan dan pengukuran sebagai berikut :

- Relatif humiditi udara pengering dan lingkungan
- Suhu udara pengering dan lingkungan
- laju aliran udara pengering
- suhu biji yaitu dipusat dan permukaan biji
- Penimbangan berat bahan awal bahan dan wadahnya
- berat biji selama pengeringan

Selanjutnya dilakukan perlakuan yang sama untuk selang waktu setiap 10 menit sekali sampai berat

bahan konstan, kecuali berat awal bahan. Pada akhir pengeringan dilakukan penimbangan berat akhir bahan dan wadahnya dan pengukuran kadar air akhir bahan dengan metode oven.

5. Perhitungan Perubahan Kadar Air

Data hasil pengukuran selama pengeringan diolah untuk mengetahui karakteristik pengeringan lapisan tipis kakao.

Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$BC_o = (BT_o - BW) - ((BT_o - BT_z) - (BD_o - BD_z)) \quad (26)$$

$$BA = KAB \times BC_o / 100 \quad (27)$$

$$BC_i = BC_o - (BD_{(i-1)} - BD_i) \quad (28)$$

$$AH_i = BD_o - BD_i \quad (29)$$

$$KAB_i = (BA - AH_i) / (BB_o - AH_i) \times 100 \quad (30)$$

$$M_i = KAB_i / (100 - KAB_i) \times 100 \quad (31)$$

$$LP_i = (M_{(i-1)} - M_i) / (\theta_i - \theta_{(i-1)}) \quad (32)$$

Langkah diatas meliputi :

- a. menentukan berat awal bahan
- b. menentukan berat air awal bahan
- c. menentukan berat bahan ke-i
- d. menentukan jumlah air yang menguap ke-i
- e. menentukan kadar air basis basah ke-i
- f. menentukan kadar air basis kering ke-i
- g. menentukan laju pengeringan

D. Model Pendugaan

Berdasarkan anggapan bahwa lapisan tipis sebagai satu kesatuan dan pengeringan yang terjadi secara difusi mengikuti bentuk tertentu, maka pengeringan lapisan tipis biji kakao diduga dengan bentuk silinder tak terbatas dan bentuk bola.

Model pengeringan lapisan tipis kakao dinyatakan sebagai berikut :

a. Untuk model silinder tak hingga :

$$M = M_e + (M_o - M_e) \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4}{\tau_n^2} \exp(-\tau_n^2 K t / \pi^2)$$

b. Untuk model bola :

$$M = M_e + (M_o - M_e) \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp(-n^2 K t)$$

E. Perhitungan Nilai M_e dan K

Persamaan 18 dan 20 dari Whitaker and Young (1972) dapat dinyatakan dalam bentuk :

$$M_n = M_e + (M_o - M_e) U(X) = f(M_e, K) \quad (33)$$

dimana $U(X)$ adalah ruas kanan dari persamaan bentuk bola dan silinder tak terbatas. Indeks n menunjukkan perhitungan ke n . Parameter K dan M_e membentuk kombinasi non linier karena terdapat dua parameter yang tidak diketahui besarnya, yaitu M_e dan K pada tiap-tiap suku yang dibentuk oleh variabel bebas t .

Agar dapat diterapkan metode kuadrat terkecil untuk menghitung K dan Me dibentuk suatu persamaan untuk menduga deret Taylor (Haris, 1980) sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 fn(K + \Delta K, Me + \Delta Me) = & fn(K, Me) + K \frac{\delta fn(K, Me)}{\delta K} \\
 & + Me \frac{\delta fn(K, Me)}{\delta Me} \quad (34)
 \end{aligned}$$

Nilai Me dan K dapat ditentukan melalui perhitungan koefisien ΔMe dan ΔK dari persamaan (34). Metode **least square** atau kuadrat terkecil merupakan salah satu metoda yang baik (ketepatan tinggi) untuk menghitung Me dan K berdasarkan persyaratan (Stoeker, 1971).

Syarat Jumlah kuadrat terkecil adalah :

$$F(K+\Delta K, Me+\Delta Me) = | Mn - fn(K+\Delta K, Me+\Delta Me) |^2 \quad (35)$$

dimana Mn = kadar air yang terukur ke-n berdasarkan percobaan, % basis basah

fn = fungsi perhitungan nilai Me dan K

Persamaan (35) akan minimum bila turunan parsialnya terhadap K dan Me sama dengan nol, yaitu :

$$\frac{\delta (Mn - fn(K+\Delta K, Me+\Delta Me))}{\delta \Delta K} = \frac{\delta (Mn - fn(K+\Delta K, Me+\Delta Me))}{\delta \Delta Me} \quad (36)$$

Turunan parsial dari persamaan (35) dan (36) akan menghasilkan dua persamaan simultan seperti terlihat dalam persamaan berikut :

$$\begin{aligned}
 \Delta K & \sum_{n=1}^1 \left[\left[\frac{\delta f_n (K, Me)}{\delta K} \right] \left[\frac{\delta f_n (K, Me)}{\delta Me} \right] \right] \\
 & + \Delta Me \sum_{n=1}^1 \left[\frac{\delta f_n (K, Me)}{\delta Me} \right]^2 \\
 & = \sum_{n=1}^1 \left[M_n - f_n (K, Me) \right] \frac{\delta f_n (K, Me)}{\delta Me} \quad (37)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta K & \sum_{n=1}^1 \left[\frac{\delta f_n (K, Me)}{\delta K} \right]^2 + \Delta Me \sum_{n=1}^1 \left[\left[\frac{\delta f_n (K, Me)}{\delta K} \right] \right. \\
 & \quad \left. \times \left[\frac{\delta f_n (K, Me)}{\delta Me} \right] \right] \\
 & = \sum_{n=1}^1 \left[M_n - f_n (K, Me) \right] \frac{\delta f_n (K, Me)}{\delta K} \quad (38)
 \end{aligned}$$

Proses penurunan K dan Me berdasarkan dugaan sementara adalah sebagai berikut :

Untuk model silinder tak hingga :

$$\frac{\delta f (Me, K)}{\delta Me} = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4}{\tau_n^2} \exp(-\tau_n^2 K t / \pi^2) \quad (39)$$

$$\frac{\delta f (Me, K)}{\delta K} = -(Mo - Me) \frac{4}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} t \exp(-\tau_n^2 K t / \pi^2) \quad (40)$$

Untuk model bola :

$$\frac{\delta f (Me, K)}{\delta Me} = 1 - \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp(-n^2 K t) \quad (41)$$

$$\frac{\delta f (Me, K)}{\delta K} = -(Mo - Me) \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} t \exp(-n^2 K t) \quad (42)$$

Untuk menyelesaikan persamaan (37) dan (38) dapat digunakan metode penyapuan matriks **Gauss Jordan**. Agar perhitungan dengan metode penyapuan matriks **Gauss Jordan** dapat dilaksanakan maka persamaan (33) harus diberi nilai dugaan K_0 dan Me_0 . Bila nilai dugaan tepat, maka nilai ΔK dan ΔMe akan segera homogen ke nol. Apabila nilai $\Delta K/K_0$ dan $\Delta Me/Me_0$ masih lebih besar dari pada 5×10^{-6} maka diberi nilai dugaan K_0 dan Me_0 yang baru, yaitu :

$$K_0 \text{ baru} = \Delta K + K_0 \text{ lama}$$

$$Me_0 \text{ baru} = \Delta Me + Me_0 \text{ lama}$$

Bila nilai $\Delta K/K_0$ dan $\Delta Me/Me_0$ sudah lebih kecil dari 5×10^{-6} maka perhitungan dihentikan dan nilai $K = K_0$ dan $Me = Me_0$.

Perhitungan nilai Me dan K dilakukan dengan mempergunakan program komputer bahasa BASIC (Lampiran 17) yang dikembangkan dari program komputer yang disusun oleh Aluisius Arisubagijo (1990) untuk pengeringan lapisan tipis biji kakao. **Gambar 9** menunjukkan bagan alir program komputer.

F. Uji Keabsahan Model

Nilai Me dan K hasil perhitungan akan digunakan untuk mencari besarnya kadar air tiap satuan waktu tertentu dengan model yang menentukannya. Dari perhitungan ini dihasilkan nilai dugaan model.

Untuk mengetahui keabsahan model yang digunakan maka dilakukan uji keabsahan dengan cara uji *t-student*.

Nilai Me dan K yang didapat dari perhitungan akan diregresikan berdasarkan anggapan bahwa K mengikuti persamaan archenius dengan kurva exponential. Sedangkan Me dipengaruhi oleh perbedaan tekanan uap didalam dan diluar bahan dengan kurva persamaan polinomial pangkat 2.

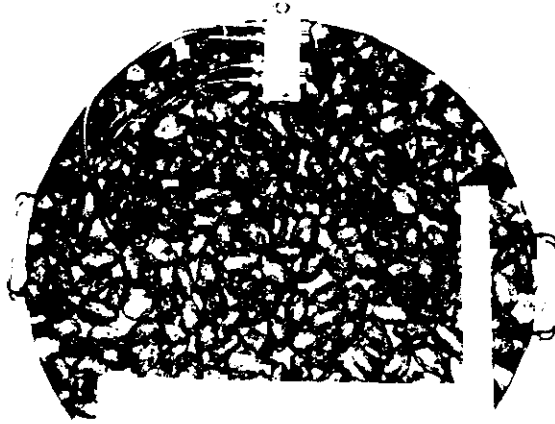
Koefisien korelasi keduanya dicari dengan rumus :

$$r^2 = \frac{\Sigma(Ya - Yb)^2}{\Sigma(Y - Yb)^2}$$

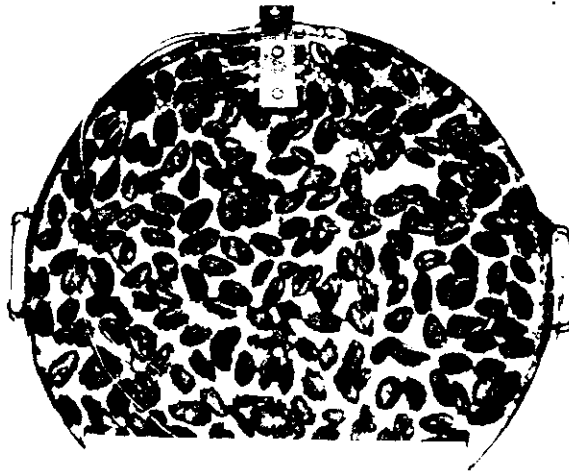
dimana : Ya = data perhitungan

Y = data percobaan

Yb = rata-rata dari data percobaan

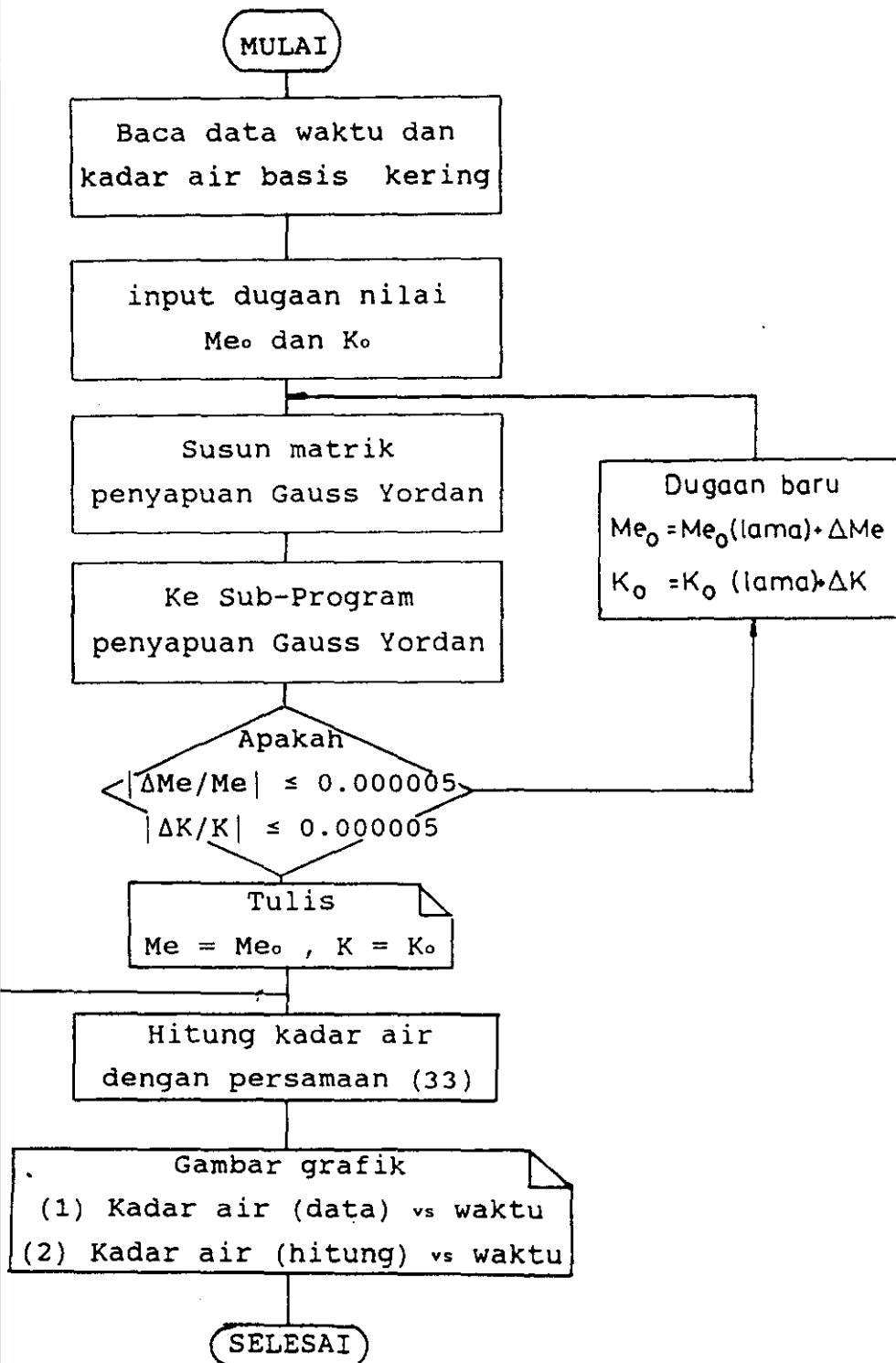


a. biji sebelum dikeringkan.



b. biji sesudah dikeringkan.

Gambar 8. Biji kakao sebelum dan sesudah dikeringkan.



LOTUS 123

Gambar 9. Diagram alir program perhitungan Me dan K (Paulus Widya Adi, 1991).

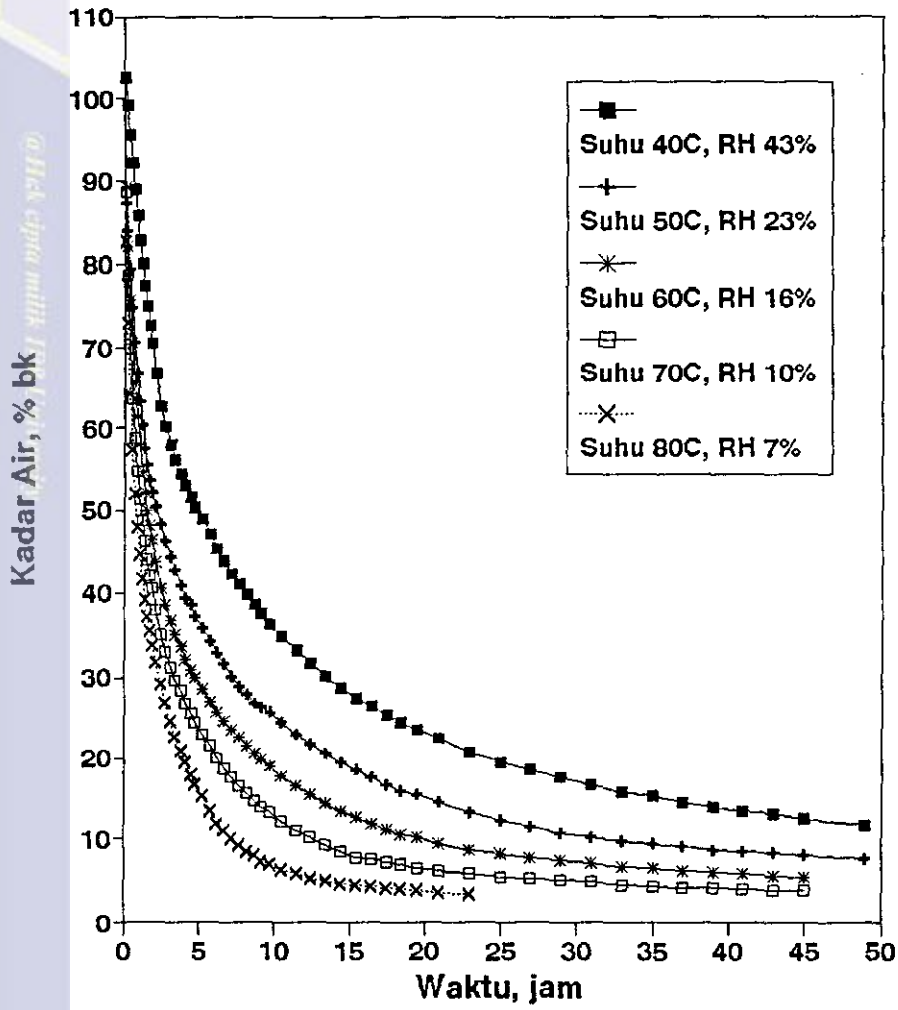
V. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel Lampiran 2 sampai **9**, memperlihatkan hasil pengeringan lapisan tipis biji kakao. Dari data yang diperoleh dibuat gambar berbentuk kurva seperti terlihat pada **Gambar 10** sampai **15**. Kurva ini merupakan gambaran dari sifat-sifat karakteristik pengeringan lapisan tipis biji kakao pada kondisi udara pengeringan tertentu.

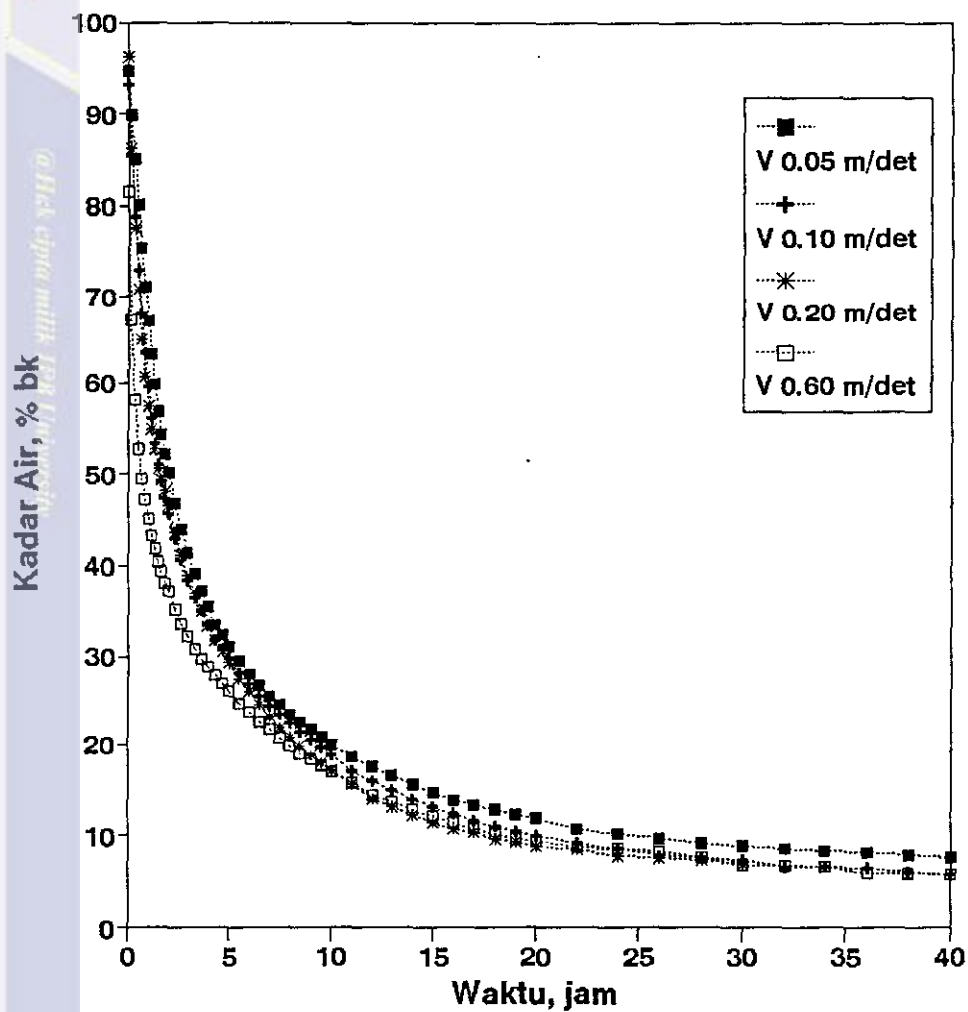
1. Perubahan Kadar Air Terhadap Waktu

Kurva penurunan kadar air biji kakao selama pengeringan pada kondisi suhu 40, 50, 60, 60, 70 dan 80°C dan RH masing-masing 43, 23, 16, 50, 10, dan 7 % dengan kecepatan aliran udara konstan sebesar 0.1 m/det dapat dilihat pada **Gambar 10**. Sedangkan **Gambar 11** memperlihatkan kurva penurunan kadar air biji kakao selama pengeringan pada suhu 60°C dan RH 16 % dengan empat macam perlakuan kecepatan aliran udara pengeringan, yaitu : 0.05 m/det, 0.1 m/det, 0.2 m/det, dan 0.6 m/det.

Dari kurva tersebut terlihat bahwa penurunan kadar air terhadap waktu mempunyai pola yang sama, yaitu bentuk eksponensial. Penurunan kadar air terjadi sangat menyolok pada awal pengeringan, kemudian turun perlahan-lahan sampai perubahan kadar air mendekati nol. Keadaan ini menunjukkan bahwa kadar air biji kakao akan turun terus menerus



Gambar 10. Kurva penurunan kadar air biji kakao terhadap waktu pada kec. aliran udara 0.1 m/det.



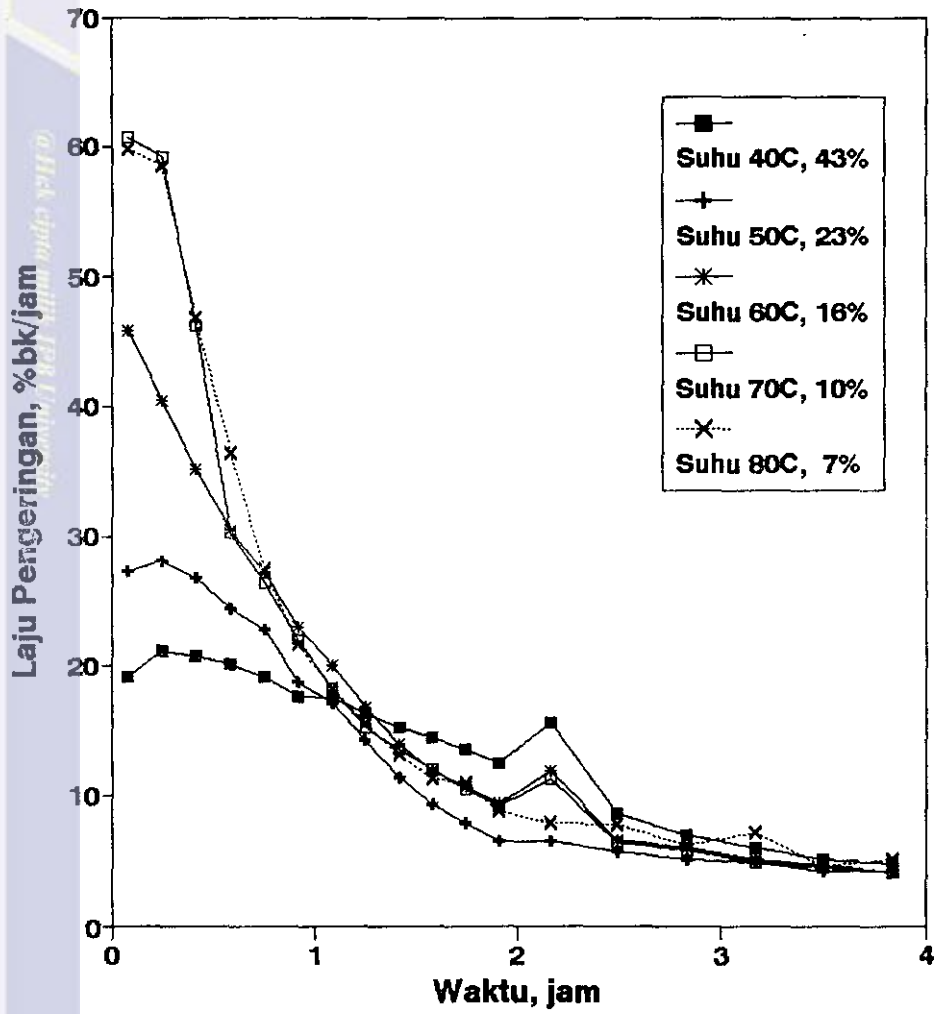
Gambar 11. Kurva penurunan kadar air biji kakao terhadap waktu pada suhu 60 °C dan RH 16% dengan empat macam kec. aliran udara pengering.

sampai tercapai kadar air keseimbangan dimana laju uap air yang dilepaskan ke udara pengeringan sama dengan jumlah uap air yang diserap oleh biji kakao. Dari bentuk kurva, terlihat juga bahwa ada tahap penurunan kadar air, yaitu tahap penurunan cepat, yang berlangsung pada awal proses pengeringan, tahap penurunan kadar air lambat, yaitu pada saat kurva penurunan mulai landai dan terakhir tahap penurunan kadar air sangat lambat, yang terjadi pada saat perubahan kadar air sangat kecil (kurang dari 1% bk).

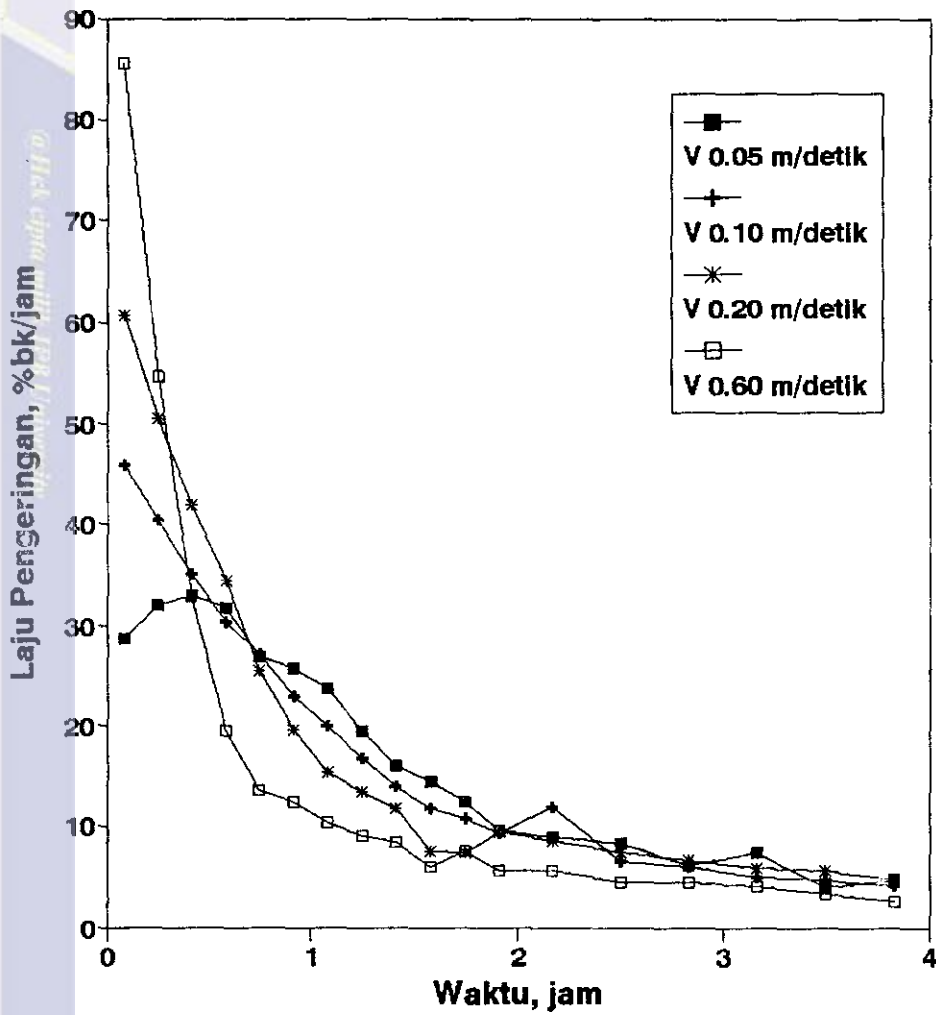
Gambar 10 juga memperlihatkan bahwa pada tingkat suhu udara pengeringan yang berbeda terjadi penurunan kadar air yang berbeda pula. Penurunan kadar air pada suhu tinggi lebih cepat dibandingkan pada suhu rendah dalam waktu yang sama. Dari hasil percobaan dapat disimpulkan bahwa makin tinggi suhu pengeringan, maka waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kadar air 6-8% bk (6-7% bb) akan semakin singkat. Untuk suhu 80°C tercapai dalam waktu 8-11 jam, 16-20 jam untuk suhu 70°C, 28-35 jam untuk suhu 60°C, lebih dari 70 jam untuk suhu 50°C, dan lebih dari 100 jam untuk suhu 40°C.

2. Perubahan Laju Pengeringan Terhadap Waktu

Gambar 12 dan **13** menunjukkan kurva laju pengeringan terhadap waktu pada berbagai kondisi



Gambar 12. Kurva laju penurunan terhadap waktu pada kecepatan aliran udara 0.1 m/detik.



Gambar 13. Kurva laju penurunan terhadap waktu pada suhu 60°C dan RH 16% dengan empat taraf kecepatan aliran udara.

udara pengeringan. Pada awal pengeringan, laju pengeringan cukup tinggi, kemudian diikuti dengan laju pengeringan yang semakin merendah dalam jangka waktu yang relatif lama.

Pada awal pengeringan, masa air masih banyak terdapat di daerah sekitar permukaan bahan. Proses penguapan akan berlangsung cepat karena air tersebut mudah menguap bila bahan tersebut dipanaskan. Namun pada tahap selanjutnya laju pengeringan semakin menurun karena pada tahap ini terjadi proses difusivitas, dimana terjadi proses perpindahan massa air dari dalam bahan ke permukaan bahan, baru selanjutnya terjadi penguapan air dari permukaan bahan ke medium pengering, sehingga waktu yang dibutuhkan untuk proses penguapan massa air lebih lama dibandingkan proses diawal pengeringan.

Proses perpindahan massa air dari dalam bahan ke permukaan bahan disebabkan oleh perbedaan tekanan uap antara medium pengeringan dengan bahan yang dikeringkan. Perpindahan atau migrasi air dari tempat yang bertekanan uap tinggi ketempat yang bertekanan uap rendah adalah sebanding dengan selisih tekanan uapnya (Hall, 1957).

Semakin lama waktu pengeringan maka laju pengeringan akan semakin kecil karena jarak perjalanan massa air dari dalam bahan berbanding lurus



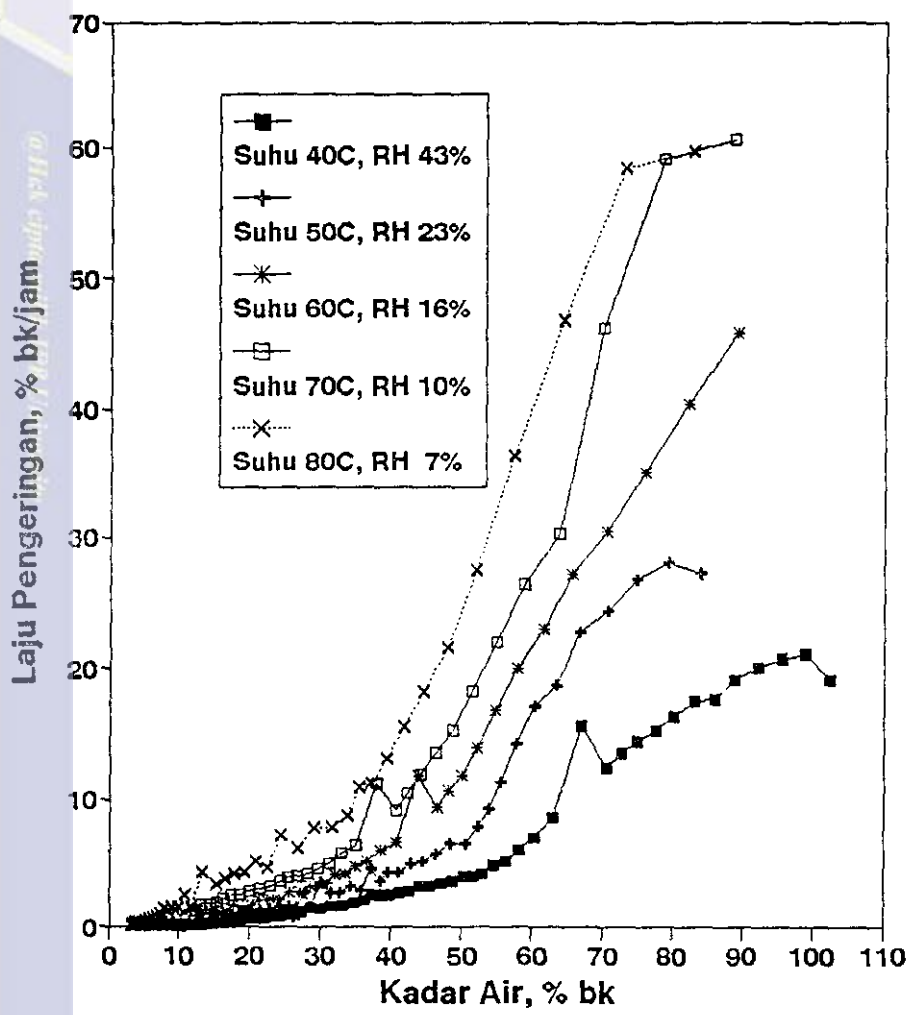
dengan lamanya waktu. Proses perpindahan massa air dari dalam bahan terjadi lapis per lapis, karena semakin jauh jarak ditempuh, maka semakin lama waktu yang diperlukan supaya massa air tersebut sampai ke permukaan bahan.

Pada **Gambar 12** dan **13** terlihat pula bahwa pada suhu yang tinggi, RH rendah, berlangsung laju pengeringan yang besar pada awal pengeringan yang kemudian segera berubah menjadi kecil. Sebaliknya pada pengeringan suhu rendah, RH tinggi, laju pengeringan lebih rendah pada awal pengeringan, tetapi laju pengeringan tersebut tidak turun secara tajam dan pada suatu saat laju tersebut akan lebih tinggi dari laju pengeringan suhu yang lebih tinggi. Hal seperti ini terjadi karena pada waktu yang sama, konsentrasi air didalam bahan yang dikeringkan dengan suhu tinggi selalu lebih kecil dari bahan yang dikeringkan pada suhu rendah, sehingga ikatan air bahan makin kuat, selisih tekanan uap semakin kecil akibatnya penguapan berlangsung makin sulit. Rata-rata laju pengeringan pada suhu 40°C , 50°C , 60°C , 70°C dan 80°C masing-masing sebesar 5.32% bk/jam, 5.52% bk/jam, 8.12% bk/jam, 10.51% bk/jam dan 13.68% bk/jam.

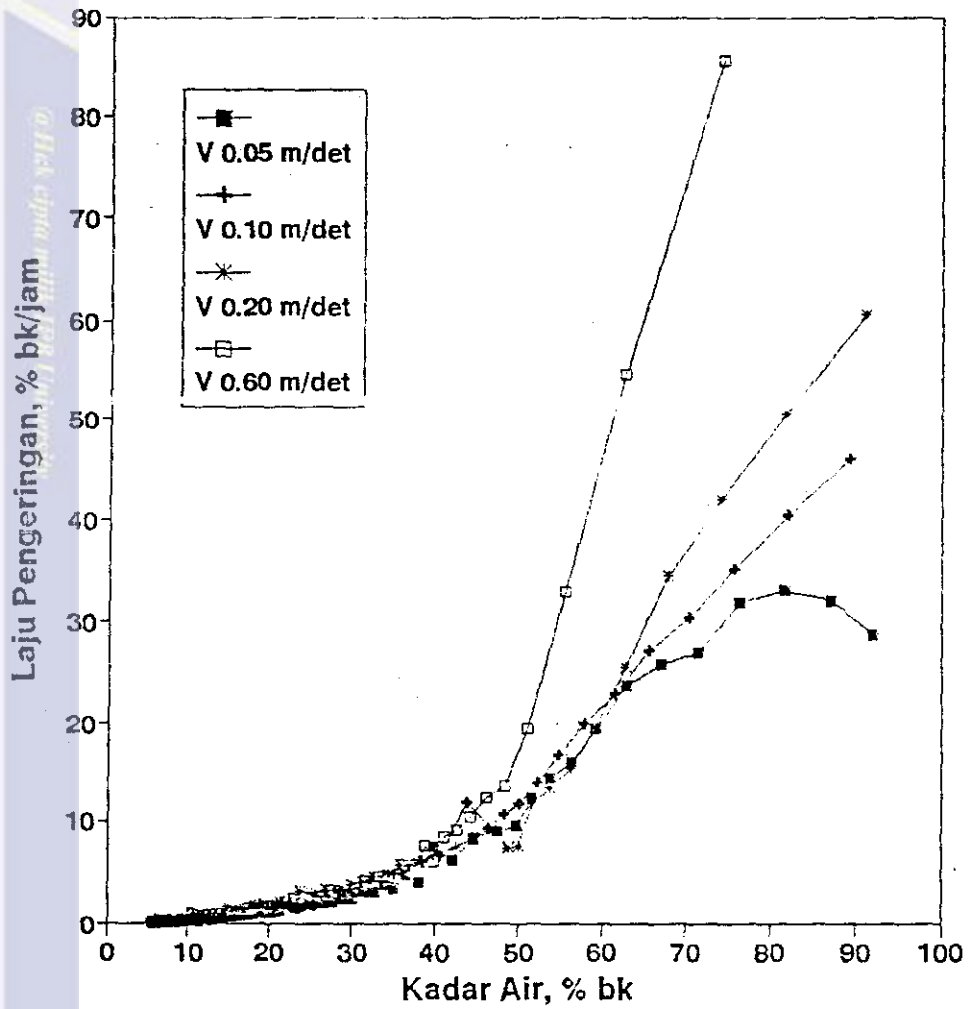
3. Perubahan Laju Pengeringan Terhadap Kadar Air

Gambar 14 dan **15** memperlihatkan penurunan laju pengeringan terhadap kadar air bahan pada berbagai macam kondisi udara pengeringan. Dari gambar tersebut terlihat bahwa laju pengeringan menurun





Gambar 14. Kurva penurunan laju pengeringan terhadap kadar air biji pada kec. aliran udara 0.1 m/det.



Gambar 15. Kurva penurunan laju pengeringan terhadap kadar air biji pada suhu 60°C dan RH 16% dengan empat macam kec. aliran udara.

cepat terjadi pada kadar air diatas 50 % bk, yang diikuti dengan laju pengeringan lambat pada kadar air antara 25-50% bk dan selanjutnya diikuti penurunan laju pengeringan yang sangat lambat.

Pada percobaan pengeringan ini, periode pemanasan dan periode pengeringan tetap yang sangat cepat terlihat pada pengeringan suhu rendah yaitu suhu 40°C dan 50°C. Sedangkan pada suhu yang lebih tinggi, periode pemanasan dan periode laju pengeringan tetap tidak terlihat dengan jelas. Periode yang terlihat dengan jelas adalah periode laju pengeringan menurun. Hal ini disebabkan biji kakao yang dikeringkan tidak mempunyai kadar air yang cukup tinggi sehingga tidak terdapat air bebas yang melingkupi permukaan biji sebelum dikeringkan.

Henderson and Perry (1976) menyatakan laju pengeringan konstan berlangsung cepat dan dapat diabaikan. Lebih lanjut dikatakan bahwa untuk menyebabkan terjadinya laju pengeringan konstan perlu adanya air bebas yang cukup besar yang menyelimuti seluruh permukaan bahan yang akan dikeringkan. Sedangkan Thahir et al. 1988, menyatakan pula bahwa pada biji-bijian, laju pengeringan konstan berjalan dengan singkat, sehingga dapat diabaikan. Laju pengeringan konstan pada produk biologis terjadi pada awal pengeringan dengan kadar



air diatas 70 % bb, sedangkan kadar air pada percobaan ini masih jauh dibawah kondisi diatas.

Semakin tinggi suhu udara pengeringan semakin jelas terlihat peralihan dari tiap tahap laju pengeringan menurun. Hal ini disebabkan semakin tinggi suhu semakin besar perbedaan tekanan uap air di dalam dan diluar bahan, sehingga semakin mempercepat keluarnya uap air dari dalam bahan, dengan demikian mempercepat laju pengeringan yang terjadi.

B. Model Persamaan Kadar Air Keseimbangan

Kadar air keseimbangan adalah kadar air terendah yang dapat dicapai atau dipertahankan pada kondisi suhu dan RH tertentu. Kadar air keseimbangan ini terjadi bila laju uap air yang dilepaskan ke udara lingkungannya sama dengan jumlah uap air yang diserap oleh bahan. Nilai kadar air keseimbangan (M_e) berguna untuk mengetahui karakteristik pengeringan biji-bijian maupun hasil pertanian lainnya (Brooker et al., 1974, Henderson and Perry, 1976).

Pada penelitian ini, kadar air keseimbangan dinamis (M_e) biji kakao dihitung berdasarkan data penurunan kadar air biji selama pengeringan pada tingkat suhu 40, 50, 60, 70 dan 80°C dan RH 43, 23, 50, 16, 10 dan 7 % dengan kecepatan aliran udara 0.1

m/det, suhu 60°C dan RH 16 % pada empat macam perlakuan kecepatan aliran udara yaitu: 0.05, 0.1, 0.2, 0.6 m/det.

Bagian utama dari program perhitungan Me adalah menyusun matrik Me dan Koefisien pengeringan K berdasarkan persamaan pergerakan air dalam bahan dengan bentuk geometris silinder tak hingga dan Bola. Program perhitungan ini dikembangkan berdasarkan metode kuadrat terkecil non linier dan perhitungan dilakukan dengan menggunakan komputer. Prosedur perhitungan dapat dilihat pada **Gambar 9** dan **Lampiran 17**. Nilai-nilai Me hasil perhitungan pada masing-masing kondisi udara pengering tertera pada **Tabel 3** dan **4**.

Tabel 3. Kadar air keseimbangan dinamis biji kakao pada kecepatan aliran udara 0.1 m/det.

Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	RH (%)	Kadar Air Keseimbangan (%bk)	
		Model STT	Model Bola
40	43	9.7691	9.3571
50	23	7.0089	6.7725
60	16	7.1280	6.7685
70	10	5.0101	4.7713
80	7	3.8982	3.5673

Tabel 4. Kadar air keseimbangan dinamis biji kakao pada suhu konstan 60°C dan RH 16%.

Kec. udara pengering (m/detik)	Kadar Air Keseimbangan (%bk)	
	Model STH	Model Bola
0.05	9.5394	9.0840
0.10	7.1280	6.7685
0.20	8.0064	7.4576
0.60	7.0387	6.7699

Kadar air keseimbangan juga berhubungan erat dengan tekanan di dalam bahan pangan. Pada kadar air tertentu, tiap bahan mempunyai karakteristik uapnya. Bila tekanan uap di dalam bahan lebih besar dari udara lingkungan, maka akan terjadi desorpsi uap ke udara. Bila nilai tekanan uap di dalam bahan lebih kecil, maka akan terjadi hal sebaliknya (Paulus Widya Adi, 1991).

Nishiyama (1982), menyatakan bahwa kadar air keseimbangan (Me) dapat dinyatakan sebagai fungsi dari selisih tekanan uap jenuh adiabatik dan tekanan uap air udara, yaitu :

$$Me = f(p, P) \quad (43)$$

dimana tekanan uap air (P) sebanding dengan selisih suhu bola kering dan suhu bola basah, sehingga Me dapat dinyatakan sebagai fungsi dari selisih suhu bola

kering dan bola basah, seperti pada persamaan berikut ini :

$$Me = f(T_{db} - T_{wb}) \quad (44)$$

Supriyono (1989) menyatakan bahwa Me diduga merupakan suatu fungsi dari polinomial pangkat dua dari $(T_{db} - T_{wb})$, maka model penduga Me adalah sebagai berikut:

$$Me = A1 + A2.Z + A3.Z^2 \quad (45)$$

dimana Z = selisih suhu bola basah dan bola kering.

Dari nilai-nilai Me pada **Tabel 3**, didapat persamaan regresi untuk biji kakao berdasarkan model silinder tak hingga dan bola pada kecepatan aliran udara 0.1 m/detik sebagai berikut :

a. model silinder tak hingga :

$$Me_s = 12.1087 - 0.2354 Z + 0.0011 Z^2 \quad (46)$$

untuk $11.5 \leq Z \leq 43.5$, dimana $r^2 = 0.95$

b. model bola :

$$Me_{bola} = 11.5213 - 0.2148 Z + 0.0008 Z^2 \quad (47)$$

untuk $11.5 \leq Z \leq 43.5$, dimana $r^2 = 0.96$

Perbedaan nilai Me model silinder tak hingga pada **persamaan 46** dengan **persamaan 3** yang disusun oleh Zulkifli M. Manurung untuk selang RH 7% sampai 53% berkisar antara 0.22% bk sampai 3.74% bk. Sedangkan perbedaan nilai Me model bola pada persamaan 47 dengan persamaan 4 berkisar antara 0.45% bk sampai 3.35% bk.

Perbedaan nilai Me model silinder tak hingga (persamaan 46) dengan **persamaan 4** untuk kondisi suhu

40°C, 50°C, 60°C, 70°C dan 80°C dengan RH masing-masing 53%, 23%, 16%, 10% dan 7% berkisar antara 0.22% bk sampai 1.17% bk. Sedangkan untuk model bola (persamaan 47) berkisar antara 0.02% bk sampai 0.88% bk.

Aluisius Subagijo (1990) menyatakan untuk mendapatkan nilai M_e yang sebenarnya, maka perlu dilakukan pengeringan lapisan tipis biji kakao sampai tercapai keadaan tidak terjadi perubahan berat pada biji dalam waktu selang 24 jam.

C. Model Persamaan Koefisien Pengeringan, K

Koefisien pengeringan, K merupakan paduan unsur-unsur difusivitas dan bentuk geometris dari benda. Oleh karena itu nilai koefisien pengeringan, K berbeda untuk setiap model pengeringan lapisan tipis. Sehingga nilai koefisien pengeringan, K hanya akan berlaku pada model persamaan tertentu dan tidak dapat digunakan pada model persamaan pengeringan yang berbeda. Disamping itu, koefisien pengeringan, K hanya berlaku pada selang suhu tertentu.

Pada penelitian ini, koefisien pengeringan, K untuk model silinder tak hingga dan bola ditentukan berdasarkan data penurunan kadar air biji kakao pada tingkat suhu 40, 50, 60, 70 dan 80°C dan RH 43, 23, 50, 16, 10 dan 7 % dengan kecepatan aliran udara pengering 0.1 m/det, suhu 60 dan RH 16% dengan empat macam perlakuan kecepatan aliran udara yaitu: 0.05, 0.1, 0.2 dan 0.6 m/det.

Penentuan koefisien pengeringan, K dilakukan secara simultan dengan nilai Me berdasarkan model penduga Silinder tak hingga dan bola dari Whitaker and Young. Prosedur penentuan nilai koefisien pengeringan, K dapat dilihat pada **Gambar 9** dan pada **Lampiran 17**. Nilai-nilai koefisien pengeringan, K hasil perhitungan pada masing-masing kondisi suhu udara pengering 40°C , 50°C , 60°C , 70°C dan 80°C dan RH masing-masing 43%, 23%, 16%, 10% dan 7% pada kecepatan aliran udara 0.1 m/detik dapat dilihat pada **Tabel 5**. Sedangkan nilai-nilai koefisien pengeringan, K pada kondisi udara pengeringan 60°C dan RH 16% dengan empat macam perlakuan suhu yaitu 0.05 m/detik, 0.10 m/detik, 0.20 m/detik, dan 0.60 m/detik dapat dilihat pada **Tabel 6**.

Tabel 5. Nilai koefisien pengeringan, K berdasarkan model silinder tak hingga dan bola pada kecepatan aliran udara 0.1 m/det.

Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	RH (%)	Koefisien pengeringan (1/jam)	
		Model STH	Model Bola
40	43	0.1428	0.0732
50	23	0.1903	0.0981
60	16	0.3069	0.1575
70	10	0.3974	0.2053
80	7	0.5514	0.2841

Henderson and Perry (1976), beranggapan bahwa pada pengeringan lapisan tipis tahanan dalam pergera-

kan uap air di dalam bahan lebih besar jika dibandingkan dengan tahanan pindah panas pada permukaan bahan sehingga laju aliran udara pada bahan tidak akan berpengaruh pada waktu pengeringan atau koefisien pengeringan K . Disamping itu Henderson and Pabis (1961) berpendapat bahwa nilai koefisien pengeringan K hanya dipengaruhi oleh suhu mutlak udara pengering.

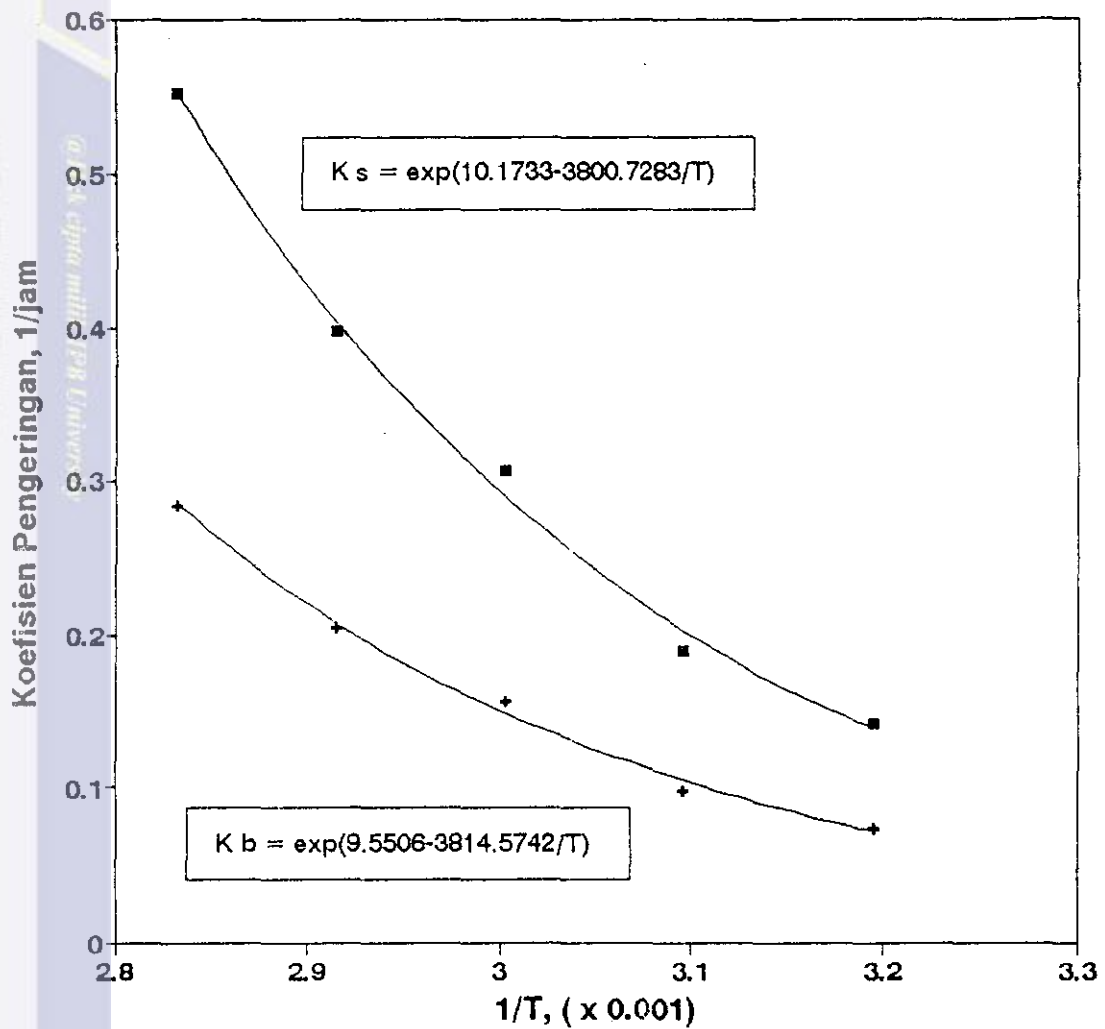
Hubungan antara nilai koefisien pengeringan K dengan suhu mutlak udara pengering dapat diduga dengan model persamaan matematik yang mirip dengan persamaan Arrhenius (persamaan 21). Dalam Penelitian ini dipakai persamaan regresi K yang digunakan oleh Tahir (1982), Supriyono (1989) dan Aluisius Arisubagijo (1990), yaitu :

$$K = \exp(C1 - C2/T) \quad (48)$$

Tabel 6. Nilai koefisien pengeringan biji kakao pada berbagai variasi kecepatan aliran udara.

Suhu (°C)	RH (%)	Variasi (m/det)	Koefisien pengeringan(1/jam)	
			Model STH	Model Bola
60	16	0.05	0.2853	0.1453
60	16	0.10	0.3069	0.1575
60	16	0.20	0.3590	0.1831
60	16	0.60	0.3137	0.1633

Berdasarkan persamaan 40 serta **Tabel 5**, nilai koefisien pengeringan, K untuk model silinder tak



Gambar 17. Kurva koefisien pengeringan, K terhadap suhu udara pengering.

hingga adalah sebagai berikut:

$$K_S = \exp (10.1733 - 3800.7283/T) \quad (49)$$

dengan nilai r^2 untuk regresi ini adalah 0.99

Sedangkan nilai koefisien pengeringan K untuk model bola adalah sebagai berikut :

$$K_{\text{bola}} = \exp(9.5506 - 3814.5742/T) \quad (50)$$

dengan nilai $r^2 = 0.99$

Pada **persamaan 48** dan **49**, T adalah suhu mutlak udara pengering ($^{\circ}\text{K}$).

Nilai-nilai koefisien pengeringan, K pada **persamaan 49** dan **50** berlaku untuk selang suhu antara 313°K sampai 353°K . Kurva persamaan regresi koefisien pengeringan K terhadap suhu udara pengering dapat dilihat pada **Gambar 16**.

Perbedaan nilai koefisien pengeringan, K pada **persamaan 49** untuk model silinder tak hingga dan **persamaan 50** untuk model bola terhadap nilai K dari persamaan yang telah disusun Aluisius Arisubagijo (persamaan 5 dan 6) untuk selang suhu antara 323.4°K sampai 337.4°K , masing-masing sebesar 0.09-0.37/jam dan 0.04-0.18/jam.

Dari **Tabel 3** dan **Gambar 16** dapat disimpulkan bahwa nilai koefisien pengeringan, K meningkat dengan meningkatnya suhu udara pengering. Menurut Choirul Anwar (1987), difusivitas masa dari bahan akan meningkat dengan meningkatkannya suhu. Karena konstanta pengeringan menggambarkan unsur difusivitas masa dari bahan, maka bisa dimengerti bila konstanta pengeringan

akan meningkat dengan meningkatnya suhu udara pengering.

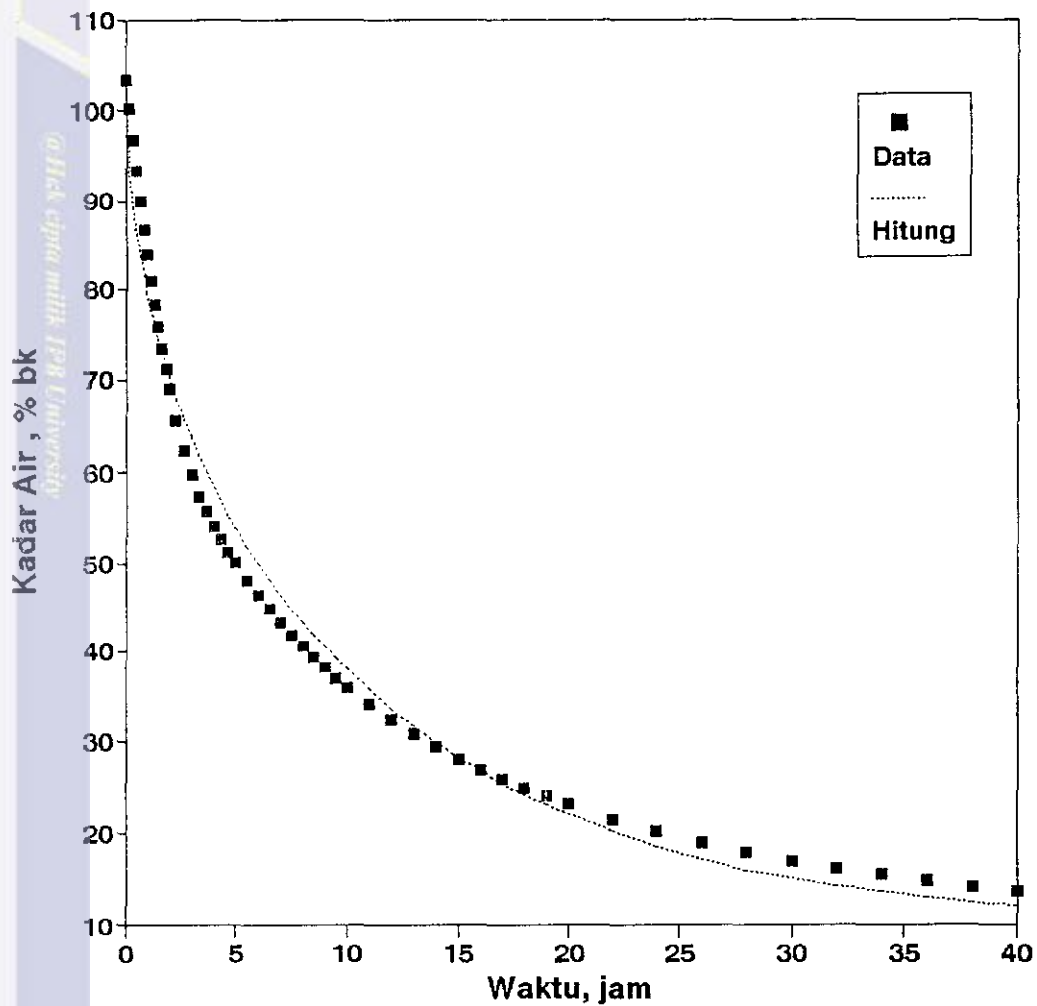
D. Evaluasi Model Pengeringan Lapisan Tipis

Untuk mengetahui sampai sejauh mana ketepatan model dalam menggambarkan penampilan pengeringan lapisan tipis biji kakao sesuai dengan keadaan yang sebenarnya, maka dilakukan perbandingan antara kurva pengeringan dari model dan dari data percobaan.

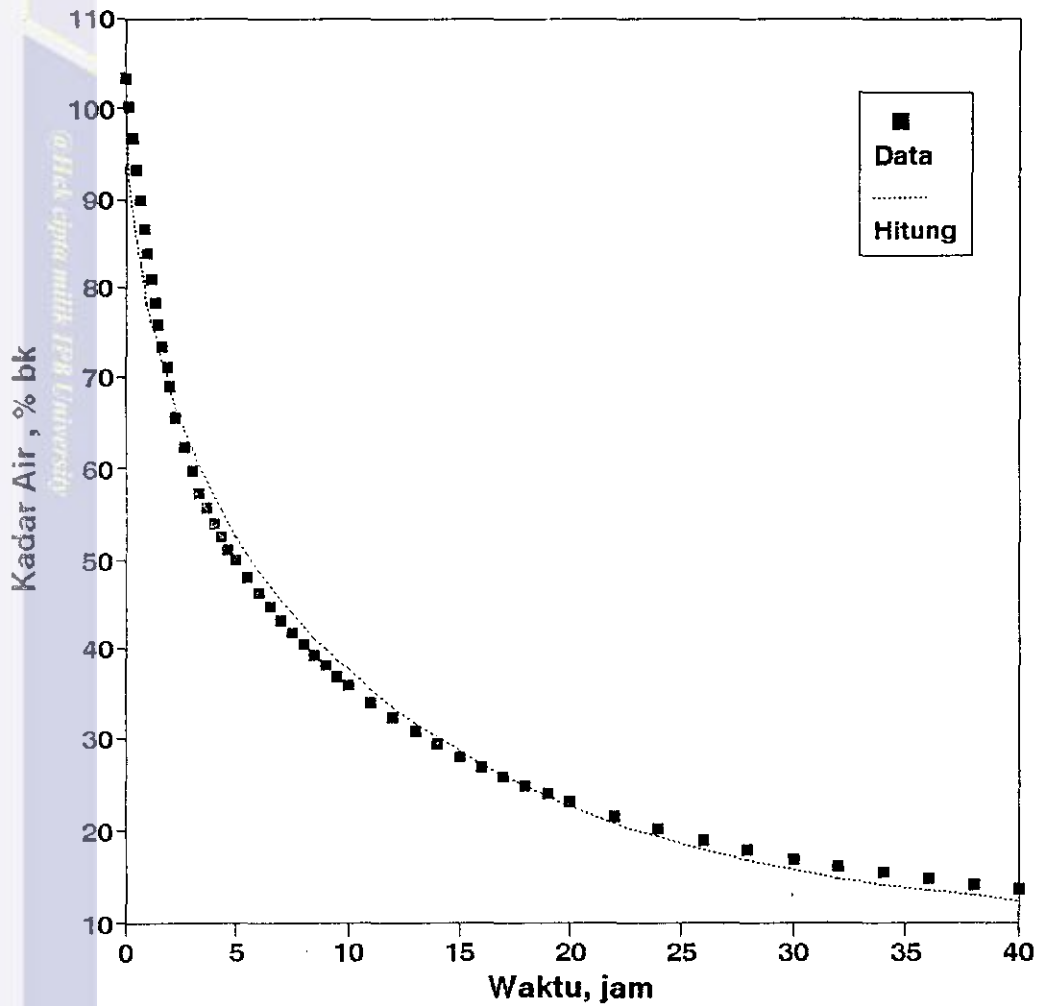
Perbandingan antara kurva pengeringan dari model dan dari data percobaan dapat dilihat pada **Gambar 17** sampai **26**. Kurva dari model menggambarkan dugaan perubahan kadar air selama pengeringan. Nilai kadar air yang dihitung dalam basis kering.

Gambar 17 dan **18** menunjukkan perbandingan antara nilai kadar air dari data percobaan dan nilai kadar air dari model silinder tak hingga dan bola pada suhu udara pengering 40°C dan RH 43%. Pada awal pengeringan model silinder tak hingga menduga nilai kadar air lebih rendah dari nilai data percobaan. Keadaan ini berlangsung sampai kadar air biji kakao mencapai 71% basis kering (bk) atau setelah pengeringan berlangsung selama 1,75 jam. Pada selang waktu ini, model menduga nilai kadar air lebih rendah nilai sebenarnya dengan perbedaan 0-8% bk.

Setelah keadaan tersebut model menduga nilai kadar air lebih tinggi daripada nilai percobaan. Keadaan ini berlangsung sampai kadar air biji mencapai



Gambar 17. Kurva pengeringan lapisan tipis biji kakao dari data percobaan dan model silinder tak hingga pada suhu 40°C dan $R_h 53\%$ dengan kecepatan aliran udara 0.1 m/detik .

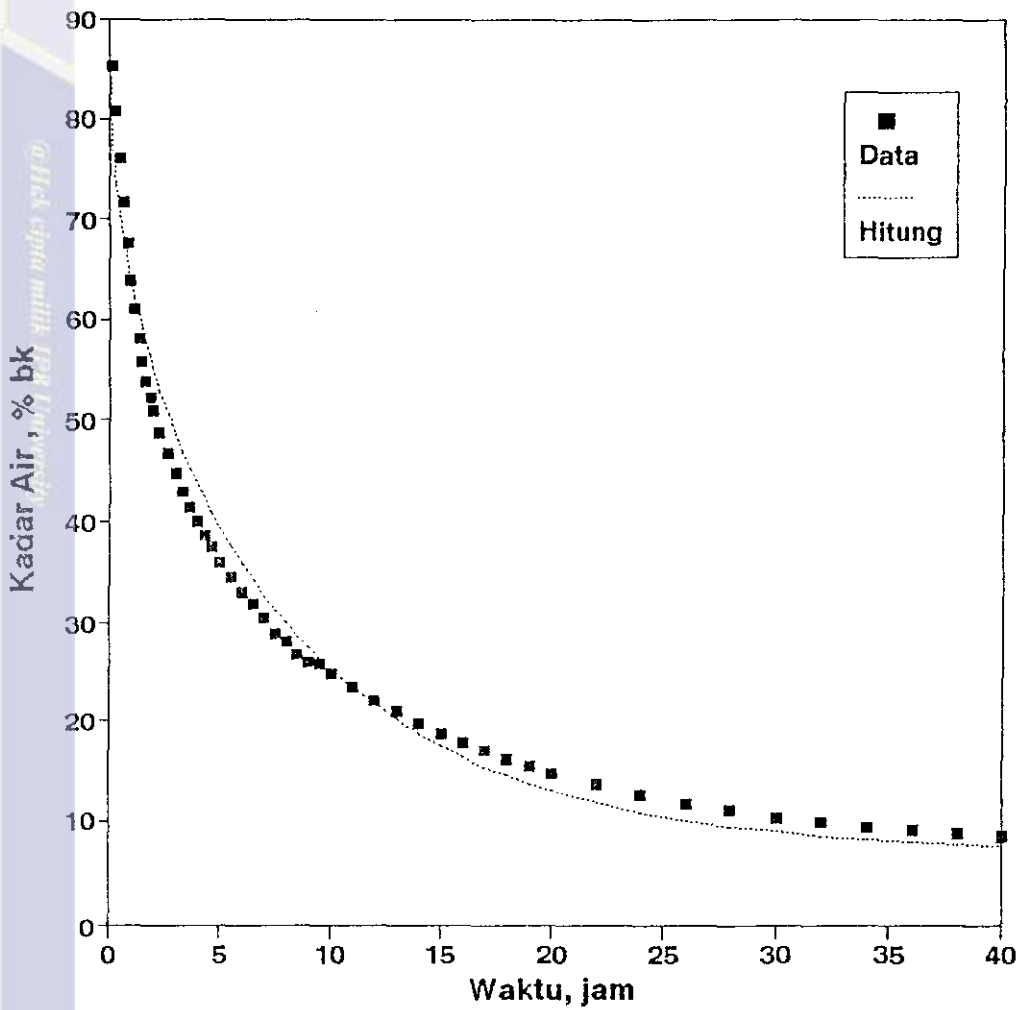


Gambar 18. Kurva pengeringan lapisan tipis biji kakao dari data percobaan dan model bola pada suhu 40°C dan R_h 53% dengan kecepatan aliran udara 0.1 m/detik.

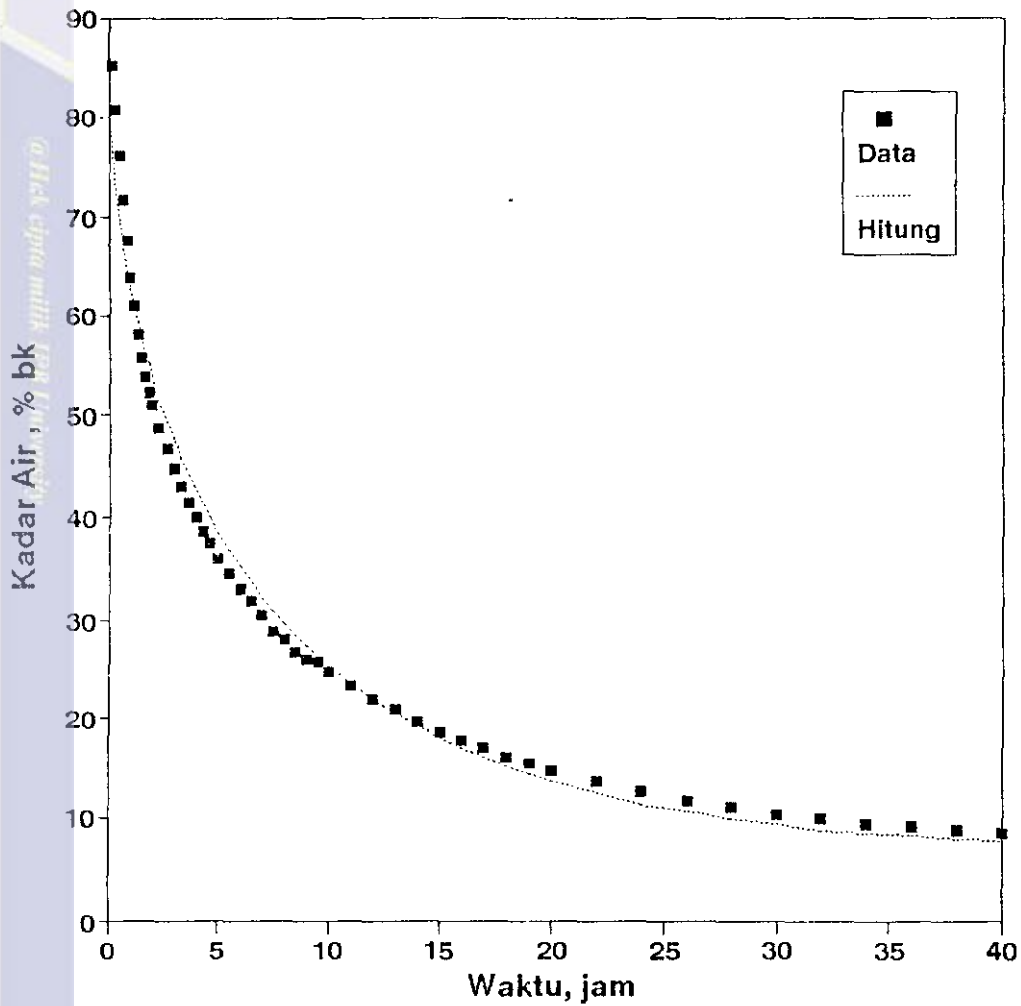
27% bk atau setelah pengeringan berlangsung selama 1,75-15,5 jam. Model menduga kadar air lebih tinggi dari nilai sebenarnya dengan perbedaan 0-5% bk. Setelah kadar air mencapai 27% bk model menduga nilai kadar air biji kakao lebih rendah dengan perbedaan 0-5% bk.

Dari **Gambar 18** terlihat bahwa pada awal pengeringan model menduga nilai kadar air lebih rendah daripada nilai data percobaan dengan perbedaan 0-9% bk. Keadaan ini berlangsung sampai kadar air biji mencapai 67% bk atau saat pengeringan telah berlangsung selama 2.1 jam. Kemudian model menduga nilai kadar air lebih tinggi dengan perbedaan 0-3% bk atau saat pengeringan telah berlangsung selama 17.5 jam. Dan selanjutnya model menduga nilai kadar air dengan baik sampai akhir pengeringan dengan perbedaan 0-1% bk.

Gambar 19 dan **20** menunjukkan perbandingan antara nilai kadar air dari data percobaan dan nilai kadar air dugaan dari model silinder tak hingga dan bola pada suhu udara pengeringan 50°C dan RH 23%. Dari **Gambar 19** terlihat bahwa pada awal pengeringan model silinder tak hingga menduga nilai kadar air lebih rendah dari nilai percobaan. Keadaan tersebut berlangsung terus sampai kadar air biji mencapai 63 % bk atau setelah pengeringan berlangsung sekitar 1 jam.



Gambar 19. Kurva pengeringan lapisan tipis biji kakao dari data percobaan dan model silinder tak hingga pada suhu 50°C dan RH 23% dengan kecepatan aliran udara 0.1 m/detik.



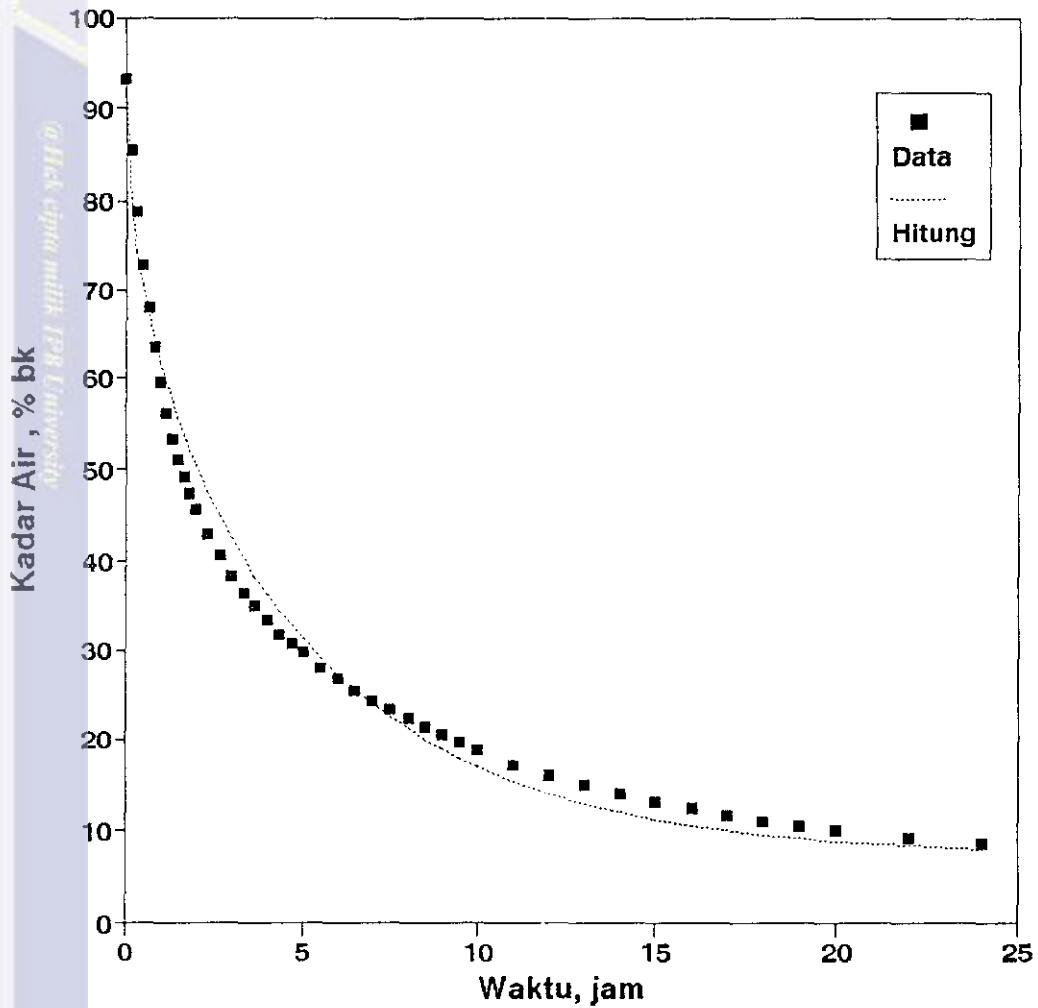
Gambar 20. Kurva pengeringan lapisan tipis biji kakao dari data percobaan dan model bola pada suhu 50°C dan RH 23% dengan kecepatan aliran udara 0.1 m/detik.

Pada selang waktu ini model menduga nilai kadar air lebih rendah dari pada keadaan sebenarnya dengan perbedaan 0-8% bk. Selanjutnya model menduga nilai kadar air biji lebih tinggi daripada nilai percobaan. Keadaan ini berlangsung sampai kadar air biji mencapai 23% bk atau setelah pengeringan berlangsung antara 1-11 jam. Beda maksimum antara nilai kadar air percobaan dan dugaan adalah 4% bk. Dan setelah keadaan tersebut, model dapat menduga kadar air biji akao lebih baik dengan perbedaan 0-2% bk sampai akhir pengeringan.

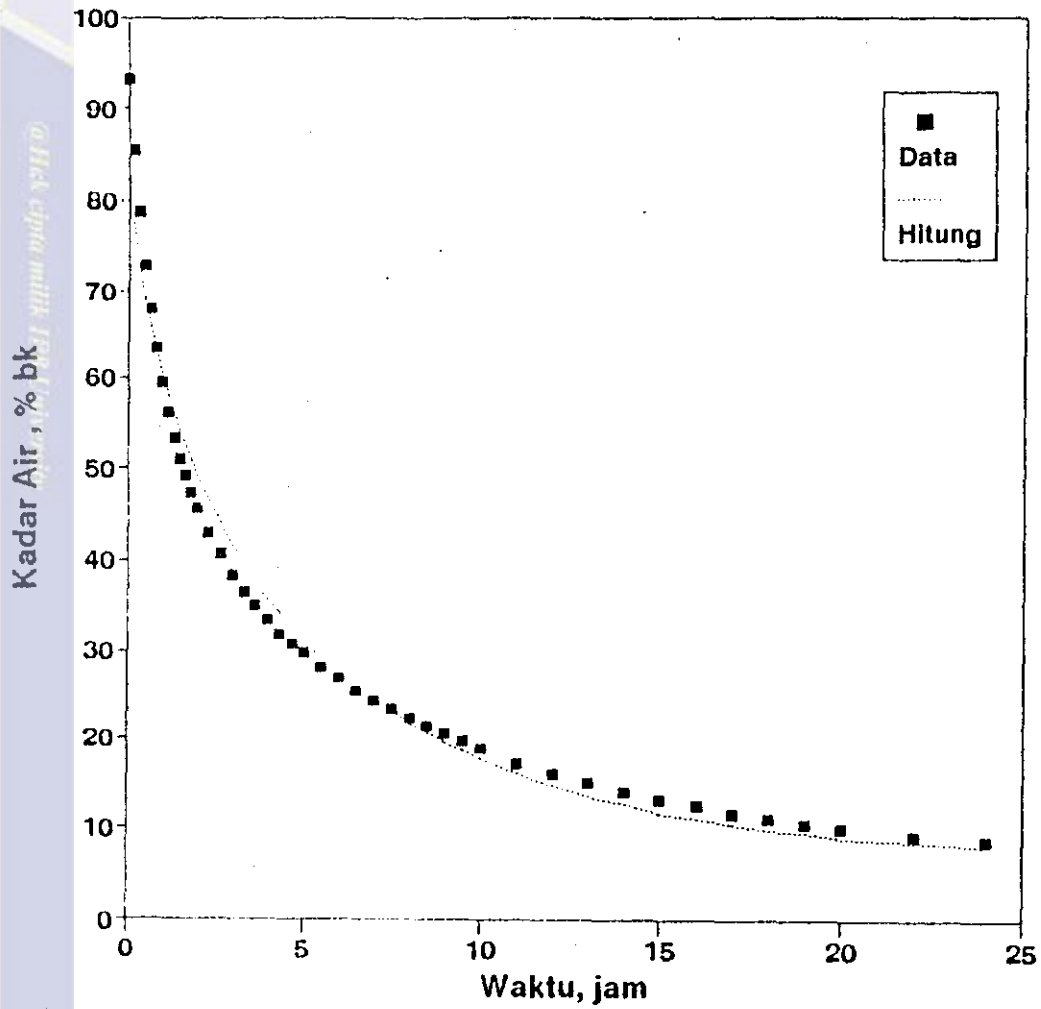
Dari **Gambar 20** terlihat bahwa selama 1.1 jam pertama model bola menduga nilai kadar air lebih rendah dari nilai percobaan hingga kadar air 68% bk dengan perbedaan maksimum 9% bk. Selanjutnya kadar air pendugaan lebih tinggi dari nilai percobaan sampai kadar air biji mencapai 22 % bk atau setelah pengeringan berlangsung antara 1.1-12 jam. Perbedaan maksimum antara nilai pendugaan dengan nilai kadar air percobaan adalah sebesar 3% bk.

Setelah keadaan tersebut, model menduga nilai kadar air lebih rendah dari nilai data percobaan hingga akhir pengeringan. Perbedaan kadar air berkisar antara 0-1.5% bk.

Gambar 21 dan **22** menunjukkan perbandingan antara nilai kadar air dari percobaan dengan nilai kadar air



Gambar 21. Kurva pengeringan lapisan tipis biji kakao dari data percobaan dan model silinder tak hingga pada suhu 60°C dan RH 16% dengan kecepatan aliran udara 0.1 m/detik.



Gambar 22. Kurva pengeringan lapisan tipis biji kakao dari data percobaan dan model bola pada suhu 60°C dan RH 16% dengan kecepatan aliran udara 0.1 m/detik.

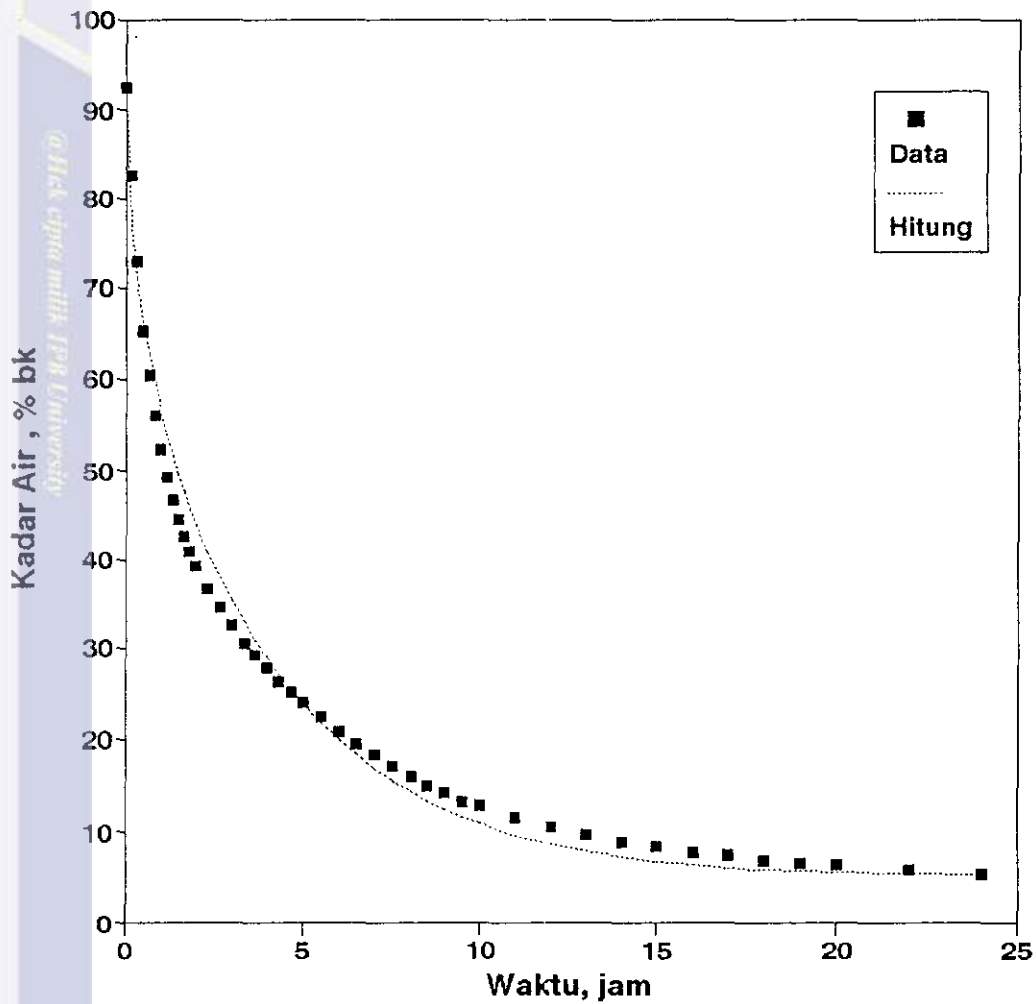
model silinder tak hingga dan bola pada suhu 60°C dan RH 16% dengan kecepatan aliran udara 0.1 m/det. Dari gambar terlihat bahwa model silinder tak hingga menduga nilai kadar air lebih rendah dari nilai data percobaan dengan perbedaan 0-6% bk sampai kadar air biji yang dikeringkan mencapai 65% bk atau setelah pengeringan berlangsung selama 45 menit.

Setelah keadaan tersebut, model menduga nilai kadar air lebih tinggi sebesar 0-4.7 % bk hingga kadar air biji yang dikeringkan mencapai 25% bk atau setelah pengeringan berlangsung selama 6.5 jam. Kemudian model menduga nilai kadar air lebih rendah dari data percobaan dengan perbedaan sebesar 0-2% bk hingga akhir pengeringan.

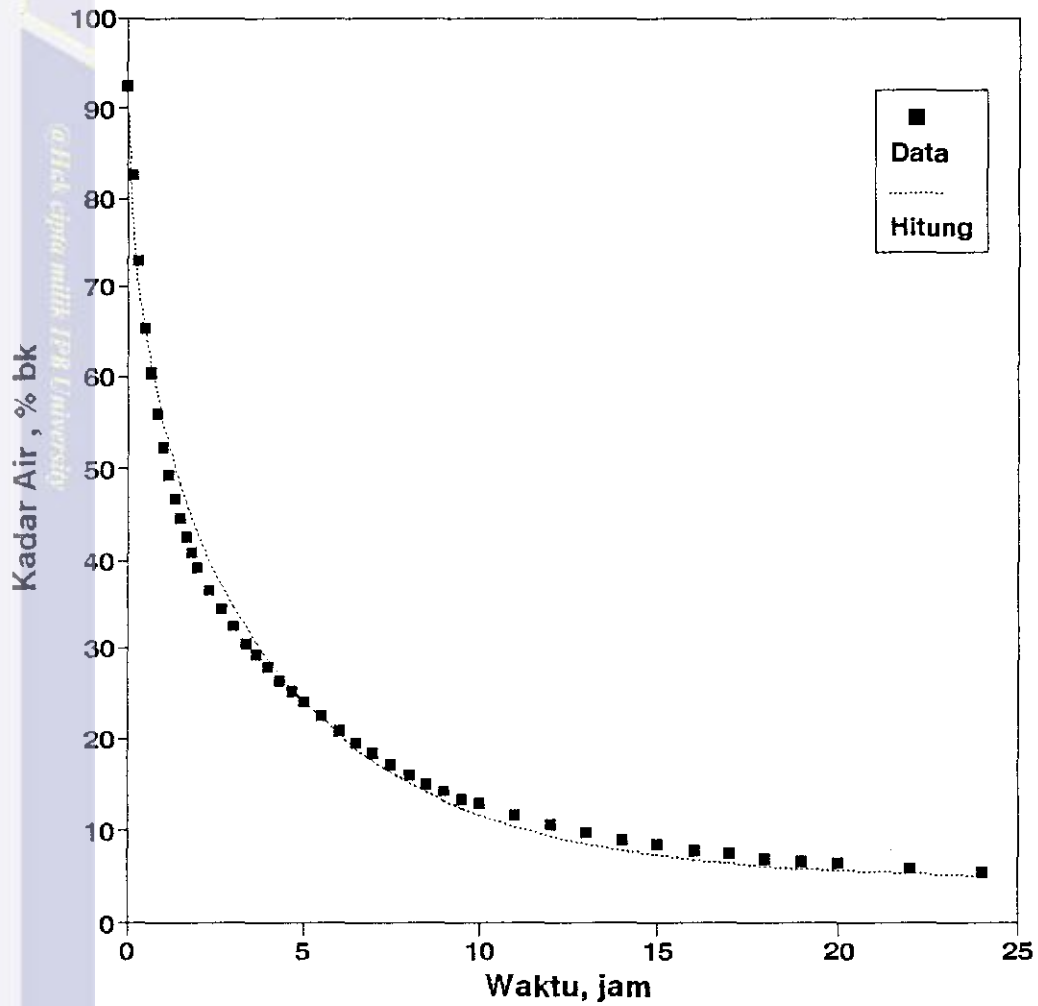
Dari **Gambar 22** terlihat bahwa dari awal pengeringan sampai 1 jam pertama atau sampai kadar air mencapai 61% bk model bola menduga nilai kadar air lebih rendah 0-9.5% bk daripada data percobaan. Kemudian model menduga lebih tinggi 0-3.5% bk daripada nilai kadar air percobaan. Keadaan ini berlangsung sampai kadar air biji mencapai 24.5% bk atau setelah pengeringan berlangsung selama 7 jam.

Setelah keadaan tersebut, model menduga nilai kadar air lebih rendah dari nilai data percobaan dengan perbedaan 0-1.4% bk.

Gambar 23 dan **24** menunjukkan kurva perbandingan antara nilai kadar air dari data percobaan dengan



Gambar 23. Kurva pengeringan lapisan tipis biji kakao dari data percobaan dan model silinder tak hingga pada suhu 70°C dan RH 10% dengan kecepatan aliran udara 0.1 m/detik.



Gambar 24. Kurva pengeringan lapisan tipis biji kakao dari data percobaan dan model bola pada suhu 70°C dan RH 10% dengan kecepatan aliran udara 0.1 m/detik.

nilai kadar air dari model silinder tak hingga dan bola pada suhu 70°C dan RH 10% dengan kecepatan aliran udara 0.1 m/det. Dari **Gambar 23**, nilai kadar air dugaan model lebih rendah dari nilai percobaan samapai kadar air biji mencapai 64% bk atau setelah pengeringan berlangsung selama 35 menit. Perbedaan nilai kadar air dugaan dengan data percobaan adalah sebesar 0-5.6% bk.

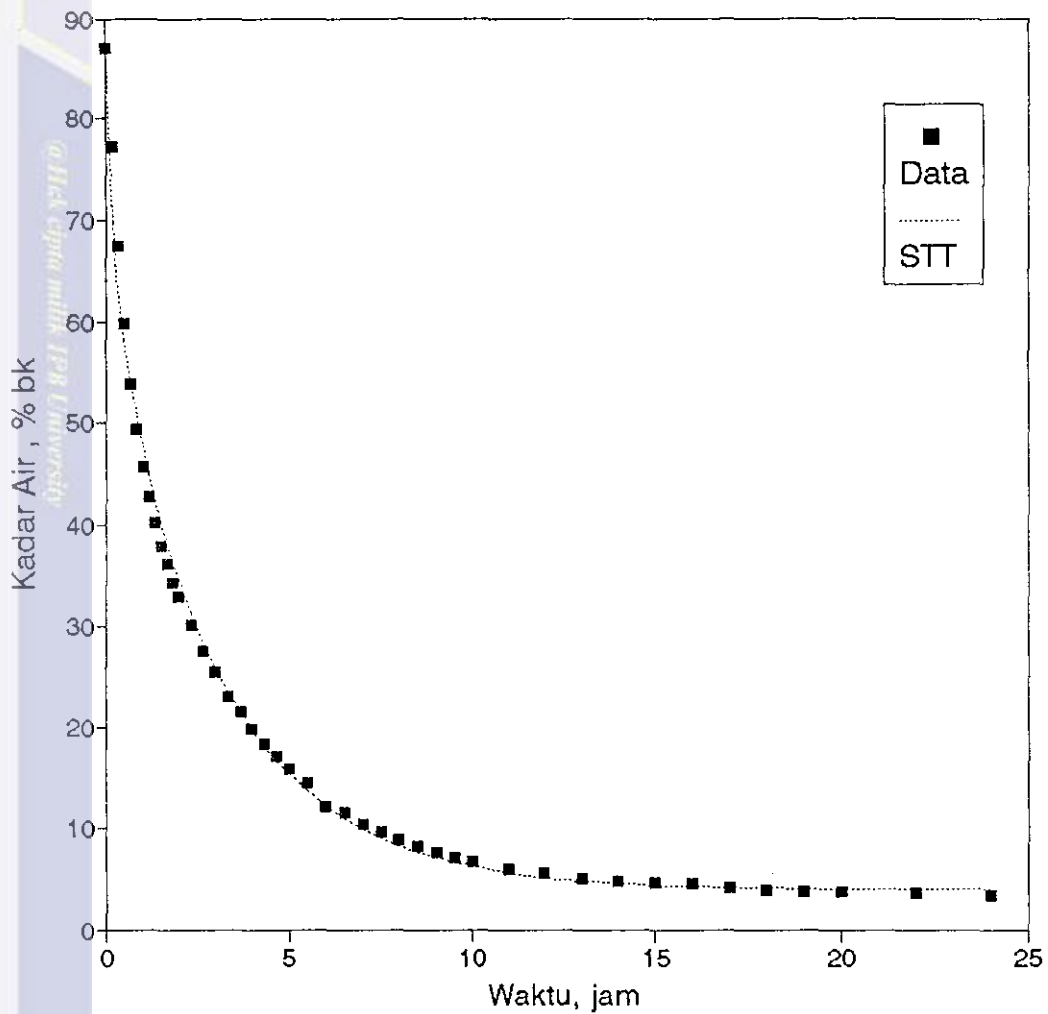
Setelah keadaan ini, model menduga nilai kadar air lebih tinggi dari data percobaan sampai kadar air biji kakao mencapai 24% atau setelah pengeringan berlangsung selama 5 jam. Perbedaan antara nilai dugaan dengan data percobaan adalah sebesar 0-5.1% bk. Dan selanjutnya model kembali menduga nilai kadar air lebih rendah dari nilai data percobaan dengan perbedaan maksimum 2% bk.

Dari **Gambar 24**, nilai kadar air dugaan dari model bola lebih rendah dari data percobaan sampai pengeringan berlangsung selama 35 menit atau sampai kadar air biji mencapai 63% bk. Model menduga dengan perbedaan antara 0-6.6% bk. Selanjutnya, model menduga nilai kadar air lebih tinggi sebesar 0-3.6% bk sampai kadar air biji yang dikeringkan mencapai 25% bk atau sampai pengeringan berlangsung selama 4.5 jam. Setelah keadaan ini, model menduga nilai kadar lebih rendah 0-1.2% bk dari nilai kadar air percobaan.

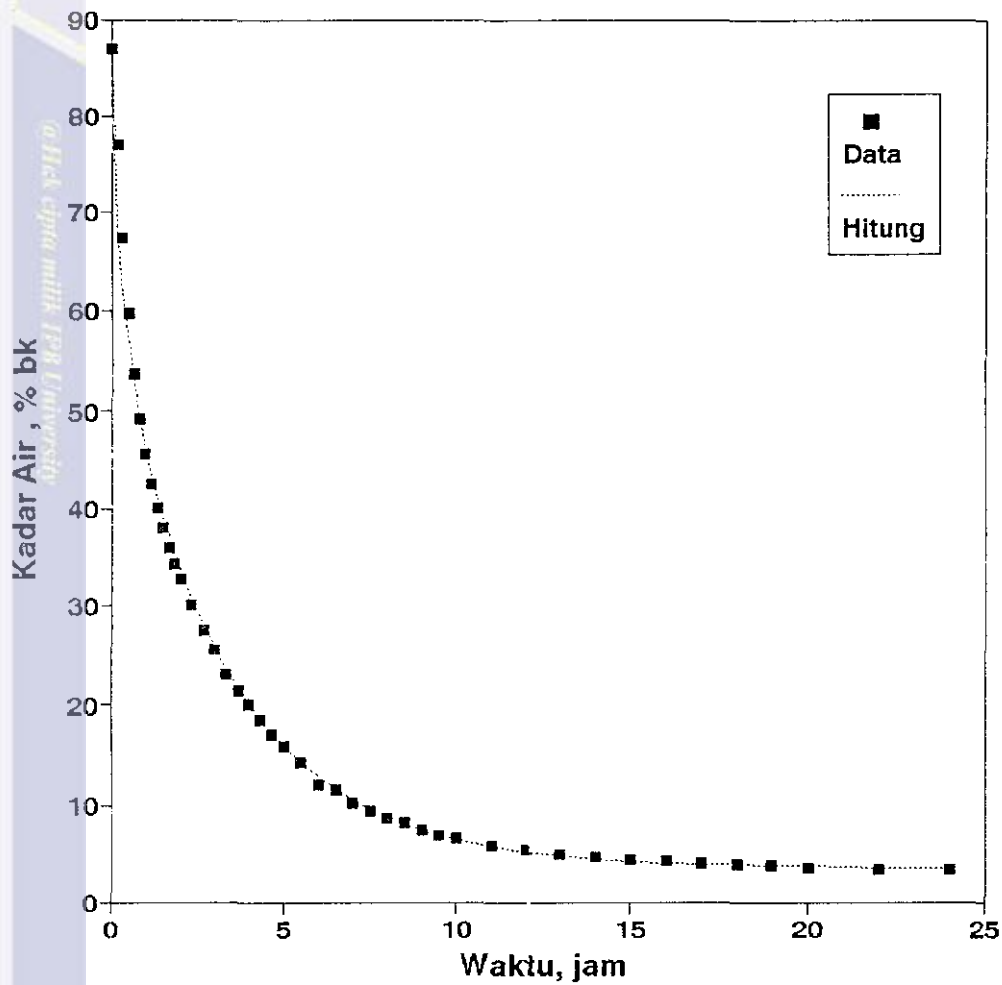
Gambar 25 dan **26** menunjukkan kurva perbandingan nilai kadar air dari data percobaan dengan nilai kadar air model silinder tak hingga dan bola pada suhu 80°C dan RH 16% dengan kecepatan aliran udara 0.1 m/det. Dari **Gambar 25**, nilai kadar air dugaan dari model silinder tak hingga lebih rendah daripada nilai data percobaan dengan perbedaan 0-7.5% bk. Keadaan ini berlangsung sampai 35 menit pertama atau sampai kadar air biji mencapai 56% bk.

Setelah keadaan tersebut, model menduga nilai kadar air lebih tinggi dari nilai data percobaan dengan perbedaan maksimum 2.3% bk sampai kadar air biji mencapai 22% bk atau sampai pengeringan berlangsung selama 3.5 jam. Selanjutnya model menduga nilai kadar air lebih rendah dari nilai data percobaan dengan perbedaan maksimum 0.5% bk. Keadaan ini berlangsung sampai kadar air biji mencapai 4.1% bk atau pada saat pengeringan telah berlangsung sekitar 17 jam. Dan selanjutnya model menduga nilai kadar air yang lebih tinggi dengan perbedaan maksimum 0.5% bk.

Dari **Gambar 26**, terlihat bahwa pada awal pengeringan sampai menit ke 50 pertama atau sampai kadar air biji mencapai 49% bk, nilai kadar air dugaan model bola lebih rendah dari data percobaan dengan perbedaan sebesar 0-8.5% bk. Selanjutnya model akan menduga nilai kadar air lebih tinggi sampai kadar air biji



Gambar 25. Kurva pengeringan lapisan tipis biji kakao dari data percobaan dan model silinder tak hingga pada suhu 80°C dan RH 7% dengan kecepatan aliran udara 0.1 m/detik.



Gambar 26. Kurva pengeringan lapisan tipis biji kakao dari data percobaan dan model bola pada suhu 80°C dan RH 7% dengan kecepatan aliran udara 0.1 m/detik.

yang dikeringkan mencapai 8.6% bk atau pada saat pengeringan sudah berlangsung selama 8 jam. Perbedaan antara nilai dugaan model dengan data percobaan sebesar 0-1.2% bk.

Setelah pengeringan berlangsung selama 8 jam, model kembali menduga nilai kadar air lebih rendah dari data percobaan dengan perbedaan 0-0.3% bk. Dan kemudian model menduga kadar air lebih tinggi sebesar 0-0.2% bk.

Dari uraian diatas maka secara umum dapat diambil kesamaan-kesamaan dari kedua model dalam menggambarkan pengeringan lapisan tipis biji kakao. Pada awal pengeringan model menduga nilai kadar air lebih rendah dari data percobaan. Sedangkan pada pertengahan pengeringan model menduga lebih besar dari data percobaan, kemudian model akan menduga nilai kadar air lebih kecil dari data percobaan. Perbedaan terbesar terjadi pada awal pengeringan, yaitu pada saat kadar air biji masih tinggi. Perbedaan ini berangsur-angsur menjadi kecil hingga akhir pengeringan. Perbedaan yang terjadi relatif semakin kecil dengan meningkatnya suhu udara pengeringan. Perbedaan kadar air awal antara data dengan nilai dugaan model silinder tak hingga lebih kecil dari pada model bola, dimana untuk suhu 40°C, 50°C, 60°C, 70°C dan 80°C masing-masing adalah sebesar 1.0% bk, 0.82% bk, 0.88% bk, 0.89% bk,

dan 0.85% bk, dan 5.4% bk, 4.67% bk, 9.53% bk, 1.06% bk dan 1.0% bk.

E. Uji Keabsahan Model

Untuk mengetahui keabsahan model dilakukan uji keabsahan model terhadap kadar air dugaan. Keabsahan model diuji dengan cara uji *t-student*.

Misalkan u_1 dan u_2 masing-masing menyatakan kadar air rata-rata biji kakao hasil percobaan dan hasil dugaan, maka uji *t-student* dilakukan sebagai berikut :

1. $H_0 : \mu_1 = \mu_2$
2. $H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
3. $\alpha = 0.05$
4. Daerah kritis : $T < -t_{\alpha/2}$ dan $T > t_{\alpha/2}$
5. Kesimpulan

Nilai *t* statistik dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$t_h = \frac{(d-d_0)}{(Sd/\sqrt{n})}$$

dengan derajat bebas :

$$V = n-1$$

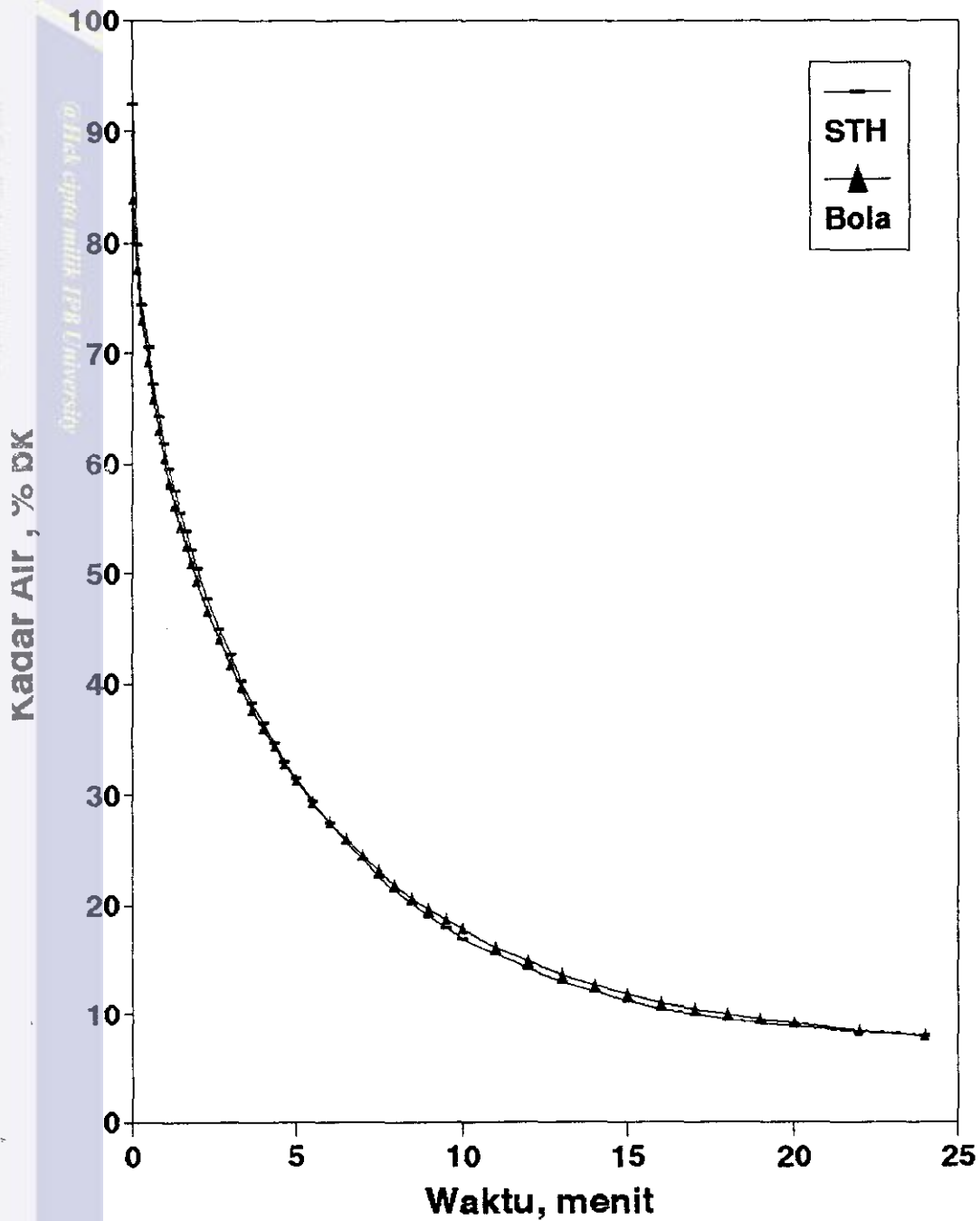
Tabel 7 memperlihatkan hasil pengujian model dengan cara uji *t-student*. Dari Tabel terlihat bahwa nilai t_h pada semua kondisi pengeringan dari model silinder tak hingga dan bola berada diluar daerah kritis. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa nilai kadar air hasil percobaan dan hasil dugaan model tidak

berbeda secara berarti. Keadaan ini menunjukkan pula bahwa model silinder tak hingga dan bola cukup valid dalam menggambarkan perubahan kadar air biji kakao pada pengeringan lapisan tipis. Sedangkan **Gambar 17** menunjukkan kurva perbandingan model silinder tak hingga dengan model bola pada suhu 60°C , RH 16% dengan kecepatan aliran udara 0.1 m/detik.

Tabel 7. Data hasil uji *t-student*.

Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	RH (%)	Daerah kritis ($\alpha = 0.05$)	t_h	
			STH	bola
40	43	1.960	1.143	0.819
50	23	1.960	0.800	0.168
60	16	1.960	0.712	0.052
70	10	1.960	0.790	0.495
80	7	1.960	-0.320	-0.882

Selanjutnya, untuk memilih salah satu dari kedua model teoritis yang lebih baik dalam menduga besarnya perubahan kadar air biji kakao pada pengeringan lapisan tipis, maka dihitung nilai koefisien determinasi darab (r^2). Besaran ini menunjukkan proporsi variasi total dalam respon nilai kadar air yang diterangkan oleh model yang digunakan. Nilai-nilai koefisien determinasi darab untuk masing-masing model dan kondisi udara pengering dapat dilihat pada **Tabel 8**.



Gambar 27. Kurva perbandingan model silinder tak hingga dengan model bola pada suhu 60°C dan RH 16% dengan kecepatan aliran udara 0.1 m/detik.

Tabel 8. Koefisien determinasi darab (r^2) untuk model silinder tak hingga dan bola.

Suhu (°C)	RH (%)	Koefisien determinasi darab	
		Model STH	Model Bola
40	43	0.910	0.920
50	23	0.986	0.990
60	16	0.985	0.990
70	10	0.987	0.992
80	7	0.996	0.995

Dari **Tabel 8** diatas, terlihat bahwa nilai-nilai koefisien determinasi darab dari model bola cenderung mempunyai nilai r^2 yang lebih besar dari model silinder tak hingga. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa model bola dapat menerangkan variasi nilai kadar air biji kakao lebih baik dalam pengeringan lapisan tipis dibandingkan dengan model silinder tak hingga.

Supriyono (1989) dan Aluisius (1990), menyatakan bahwa kurang tepatnya model dalam menduga perubahan kadar air bahan selama pengeringan disebabkan karena kondisi batas yang digunakan sukar dipenuhi.

Whitaker dan Young (1972) menyelesaikan persamaan 12 dengan mengambil kondisi batas bahwa pada awal pengeringan, bahan yang dikeringkan mempunyai kadar air awal yang seragam. Sedangkan Bravo dan McGaw

(1974) di dalam Aluisius (1990) telah meneliti penyebaran kadar air pada biji kakao, dimana hasil penelitiannya menunjukkan bahwa kadar air awal pada testa lebih tinggi dari kadar air nib. Dengan demikian kondisi batas yang digunakan Whitaker dan Young tidak bisa terpenuhi.

Kondisi batas lain yang digunakan Whitaker dan Young (1974) untuk menyelesaikan persamaan 8 adalah pada saat $t=0$, permukaan bahan telah mencapai keseimbangan dengan kondisi udara pengering. Sedangkan pada percobaan ini, suhu biji kakao lebih rendah dari suhu udara pengeringan. Pada awal pengeringan, suhu permukaan biji kakao untuk suhu udara pengeringan 40°C , 50°C , 60°C , 70°C dan 80°C , masing-masing adalah 28°C , 36°C , 35.5°C , 31.7°C dan 55.4°C . Sedangkan suhu rata-rata di pusat biji masing-masing adalah 28°C , 33° , 36°C , 33°C dan 33° .

Brooker et al., 1974 menyatakan pula bahwa ada dua sebab bisa terjadi penyimpangan antara lain : (1) kurang tepatnya pengambilan kondisi batas untuk pemecahan persamaan dan (2) kurang tepatnya anggapan bahwa koefisien pengeringan tidak tergantung pada kadar air awal bahan.

F. Analisa Kepekaan

Para pengambil keputusan biasanya secara khusus menaruh perhatian penuh pada rangkaian hasil-hasil

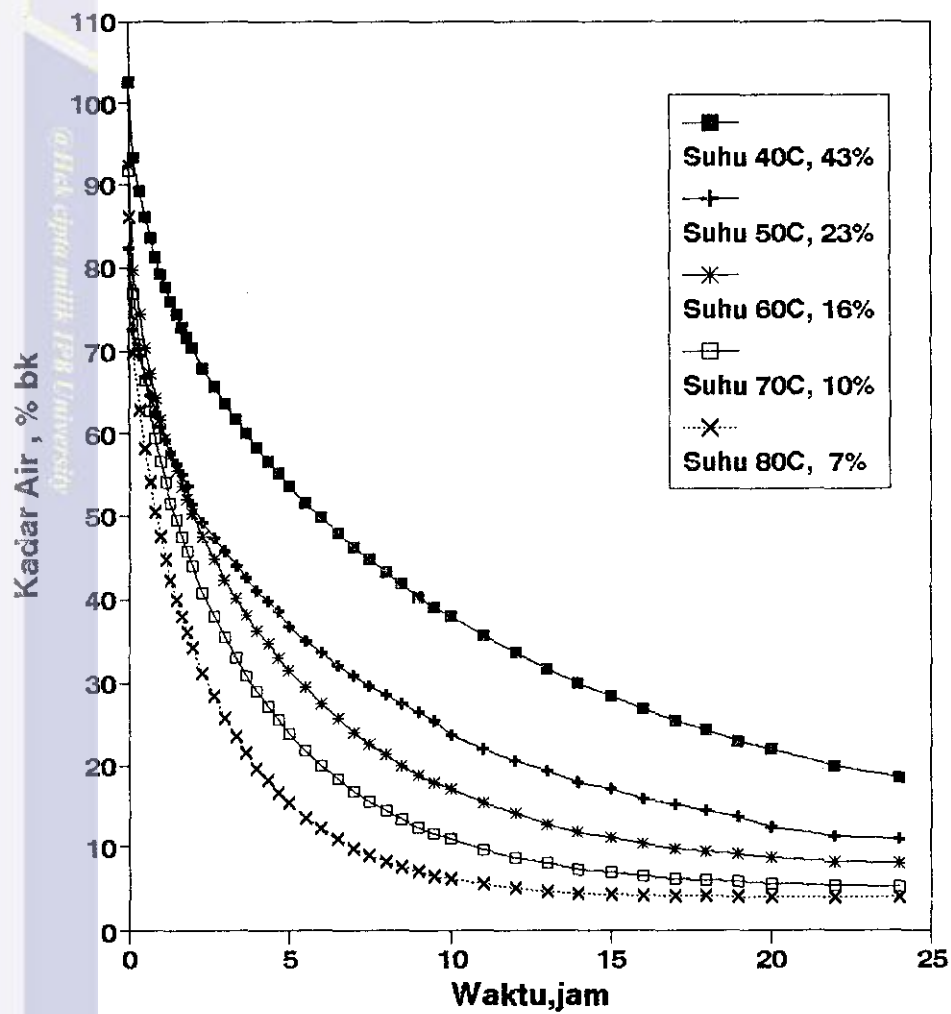
yang diperoleh dari berbagai estimasi. Analisa kepekaan memberikan suatu penentuan mengenai bagaimana hasil-hasil tersebut yang akan dirubah ke dalam nilai-nilai estimasi.

Analisa kepekaan pada model silinder tak hingga dan bola dilakukan dengan variasi suhu dan kecepatan aliran udara pengeringan.

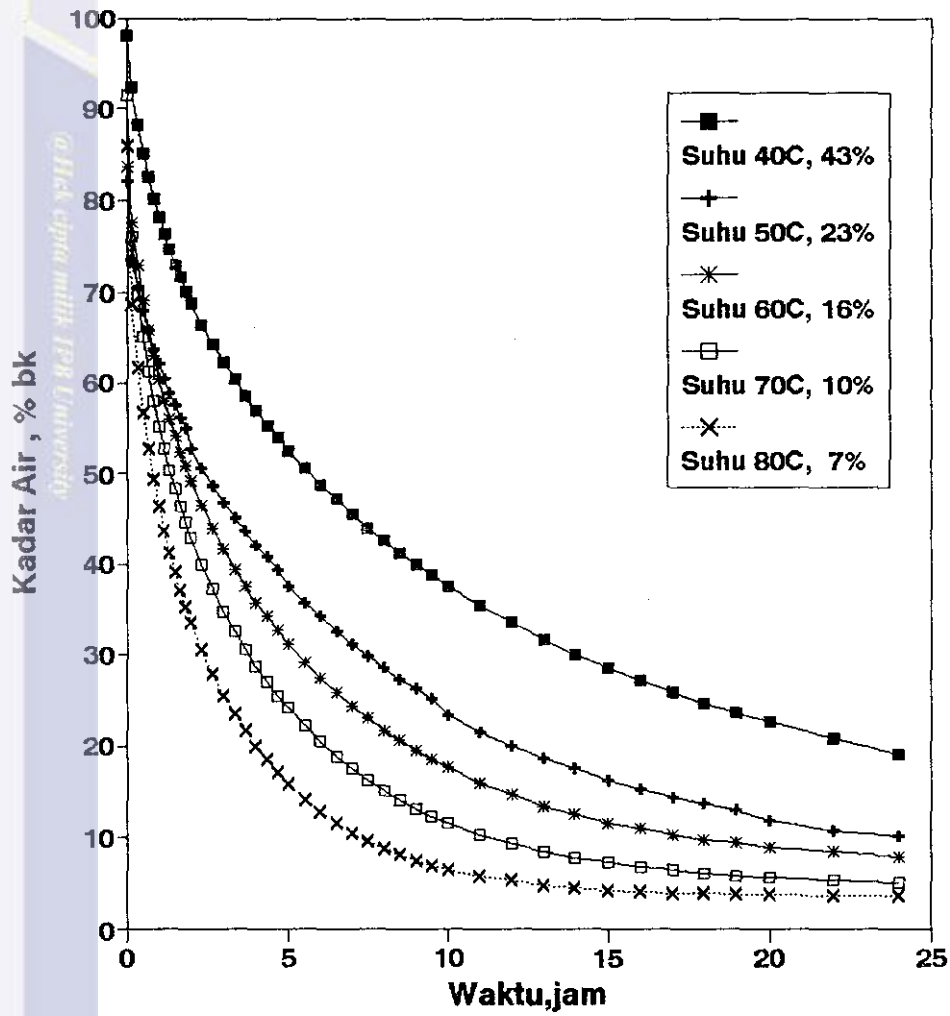
Gambar 28 dan 29 menunjukkan kurva penurunan kadar air terhadap waktu pengeringan pada berbagai tingkat suhu udara pengeringan, yaitu suhu 40°C, 50°C, 60°C, 70°C dan 80°C dengan RH masing-masing 43%, 23%, 16%, 10% dan 7%. Dari **Gambar 28 dan 29** terlihat bahwa semakin tinggi suhu udara pengeringan maka semakin singkat waktu pengeringan. Perbedaan kurva estimasi model silinder tak hingga dan bola menunjukkan perbedaan yang sangat nyata untuk masing-masing suhu udara pengeringan.

Gambar 30 dan 31 menunjukkan kurva penurunan kadar air terhadap waktu pengeringan untuk model silinder tak hingga dan bola pada suhu 60°C dan RH 16% pada berbagai tingkat kecepatan aliran udara pengeringan, yaitu 0.05 m/detik, 0.10 m/detik, 0.20 m/detik dan 0.60 m/detik. Dari **Gambar** terlihat bahwa kurva estimasi pada kecepatan aliran udara 0.05 m/detik baik pada model silinder tak hingga maupun bola berbeda nyata bila dibandingkan dengan kurva pada kecepatan

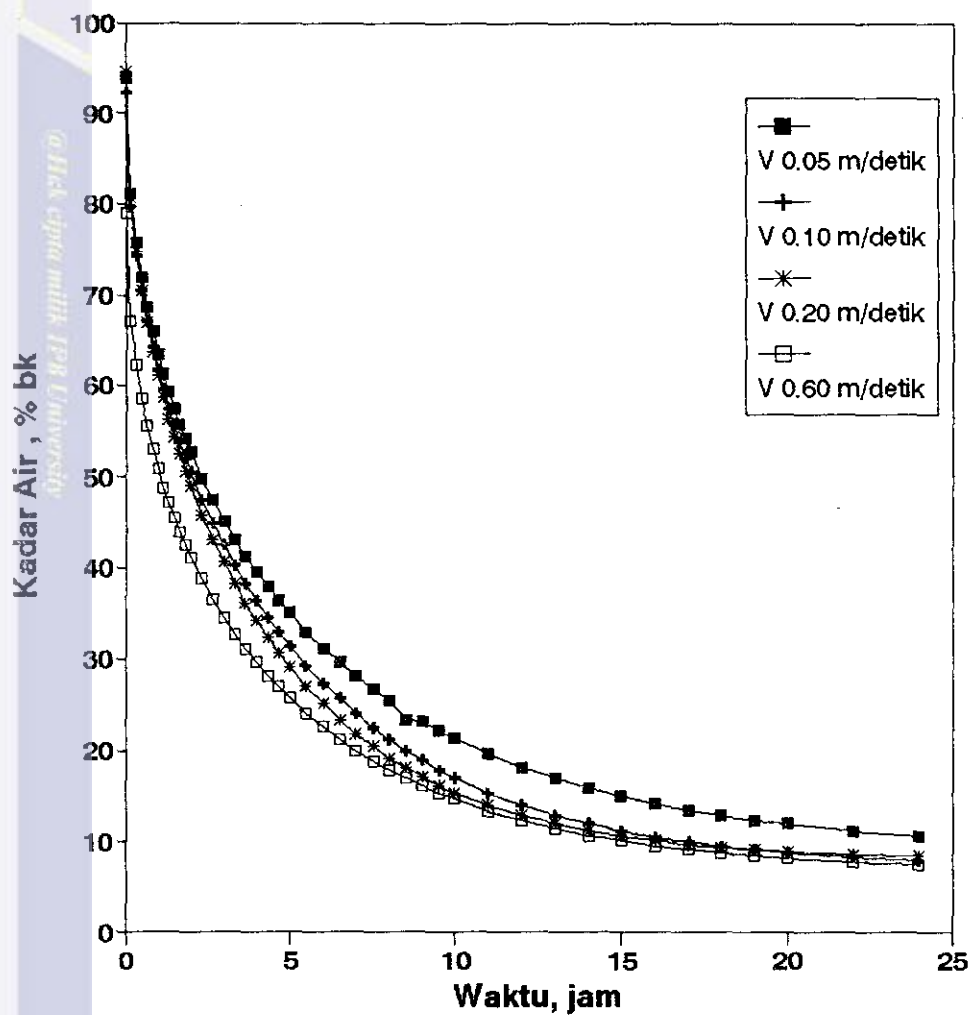
Hal yang harus diperhatikan dalam analisis kepekaan adalah variasi parameter yang akan dianalisis dan pengaruhnya terhadap hasil. Analisis kepekaan dilakukan dengan cara mengubah satu parameter dan melihat pengaruhnya terhadap hasil. Analisis kepekaan dilakukan dengan cara mengubah satu parameter dan melihat pengaruhnya terhadap hasil. Analisis kepekaan dilakukan dengan cara mengubah satu parameter dan melihat pengaruhnya terhadap hasil.



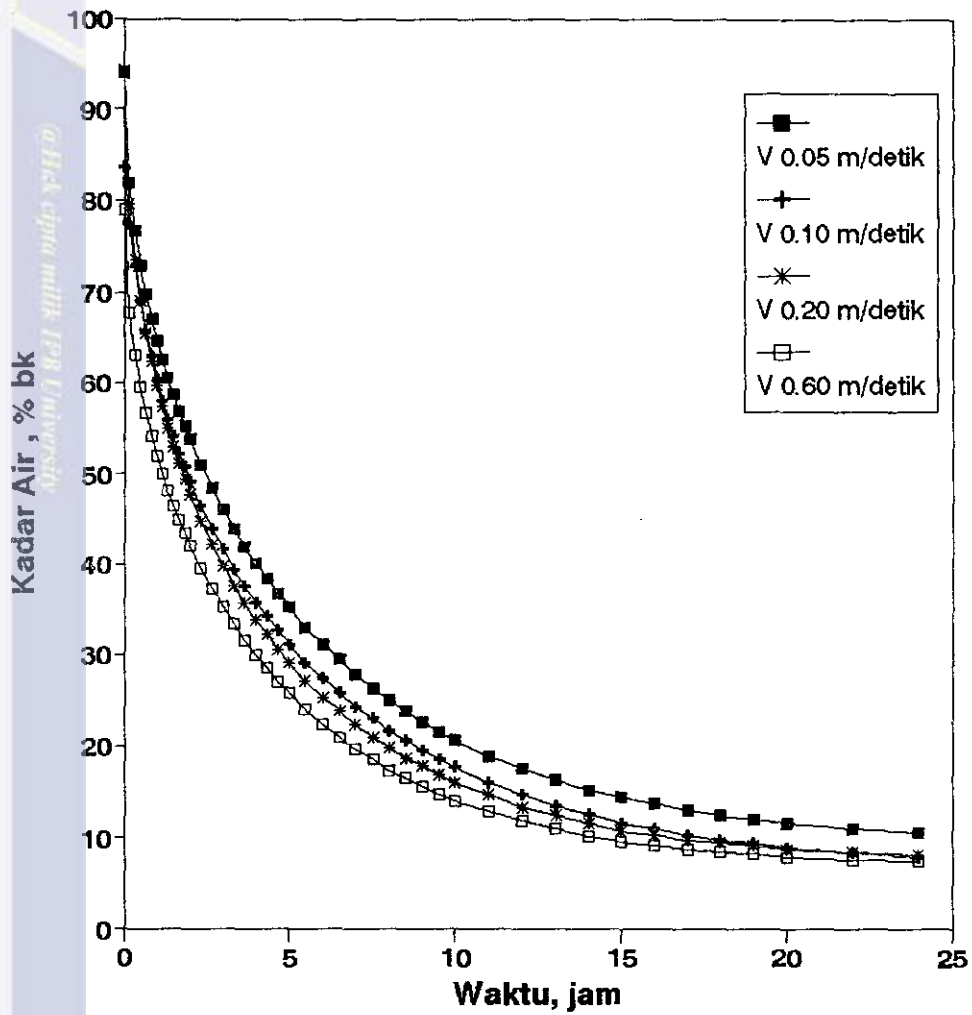
Gambar 28. Kepekaan penurunan kadar air biji kakao terhadap waktu untuk model silinder tak hingga pada berbagai tingkat suhu pengeringan.



Gambar 29. Kepekaan penurunan kadar air biji kakao terhadap waktu untuk model bola pada berbagai tingkat suhu pengeringan.



Gambar 30. Kepekaan penurunan kadar air biji kakao terhadap waktu untuk model silinder tak hingga pada berbagai tingkat kecepatan aliran udara pengeringan.



Gambar 31. Kepekaan penurunan kadar air biji kakao terhadap waktu untuk model bola pada berbagai tingkat kecepatan aliran udara pengeringan.

aliran udara 0.10 m/detik, 0.20 m/detik dan 0.60 m/detik, dimana penurunan kadar air sangat lambat. Kurva estimasi pada kecepatan aliran udara 0.10 m/detik tidak berbeda nyata dengan kurva estimasi pada kecepatan 0.20 m/detik, terutama pada tahap awal dan akhir pengeringan.

Pada awal pengeringan, kurva estimasi pada kecepatan aliran udara 0.60 m/detik berbeda dengan kurva estimasi pada kecepatan 0.05 m/detik, 0.10 m/detik, 0.20 m/detik. Perbedaan yang nyata hanya terjadi hingga kadar air mencapai sekitar 20% bk untuk model silinder tak hingga dan sekitar 10% bk untuk model bola.

Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa variasi suhu menunjukkan perbedaan yang lebih nyata untuk menentukan laju penurunan kadar air, sedangkan pada variasi kecepatan aliran udara seperti 0.10 m/detik, 0.20 m/detik dan 0.60 m/detik tidak menunjukkan perbedaan yang nyata pada tahap akhir pengeringan.

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

- 1). Kurva karakteristik pengeringan lapisan tipis biji kakao dengan kadar air awal rata-rata 48% bb menunjukkan bahwa setelah periode pemanasan dan periode laju pengeringan konstan yang sangat cepat, terlihat periode laju pengeringan menurun. Laju pengeringan menurun dapat dibedakan menjadi tiga tahap, yaitu laju pengeringan menurun cepat, laju pengeringan menurun lambat dan laju pengeringan menurun sangat lambat.
- 2). Model teoritis pengeringan lapisan tipis silinder tak hingga dan bola dapat digunakan untuk menduga perubahan kadar air biji kakao selama dalam pengeringan lapisan tipis dengan baik. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Aluisius Arisubagijo (1990).
- 4). Kadar air keseimbangan dinamis merupakan fungsi dari selisih suhu bola basah dan bola kering yang diduga dengan persamaan sebagai berikut:
$$Me_{sth} = 12.1087 - 0.2354 Z + 0.0011 Z^2$$
$$Me_{bola} = 11.5213 - 0.2148 Z + 0.0008 Z^2$$
persamaan untuk nilai-nilai Me berlaku pada Z (selisih bola basah dan kering) antara 11.5 sampai 43.5.
Koefisien pengeringan, K merupakan fungsi dari suhu mutlak udara pengering yang besarnya dapat

diduga dengan persamaan sebagai berikut:

$$K_{\text{sth}} = \exp(10.1733 - 3800.7283/T)$$

$$K_{\text{bola}} = \exp(9.5506 - 3814.5742/T)$$

Persamaan untuk nilai K berlaku pada selang suhu antara 313^oK sampai dengan 353^oK.

B. Saran

- 1). Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai penerapan model pengeringan lapisan tipis silinder tak hingga dan bola pada pengeringan lapisan tumpukan biji kakao dengan menggunakan parameter K dan Me yang telah ditentukan dalam penelitian ini.
- 2). Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk memperoleh persamaan kadar air keseimbangan, Me dan koefisien pengeringan, K untuk berbagai kecepatan aliran udara pengeringan.
- 3). Dari hasil penelitian ini, semakin tinggi suhu udara pengeringan, semakin tinggi laju pengeringan rata-ratanya sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap mutu biji hasil pengeringan.



LAMPIRAN

Lampiran 1. Akar positif fungsi Bessel nol jenis pertama.

n	Akar	n	Akar	n
1	2.4048	21	65.1900	
2	5.5201	22	68.3315	
3	8.6540	23	71.4730	
4	11.7920	24	74.6145	
5	14.9310	25	77.7560	
6	18.1710	26	80.8976	
7	21.2120	27	84.0391	
8	24.3520	28	87.1806	
9	27.4930	29	90.3222	
10	30.6350	30	93.4637	
11	33.7758	31	96.6053	
12	36.9171	32	99.7468	
13	40.0584	33	102.8880	
14	43.1998	34	106.0300	
15	46.3412	35	109.1720	
16	49.2846	36	112.3130	
17	52.6241	37	115.4550	
18	55.7655	38	118.5960	
19	58.9070	39	121.7380	
20	62.0485	40	124.8790	

Lampiran 1. Perubahan Kadar Air Biji Kakao Selama Pengeringan

KA Awal Baha : 51.01 % bb
 Suhu dan RH : 40 C dan 43 %
 Kec. Udara : 0.1 m/det

No	Waktu (menit)	KA (%bb)	KA (%bk)	Laju Pengeringan	
				bk/mnt	bk/jam
1	0	51.01	104.12		
2	10	50.229	100.92	0.3201	19.2107
3	20	49.340	97.395	0.3525	21.1534
4	30	48.438	93.942	0.3453	20.7217
5	40	47.533	90.596	0.3345	20.0741
6	50	46.636	87.394	0.3201	19.2107
7	60	45.783	84.444	0.2949	17.6997
8	70	44.912	81.530	0.2913	17.4839
9	80	44.070	78.796	0.2734	16.4046
10	90	43.26	76.242	0.2554	15.3254
11	100	42.473	73.832	0.2410	14.4620
12	110	41.713	71.565	0.2266	13.5986
13	120	40.995	69.479	0.2086	12.5193
14	140	39.121	64.262	0.2608	15.6492
15	160	38.036	61.384	0.1439	8.63404
16	180	37.125	59.046	0.1169	7.01516
17	200	36.318	57.031	0.1007	6.04383
18	220	35.625	55.340	0.0845	5.07250
19	240	34.947	53.722	0.0809	4.85665
20	260	34.348	52.319	0.0701	4.20909
21	280	33.785	51.023	0.0647	3.88532
22	300	33.212	49.728	0.0647	3.88532
23	330	32.400	47.930	0.0599	3.59752
24	360	31.618	46.239	0.0563	3.38166
25	390	30.887	44.692	0.0515	3.09386
26	420	30.140	43.145	0.0515	3.09386
27	450	29.467	41.778	0.0455	2.73411
28	480	28.798	40.447	0.0443	2.66216
29	510	28.173	39.224	0.0407	2.44631
30	540	27.555	38.036	0.0395	2.37436
31	570	26.927	36.849	0.0395	2.37436
32	600	26.385	35.842	0.0335	2.01461
33	660	25.377	34.007	0.0305	1.83473
34	720	24.444	32.352	0.0275	1.65485
35	780	23.550	30.805	0.0257	1.54693
36	840	22.743	29.438	0.0227	1.36705
37	900	21.874	27.999	0.0239	1.43900
38	960	21.188	26.884	0.0185	1.11523
39	1020	20.557	25.877	0.0167	1.00730
40	1080	19.916	24.869	0.0167	1.00730
41	1140	19.335	23.970	0.0149	0.89938
42	1200	18.769	23.107	0.0143	0.86340
43	1320	17.687	21.488	0.0134	0.80944
44	1440	16.750	20.121	0.0113	0.68352
45	1560	15.919	18.934	0.0098	0.59359

Lampiran 2. Perubahan Kadar Air Biji Kakao Selama Pengeringan

KA Awal Bahan : 46.34 % bb
 Suhu dan RH : 50 C dan 23 %
 Kec. Aliran Udara : 0.1 m/det

No	Waktu (menit)	KA (%bb)	KA (%bk)	Laju Pengeringan	
				bk/mnt	bk/jam
1	0	46.34	86.37		
2	10	45.00	81.83	0.4537	27.227
3	20	43.55	77.15	0.4679	28.078
4	30	42.09	72.68	0.4467	26.802
5	40	40.69	68.61	0.4077	24.462
6	50	39.32	64.81	0.3793	22.760
7	60	38.15	61.69	0.3119	18.719
8	70	37.03	58.82	0.2871	17.229
9	80	36.08	56.45	0.2375	14.251
10	90	35.29	54.53	0.1914	11.486
11	100	34.63	52.97	0.1559	9.3595
12	110	34.06	51.66	0.1311	7.8704
13	120	33.11	49.50	0.1081	6.4878
14	140	32.13	47.34	0.1081	6.4878
15	160	31.23	45.42	0.0957	5.7433
16	180	30.42	43.72	0.0850	5.1051
17	200	29.60	42.05	0.0833	4.9988
18	220	28.53	39.93	0.0709	4.2543
19	250	28.17	39.22	0.0709	4.2543
20	260	27.54	38.01	0.0602	3.6161
21	280	26.75	36.52	0.0744	4.4670
22	300	26.00	35.14	0.0460	2.7653
23	330	25.16	33.62	0.0508	3.0489
24	360	24.39	32.27	0.0449	2.6944
25	390	23.66	30.99	0.0425	2.5525
26	420	22.65	29.29	0.0567	3.4034
27	450	22.18	28.51	0.0259	1.5599
28	480	21.36	27.16	0.0449	2.6944
29	510	20.90	26.42	0.0248	1.4890
30	540	20.65	26.03	0.0129	0.7799
31	570	20.13	25.21	0.0271	1.6308
32	600	19.13	23.65	0.0259	1.5599
33	660	18.24	22.31	0.0224	1.3472
34	720	17.42	21.10	0.0200	1.2053
35	780	16.64	19.97	0.0189	1.1344
36	840	15.92	18.94	0.0171	1.0281
37	900	15.24	17.98	0.0159	0.9572
38	960	14.62	17.13	0.0141	0.8508
39	1020	14.05	16.35	0.0129	0.7799
40	1080	13.52	15.64	0.0118	0.7090
41	1140	13.02	14.97	0.0112	0.6736
42	1200	12.12	13.80	0.0097	0.5849

Lampiran 3. Perubahan Kadar Air Biji Kakao Selama Pengeringan

KA Awal Bahan : 48.25 % bb
 Suhu dan RH : 60 C dan 16 %
 Kec. Aliran Udar : 0.1 m/det

No	Waktu (menit)	KA (%bb)	KA (%bk)	Laju Pengeringan	
				bk/mnt	bk/jam
1	0	48.25	93.23		
2	10	46.11	85.58	0.7649	45.894
3	20	44.08	78.83	0.6751	40.507
4	30	42.19	72.98	0.5853	35.120
5	40	40.44	67.91	0.5063	30.380
6	50	38.79	63.39	0.4524	27.148
7	60	37.32	59.55	0.3842	23.054
8	70	35.98	56.21	0.3339	20.038
9	80	34.81	53.41	0.2801	16.806
10	90	33.80	51.07	0.2334	14.005
11	100	32.93	49.10	0.1975	11.850
12	110	32.11	47.30	0.1795	10.773
13	120	31.37	45.72	0.1580	9.4804
14	140	29.44	41.74	0.1993	11.958
15	160	28.34	39.54	0.1095	6.5717
16	180	27.29	37.53	0.1005	6.0330
17	200	26.38	35.85	0.0843	5.0634
18	220	25.52	34.27	0.0790	4.7402
19	240	24.73	32.87	0.0700	4.2015
20	260	23.95	31.50	0.0682	4.0938
21	280	23.30	30.39	0.0556	3.3397
22	300	22.66	29.31	0.0538	3.2319
23	330	21.71	27.73	0.0526	3.1601
24	360	20.89	26.40	0.0442	2.6574
25	390	20.04	25.07	0.0442	2.6574
26	420	19.37	24.03	0.0347	2.0828
27	450	18.69	22.99	0.0347	2.0828
28	480	18.02	21.98	0.0335	2.0110
29	510	17.34	20.98	0.0335	2.0110
30	540	16.77	20.15	0.0275	1.6519
31	570	16.22	19.36	0.0263	1.5800
32	600	15.71	18.64	0.0239	1.4364
33	660	14.52	16.99	0.0275	1.6519
34	720	13.68	15.84	0.0191	1.1491
35	780	12.87	14.77	0.0179	1.0773
36	840	12.18	13.87	0.0149	0.8977
37	900	11.51	13.01	0.0143	0.8618
38	960	10.94	12.29	0.0119	0.7182
39	1020	10.25	11.43	0.0143	0.8618
40	1080	9.822	10.89	0.0089	0.5386
41	1140	9.412	10.39	0.0083	0.5027
42	1200	9.057	9.959	0.0071	0.4309
43	1320	8.399	9.169	0.0065	0.3950
44	1440	7.792	8.451	0.0059	0.3591

Lampiran 5. Perubahan Kadar Air Biji Kakao Selama Pengeringan

K.A. Awal Bahar : 48.40 % bb
 Suhu dan RH : 70 C dan 10 %
 Kec. Aliran Udal : 0.1 m/s

No	Waktu (menit)	KA(%bb)	KA(%bk)	Laju Pengeringan	
				bk/mnt	bk/jam
1	0	48.4	93.798		
2	10	45.561	83.692	1.0105	60.6336
3	20	42.475	73.838	0.9854	59.1285
4	30	39.807	66.133	0.7704	46.2278
5	40	37.919	61.080	0.5052	30.3168
6	50	36.172	56.672	0.4407	26.4466
7	60	34.648	53.017	0.3655	21.9313
8	70	33.320	49.971	0.3046	18.2761
9	80	32.169	47.427	0.2544	15.2659
10	90	31.115	45.169	0.2257	13.5458
11	100	30.149	43.162	0.2006	12.0407
12	110	29.282	41.406	0.1755	10.5356
13	120	28.502	39.866	0.1540	9.24556
14	140	26.526	36.103	0.1881	11.2881
15	160	25.366	33.988	0.1057	6.34288
16	180	24.273	32.053	0.0967	5.80535
17	200	23.316	30.405	0.0824	4.94530
18	220	22.420	28.900	0.0752	4.51527
19	240	21.570	27.502	0.0698	4.19275
20	260	20.746	26.176	0.0662	3.97774
21	280	19.950	24.922	0.0627	3.76272
22	300	19.185	23.740	0.0591	3.54771
23	330	18.166	22.199	0.0513	3.08185
24	360	17.170	20.729	0.0489	2.93851
25	390	16.225	19.368	0.0453	2.72349
26	420	15.387	18.185	0.0394	2.36514
27	450	14.532	17.002	0.0394	2.36514
28	480	13.739	15.927	0.0358	2.15013
29	510	13.067	15.031	0.0298	1.79177
30	540	12.412	14.171	0.0286	1.72010
31	570	11.915	13.526	0.0215	1.29007
32	600	11.242	12.666	0.0286	1.72010
33	660	10.301	11.484	0.0197	1.18257
34	720	9.5452	10.552	0.0155	0.93172
35	780	8.8658	9.7283	0.0137	0.82421
36	840	8.2365	8.9757	0.0125	0.75254
37	900	7.4451	8.0440	0.0155	0.93172
38	960	7.1680	7.7215	0.0053	0.32251
39	1020	6.9203	7.4348	0.0047	0.28668
40	1080	6.5775	7.0406	0.0065	0.39419
41	1140	6.2952	6.7181	0.0053	0.32251
42	1200	6.0428	6.4314	0.0047	0.28668
43	1320	5.5978	5.9297	0.0041	0.25084
44	1440	5.2773	5.5714	0.0029	0.17917
45	1560	5.0840	5.3564	0.0017	0.10750

Lampiran 6. Perubahan Kadar Air Biji Kakao Selama Pengeringan

KA Awal Bahan : 46.77 % bb
 Suhu dan RH : 80 C dan 7 %
 Kec. Aliran Udara : 0.1 m/det

No	Waktu (menit)	KA (%bb)	KA (%bk)	Laju Pengeringan bk/mnt	bk/jam
1	0	46.77	87.86		
2	10	43.79	77.91	0.9949	59.695
3	20	40.53	68.17	0.9742	58.455
4	30	37.63	60.35	0.7814	46.888
5	40	35.19	54.29	0.6059	36.354
6	50	33.20	49.71	0.4578	27.472
7	60	31.55	46.10	0.3614	21.688
8	70	30.10	43.07	0.3029	18.177
9	80	28.82	40.49	0.2581	15.491
10	90	27.68	38.29	0.2203	13.219
11	100	26.68	36.39	0.1893	11.360
12	110	25.69	34.57	0.1824	10.947
13	120	24.86	33.09	0.1480	8.8819
14	140	23.33	30.44	0.1325	7.9524
15	160	21.76	27.82	0.1308	7.8491
16	180	20.46	25.72	0.1050	6.3000
17	200	18.90	23.31	0.1204	7.2295
18	220	17.87	21.76	0.0774	4.6475
19	250	16.21	19.35	0.0803	4.8196
20	260	15.70	18.63	0.0722	4.3377
21	280	14.71	17.25	0.0688	4.1311
22	300	13.80	16.01	0.0619	3.7180
23	330	12.61	14.43	0.0527	3.1672
24	360	10.92	12.26	0.0722	4.3377
25	390	10.34	11.54	0.0240	1.4459
26	420	9.367	10.33	0.0401	2.4098
27	450	8.741	9.578	0.0252	1.5147
28	480	8.135	8.855	0.0240	1.4459
29	510	7.638	8.270	0.0195	1.1704
30	540	7.077	7.616	0.0218	1.3081
31	570	6.629	7.100	0.0172	1.0327
32	600	6.298	6.721	0.0126	0.7573
33	660	5.689	6.032	0.0114	0.6885
34	720	5.258	5.550	0.0080	0.4819
35	780	4.855	5.103	0.0074	0.4475
36	840	4.574	4.793	0.0051	0.3098
37	900	4.417	4.621	0.0028	0.1721
38	960	4.228	4.414	0.0034	0.2065
39	1020	4.006	4.173	0.0040	0.2409
40	1080	3.783	3.932	0.0040	0.2409
41	1140	3.624	3.760	0.0028	0.1721
42	1200	3.560	3.691	0.0011	0.0688
43	1320	3.400	3.519	0.0014	0.0860
44	1440	3.335	3.450	0.0005	0.0344

Lampiran 7. Perubahan Kadar Air Biji Kakao Selama Pengeringan

KA Awal Bahan : 49.05 % bb
 Suhu dan RH : 60 C dan 16 %
 Kec. Aliran Udara : 0.2 m/det.

No	Waktu (menit)	KA (%bb)	KA (%bk)	Laju Pengeringan	
				bk/mnt	bk/jam
1	0	49.05	96.27		
2	10	46.28	86.15	1.011	60.682
3	20	43.73	77.71	0.844	50.641
4	30	41.42	70.73	0.698	41.909
5	40	39.38	64.98	0.574	34.488
6	50	37.78	60.72	0.425	25.538
7	60	36.48	57.45	0.327	19.645
8	70	35.42	54.87	0.258	15.497
9	80	34.47	52.61	0.225	13.533
10	90	33.62	50.65	0.196	11.787
11	100	33.05	49.37	0.127	7.6398
12	110	32.49	48.13	0.123	7.4215
13	120	31.75	46.53	0.160	9.6043
14	140	30.37	43.62	0.145	8.7312
15	160	29.15	41.15	0.123	7.4215
16	180	28.00	38.89	0.112	6.7667
17	200	26.97	36.93	0.098	5.8935
18	220	25.94	35.04	0.094	5.6753
19	240	25.08	33.47	0.078	4.6930
20	260	24.21	31.95	0.076	4.5838
21	280	23.43	30.60	0.067	4.0381
22	300	22.67	29.33	0.063	3.8199
23	330	21.64	27.62	0.056	3.4197
24	360	20.62	25.98	0.054	3.2742
25	390	19.69	24.52	0.048	2.9104
26	420	18.70	23.00	0.050	3.0559
27	450	17.97	21.90	0.036	2.1828
28	480	17.23	20.81	0.036	2.1828
29	510	16.55	19.83	0.032	1.9645
30	540	15.86	18.85	0.032	1.9645
31	570	15.21	17.94	0.030	1.8190
32	600	14.60	17.10	0.027	1.6734
33	660	13.50	15.61	0.024	1.4915
34	720	12.26	13.97	0.027	1.6371
35	780	11.64	13.17	0.013	0.8003
36	840	10.98	12.34	0.013	0.8367
37	900	10.31	11.50	0.013	0.8367
38	960	9.817	10.88	0.010	0.6184
39	1020	9.312	10.26	0.010	0.6184
40	1080	8.830	9.686	0.009	0.5820
41	1140	8.527	9.322	0.006	0.3638
42	1200	8.191	8.922	0.006	0.4001
43	1320	7.759	8.412	0.004	0.2546

Lampiran 8. Perubahan Kadar Air Biji Kakao Selama Pengeringan

KA Awal Bahan : 44.92 % bb
 Suhu dan RH : 60 C dan 16 %
 Kec. Aliran Udara : 0.6 m/det.

No	Waktu (menit)	KA (%bb)	KA (%bk)	Laju Pengeringan	
				bk/mnt	bk/jam
1	0	44.92	81.55		
2	10	40.22	67.30	1.425	85.513
3	20	36.78	58.18	0.911	54.694
4	30	34.50	52.68	0.549	32.990
5	40	33.08	49.43	0.325	19.533
6	50	32.04	47.15	0.227	13.673
7	60	31.07	45.09	0.206	12.371
8	70	30.24	43.35	0.173	10.417
9	80	29.49	41.83	0.151	9.1156
10	90	28.78	40.42	0.141	8.4645
11	100	28.27	39.41	0.101	6.0771
12	110	27.61	38.14	0.126	7.5964
13	120	27.11	37.20	0.094	5.6430
14	140	26.10	35.32	0.094	5.6430
15	160	25.26	33.80	0.075	4.5578
16	180	24.40	32.28	0.075	4.5578
17	200	23.61	30.91	0.068	4.1237
18	220	22.95	29.79	0.056	3.3641
19	240	22.41	28.88	0.045	2.7130
20	260	21.77	27.83	0.052	3.1470
21	280	21.15	26.82	0.050	3.0385
22	300	20.62	25.99	0.041	2.4959
23	330	19.82	24.72	0.042	2.5321
24	360	19.14	23.67	0.034	2.0980
25	390	18.38	22.51	0.038	2.3150
26	420	17.77	21.61	0.030	1.8086
27	450	17.15	20.71	0.030	1.8086
28	480	16.55	19.84	0.028	1.7363
29	510	15.99	19.04	0.026	1.5916
30	540	15.48	18.32	0.024	1.4469
31	570	14.99	17.63	0.022	1.3745
32	600	14.49	16.94	0.022	1.3745
33	660	13.66	15.82	0.018	1.1213
34	720	12.68	14.52	0.021	1.3022
35	780	12.04	13.69	0.013	0.8319
36	840	11.39	12.86	0.013	0.8319
37	900	10.79	12.10	0.012	0.7596
38	960	10.30	11.48	0.010	0.6149
39	1020	9.775	10.83	0.010	0.6511
40	1080	9.153	10.07	0.012	0.7596
41	1140	8.823	9.677	0.006	0.3979
42	1200	8.582	9.388	0.004	0.2893
43	1320	8.096	8.809	0.004	0.2893

Lampiran 9. Perubahan Kadar Air Biji Kakao Selama Pengeringan

KA Awal Bahan : 48.62 % bb
 Suhu dan RH : 60 C dan 16 %
 Kec. Aliran Udara : 0.05 m/det

No	Waktu (menit)	KA (%bb)	KA (%bk)	Laju Pengeringan	
				bk/mnt	bk/jam
1	0	48.62	94.62		
2	10	47.32	89.84	0.478	28.704
3	20	45.97	85.09	0.474	28.487
4	30	44.48	80.13	0.496	29.792
5	40	42.99	75.41	0.471	28.270
6	50	41.55	71.10	0.431	25.877
7	60	40.14	67.08	0.402	24.138
8	70	38.75	63.27	0.380	22.833
9	80	37.46	59.90	0.337	20.223
10	90	36.26	56.89	0.300	18.049
11	100	35.18	54.28	0.260	15.657
12	110	34.26	52.11	0.217	13.047
13	120	33.41	50.19	0.192	11.525
14	140	31.90	46.85	0.166	10.003
15	160	30.57	44.03	0.141	8.4810
16	180	29.32	41.49	0.126	7.6111
17	200	28.14	39.17	0.115	6.9587
18	220	27.14	37.25	0.096	5.7627
19	240	26.22	35.55	0.085	5.1103
20	260	25.12	33.55	0.099	5.9801
21	280	24.51	32.47	0.054	3.2619
22	300	23.78	31.20	0.063	3.8055
23	330	22.82	29.57	0.054	3.2619
24	360	21.92	28.08	0.049	2.9719
25	390	21.12	26.78	0.043	2.6095
26	420	20.34	25.54	0.041	2.4645
27	450	19.65	24.46	0.036	2.1746
28	480	18.96	23.40	0.035	2.1021
29	510	18.39	22.53	0.028	1.7396
30	540	17.78	21.63	0.030	1.8121
31	570	17.26	20.87	0.025	1.5222
32	600	16.66	20.00	0.028	1.7396
33	660	15.77	18.73	0.021	1.2685
34	720	14.92	17.53	0.019	1.1960
35	780	14.15	16.48	0.017	1.0510
36	840	13.42	15.50	0.016	0.9785
37	900	12.82	14.71	0.013	0.7973
38	960	12.15	13.84	0.014	0.8698
39	1020	11.73	13.29	0.009	0.5436
40	1080	11.31	12.75	0.009	0.5436
41	1140	10.93	12.28	0.007	0.4711
42	1200	10.59	11.84	0.007	0.4349

Lampiran 10. Hasil Perhitungan Kadar Air Biji Kakao

KA Awal Bahan : 51.01 % bb
 Suhu dan RH : 40 C dan 43 %
 Kec. Aliran Udara : 0.1 m/det

No	Waktu (menit)	Kadar Air (% bk)		
		Data	STT	Bola
1	0	103.4	102.4	98.00
2	10	100.2	93.28	92.31
3	20	96.76	89.22	88.26
4	30	93.33	86.15	85.09
5	40	90.01	83.60	82.44
6	50	86.83	81.39	80.15
7	60	83.90	79.41	78.11
8	70	81.00	77.60	76.26
9	80	78.28	75.94	74.56
10	90	75.75	74.40	72.99
11	100	73.35	72.95	71.52
12	110	71.10	71.59	70.14
13	120	69.03	70.29	68.84
14	140	65.45	67.89	66.43
15	160	62.34	65.69	64.23
16	180	59.81	63.65	62.21
17	200	57.34	61.76	60.34
18	220	55.80	59.98	58.59
19	240	54.12	58.31	56.96
20	260	52.66	56.72	55.41
21	280	51.33	55.22	53.96
22	300	50.05	53.79	52.57
23	330	48.15	51.76	50.63
24	360	46.51	49.87	48.81
25	390	44.90	48.08	47.12
26	420	43.29	46.40	45.52
27	450	41.93	44.81	44.02
28	480	40.65	43.30	42.60
29	510	39.36	41.87	41.26
30	540	38.22	40.51	39.99
31	570	36.93	39.22	38.78
32	600	35.93	37.98	37.63
33	660	34.03	35.67	35.49
34	720	32.35	33.57	33.54
35	780	30.82	31.64	31.75
36	840	29.42	29.87	30.11
37	900	27.99	28.25	28.61
38	960	26.89	26.76	27.21
39	1020	25.85	25.40	25.93
40	1080	24.88	24.14	24.74
41	1140	23.99	22.98	23.64
42	1200	23.10	21.92	22.62
43	1320	21.45	20.05	20.80
44	1440	20.09	18.46	19.23

Lampiran 11. Hasil Perhitungan Kadar Air Biji Kakao

KA Awal Bahan : 46.34 % bb
 Suhu dan RH : 50 C dan 23 %
 Kec. Aliran Udara : 0.1 m/det

No	Waktu (menit)	Data	Kadar Air (% bk) STT	Bola
1	0	85.16	84.34	80.49
2	10	80.69	73.38	72.47
3	20	76.07	70.37	69.35
4	30	71.67	67.89	66.78
5	40	67.65	65.73	64.56
6	50	63.91	63.80	62.59
7	60	60.83	62.05	60.81
8	70	58.00	60.45	59.18
9	80	55.66	58.95	57.67
10	90	53.77	57.56	56.27
11	100	52.23	56.25	54.95
12	110	50.94	55.00	53.72
13	120	48.81	52.70	51.43
14	140	46.67	50.60	49.37
15	160	44.79	48.67	47.47
16	180	43.11	46.87	45.72
17	200	41.47	45.19	44.10
18	220	39.96	43.62	42.58
19	240	38.67	42.14	41.16
20	260	37.48	40.74	39.82
21	280	36.01	39.41	38.56
22	300	34.65	37.54	36.80
23	320	33.15	35.80	35.16
24	340	31.82	34.17	33.64
25	360	30.56	32.65	32.22
26	380	28.88	31.23	30.90
27	420	28.11	29.89	29.66
28	460	26.78	28.63	28.49
29	500	26.05	27.44	27.39
30	540	25.67	26.32	26.36
31	580	24.86	25.27	25.38
32	600	23.32	23.33	23.58
33	660	21.99	21.60	21.97
34	720	20.81	20.06	20.53
35	780	19.69	18.68	19.22
36	840	18.67	17.45	18.05
37	900	17.73	16.34	16.98
38	960	16.89	15.36	16.02
39	1020	16.12	14.48	15.16
40	1140	15.42	13.69	14.37
41	1200	14.76	12.98	13.66
42	1320	13.61	11.79	12.43
43	1440	12.52	10.83	11.42

Lampiran 12. Hasil Perhitungan Kadar Air Biji Kakao

KA Awal Bahan : 48.25 % bb
 Suhu dan RH : 60 C dan 16 %
 Kec. Aliran Udara : 0.1 m/det

No	Waktu (menit)	Kadar Air (% bk)		
		Data	STT	Bola
1	0	93.23	92.35	83.70
2	10	85.58	79.69	77.66
3	20	78.83	74.36	72.92
4	30	72.98	70.38	69.04
5	40	67.91	67.09	65.76
6	50	63.39	64.26	62.91
7	60	59.55	61.75	60.39
8	70	56.21	59.47	58.12
9	80	53.41	57.40	56.05
10	90	51.07	55.48	54.15
11	100	49.10	53.69	52.39
12	110	47.30	52.01	50.75
13	120	45.72	50.44	49.21
14	140	42.92	47.53	46.40
15	160	40.59	44.91	43.88
16	180	38.50	42.51	41.60
17	200	36.64	40.31	39.52
18	220	35.02	38.28	37.60
19	240	33.55	36.39	35.83
20	260	31.86	34.63	34.19
21	280	30.93	32.99	32.67
22	300	29.85	31.46	31.24
23	330	28.20	29.34	29.28
24	360	26.83	27.41	27.49
25	390	25.50	25.66	25.86
26	420	24.39	24.06	24.37
27	450	23.35	22.60	23.01
28	480	22.34	21.26	21.75
29	510	21.30	20.04	20.60
30	540	20.44	18.93	19.54
31	570	19.61	17.92	18.57
32	600	18.86	16.99	17.67
33	660	17.24	15.36	16.07
34	720	16.02	14.01	14.71
35	780	14.95	12.87	13.55
36	840	14.01	11.93	12.56
37	900	13.11	11.14	11.71
38	960	12.40	10.48	10.99
39	1020	11.57	9.929	10.37
40	1080	11.00	9.468	9.853
41	1140	10.46	9.083	9.403
42	1200	10.03	8.761	9.019
43	1320	9.205	8.268	8.411
44	1440	8.558	7.923	7.967

Lampiran 14. Hasil Perhitungan Kadar Air Biji Kakao

KA Awal Bahan : 48.40 % bb
 Suhu dan RH : 70 C dan 10 %
 Kec. Aliran Udara : 0.1 m/det

No	Waktu (menit)	Kadar Air (% bk)		
		Data	STT	Bola
1	0	92.60	91.71	91.54
2	10	82.62	77.00	76.01
3	20	72.89	70.90	69.67
4	30	65.29	66.37	65.02
5	40	60.30	62.65	61.24
6	50	55.95	59.44	58.02
7	60	52.34	56.62	55.20
8	70	49.33	54.07	52.68
9	80	46.82	51.75	50.39
10	90	44.59	49.61	48.30
11	100	42.61	47.62	46.38
12	110	40.87	45.77	44.59
13	120	39.35	44.03	42.92
14	140	36.74	40.85	39.89
15	160	34.58	38.00	37.19
16	180	32.60	35.42	34.77
17	200	30.54	33.08	32.58
18	220	29.34	30.93	30.59
19	240	27.86	28.96	28.76
20	260	26.44	27.15	27.09
21	280	25.20	25.48	25.54
22	300	24.00	23.94	24.12
23	330	22.44	21.85	22.18
24	360	20.92	19.99	20.45
25	390	19.58	18.34	18.89
26	420	18.37	16.88	17.50
27	450	17.10	15.57	16.25
28	480	16.07	14.41	15.12
29	510	15.05	13.38	14.11
30	540	14.23	12.46	13.19
31	570	13.39	11.64	12.37
32	600	12.85	10.91	11.63
33	660	11.58	9.686	10.35
34	720	10.59	8.715	9.319
35	780	9.745	7.945	8.474
36	840	9.002	7.335	7.787
37	900	8.401	6.852	7.227
38	960	7.800	6.469	6.771
39	1020	7.410	6.166	6.400
40	1080	6.986	5.926	6.098
41	1140	6.632	5.735	5.852
42	1200	6.384	5.585	5.651
43	1320	5.889	5.371	5.355
44	1440	5.500	5.236	5.158

Lampiran 15. Hasil Perhitungan Kadar Air Biji Kakao

KA Awal Bahar : 46.77 % bb
 Suhu dan RH : 80 C dan 7 %
 Kec. Aliran Udara : 0.1 m/det

No	Waktu (menit)	Kadar Air (%bk)		
		Data	STT	Bola
1	0	86.99	86.14	85.99
2	10	77.14	69.68	68.63
3	20	67.49	62.99	61.73
4	30	59.76	58.05	56.71
5	40	53.76	54.03	52.67
6	50	49.22	50.58	49.26
7	60	45.64	47.56	46.28
8	70	42.64	44.85	43.64
9	80	40.09	42.40	41.27
10	90	37.91	40.15	39.12
11	100	36.03	38.08	37.14
12	110	34.23	36.16	35.32
13	120	32.76	34.38	33.64
14	140	30.14	31.14	30.61
15	160	27.54	28.29	27.96
16	180	25.47	25.76	25.62
17	200	23.08	23.51	23.53
18	220	21.55	21.49	21.66
19	240	19.88	19.69	19.98
20	260	18.44	18.07	18.47
21	280	17.08	16.62	17.10
22	300	15.85	15.32	15.86
23	330	14.29	13.62	14.22
24	360	12.14	12.17	12.80
25	390	11.42	10.93	11.57
26	420	10.23	9.886	10.51
27	450	9.484	8.993	9.594
28	480	8.768	8.233	8.795
29	510	8.188	7.586	8.102
30	540	7.541	7.036	7.502
31	570	7.029	6.568	6.981
32	600	6.654	6.169	6.528
33	660	5.973	5.542	5.796
34	720	5.495	5.088	5.245
35	780	5.052	4.760	4.830
36	840	4.746	4.522	4.518
37	900	4.575	4.349	4.282
38	960	4.371	4.225	4.105
39	1020	4.132	4.134	3.972
40	1080	3.893	4.069	3.872
41	1140	3.723	4.022	3.797
42	1200	3.655	3.988	3.740
43	1320	3.484	3.945	3.665
44	1440	3.416	3.922	3.622

Lampiran 16. Program komputer untuk perhitungan kadar air.

```

10 CLS
20 ***** KARAKTERISTIK PENGERINGAN BUI KAKAO *****
30 *****      Oleh :      *****
40 *****      PARDOMUAN      *****
50 *****      F 26 0340      *****
60 DEF FNY(X) = X*100/(100-X)
70 DIM T(1000),WD(1000)
80 INPUT"JUDUL      =",J$
90 INPUT "KADAR AIR AWAL (bb)      =",KAA
100 INPUT"BERAT WADAH      =",BW
110 INPUT"TEMPERATUR      =",T
120 INPUT"RELATIVE HUMIDITY      =",RH
125 INPUT"KECEPATAN ALIRAN UDARA      =",V
130 INPUT"BERAT BUI AWAL TIMBANGAN MEJA      =",BA
140 INPUT"BERAT BUI AKHIR TIMBANGAN MEJA      =",BZ
150 INPUT"NAMA FILE DATA PERCOBAAN      =",PLS$:PRINT
160 BK = FNY(KAA)
170 INPUT"APAKAH DATA SUDAH DIREKAM ?";DS
180 IF D$="Y" OR D$="y" THEN GOTO 310
190 PRINT"SIAPKAN DISKET UNTUK DATA PENIMBANGAN ";PLS$ : BS=INPUT$(1)
200 OPEN "I",1,"F:AND1*.*"
210 CLS
220 OPEN "O",2,"F:PLS$+"
230 I=0
240 IF EOF(1) THEN 290
250 INPUT #1, WD(I)
260 IF WD(I)=0 THEN 240
270 WRITE #2,WD(I)
280 I=I+1 : GOTO 240
290 CLOSE
300 PRINT
310 INPUT"APAKAH DATA PERCOBAAN SUDAH DICETAK ? Y(a)/B(elum)";P$
320 IF P$="Y" OR P$="y" THEN GOTO 650
330 PRINT"SIAPKAN KERTAS UNTUK MENCETAK DATA PERCOBAAN";PLS$:BS=INPUT$(1)
340 PRINT TAB(15);J$:PRINT
350 PRINT TAB(10);"KADAR AIR AWAL BAHAN (bb)      : ";KAA; "%"
360 PRINT TAB(10);"BERAT WADAH TOTAL      : ";BW; "gram"
370 PRINT TAB(10);"TEMPERATUR      : ";T; "C"
380 PRINT TAB(10);"RELATIVE HUMIDITY      : ";RH; "%"
390 PRINT TAB(10);"KECEPATAN ALIRAN UDARA      : ";V; "m/dt"
400 PRINT :PRINT
410 PRINT"SIAPKAN DISKET UNTUK MEMBACA DATA PERCOBAAN";PLS$:BS=INPUT$(1)
420 GOSUB 1050
430 PRINT TAB(24);"NO. ";TAB(34);"WAKTU (menit)";TAB(53);"BERAT (gram)"
440 GOSUB 1050
450 OPEN "I",2,"F:PLS$*.*"
460 I=0
470 IF EOF(2) THEN GOTO 500
480 INPUT #2,WD(I)
490 I=I+1 : GOTO 470
500 CLOSE #2 : M=I-1
510 DIM WN(M)
520 BB=BA-BW
530 BK=BZ-BW
540 EVA=BB-BK
550 EVB=WD(0)-WD(M)
560 DEVA=EVA-EVB
570 WX=BB-DEVA : BX=WD(0) : TX=-10
580 FOR I=0 TO M
590 T(I)=TX+10
600 WN(I)=WX-(BX-WD(I))
610 PRINT USING"      ###      #####      ###.##";I+1;T(I);WN(I)
620 WX=WN(I) : BX=WD(I) : TX=T(I)
630 NEXT I : K=I-1
640 GOSUB 1050

```

```

650 OPEN "I",2,"F:PLSS++"
660 PRINT "DATA TELAH SIAP DIOLAH, SEDIAKAN KERTAS"
670 WW=KAA*WN(0)/100
680 PRINT
690 PRINT TAB(15);J$:PRINT:PRINT
700 PRINT TAB(10);"PERUBAHAN KADAR AIR BAHAN SELAMA PENERINGAN"
710 PRINT TAB(10);"KADAR AIR AWAL BAHAN (bb) :";KAA;"%"
720 PRINT TAB(10);"TEMPERATUR :";T
730 PRINT TAB(10);"RELATIVE HUMIDITY :";RH;"%"
740 PRINT TAB(10);"KECEPATAN ALIRAN UDARA :";V;"m/dt":PRINT:PRINT
750 GOSUB 1050
760 PRINT " NO. WAKTU KA(%bb) KA(%bk) LAJU PENERINGAN"
770 PRINT " (menit) bk/mt bk/jam"
780 GOSUB 1050
790 TI=T(0)
800 PRINT : INPUT "NAMA FILE HASIL PERHITUNGAN : ",HPLS$
810 PRINT "SIAPKAN DISKET UNTUK MEREKAM HASIL PERHITUNGAN";PLSS:B$=INPUT$(1)
820 OPEN "O",1,"F:HPLS$+"
830 FOR J=0 TO K
840 UA=WN(0)-WN(J) : KAB=(WW-UA)/(BB-UA)*100
850 KBK=FNY(KAB)
860 IF J=0 THEN LAJ=0 : LAJ1=LAJ*60 : GOTO 890
880 LAJ=(BK-KBK)/(T(J)-TI) : LAJ1=LAJ*60
890 PRINT USING "### #### ###.## ##.### ##.####";J+1;T(J);KAB;KBK;LAJ;LAJ1
900 WRITE #1,T(J),KAB,KBK,LAJ,LAJ1
910 BK=KBK : TI=T(J)
920 NEXT J
930 CLOSE
940 GOSUB 1050
950 DIM KA(600,4)
960 PRINT "SIAPKAN DISKET UNTUK MEREKAM HASIL PERHITUNGAN : ";HPLS$:B$=INPUT$(1)
970 OPEN "I",1,"F:HPLS$"
980 FOR I=0 TO 650
990 FOR J=0 TO 4
1000 INPUT #1,KA(I,J)
1010 IF EOF(1) THEN GOTO 1040
1020 NEXT J:NEXT I
1030 CLOSE
1040 END
1050 PRINT "-----"
1060 RETURN

```

Lampiran 17. Program untuk menentukan nilai M dan K.

```

10 CLS
20 **** KARAKTERISTIK PENGERINGAN LAPISAN TIPIS BIJI KAKAO ****
30 *****OLEH : PARDOMUAN F 26.0340 *****
40 PRINT
50 ***** PROGRAM UNTUK MENENTUKAN NILAI Me DAN K *****
60 PRINT
70 DEF FNKB(X)=X/(100+X)*100
80 DEF FNKK(X)=X/(100-X)*100
90 DEF FNSTTM(N,Y,Z)=4*EXP(-1*(N^2*Z*Y/9.8696))/N^2
100 DEF FNSTTK(N,Y,Z)=Y*EXP(-1*(N^2*Z*Y/9.8696))
110 DEF FNBOLM(X,Y,Z)=EXP(-1*(X^2*Z*Y))/X^2
120 DEF FNBOLK(X,Y,Z)=Y*EXP(-1*(X^2*Z*Y))
130 INPUT "NAMA FILE DATA KADAR AIR?";+HPLS$:PRINT
140 INPUT "JUDUL PENELITIAN :";JUDUL$
150 INPUT "TEMPERATUR DAN RH :";T$
160 INPUT "KECEPATAN ALIRAN UDARA :";V$
170 P$="METODE SILINDER TAK TERBATAS"
180 A$="METODE B O L A"
190 PRINT : PRINT : PRINT
200 PRINT "SIAPKAN DISKET UNTUK MEMBACA DATA KADAR AIR";HPLS$:B$=INPUT$(1)
210 DIM KA(1000,4),BS(40),A(1,2),DF(2),X(1)
220 *****PEMBACAAN AKAR FUNGSI BESSEL****
230 FOR I=0 TO 39
240 READ BS(I)
250 NEXT I
260 ****PEMBACAAN DATA KADAR AIR***
270 OPEN "I",1,"A:+PLS$"
280 FOR I=0 TO 600
290 FOR J=0 TO 4
300 INPUT #1,KA(I,J)
320 IF EOF(1) THEN GOTO 340
330 NEXT J : NEXT I
340 CLOSE #1
350 JD=I
360 INPUT "NILAI DUGAAN Me =",ME
370 INPUT "NILAI DUGAAN K =",K
380 PRINT TAB(10);"MODEL YANG DIGUNAKAN : "
390 PRINT TAB(10);"(1) MODEL SILINDER TAK TERBATAS"
400 PRINT TAB(10);"(2) MODEL BOLA "
410 INPUT "PILIH NOMOR MODEL YANG DIGUNAKAN =";Z
420 IF Z=1 THEN 440
430 INPUT "JUMLAH DERET YANG DIGUNAKAN =",DRT
440 INPUT "DATA AWAL YANG DIGUNAKAN UNTUK MENDUGA PARAMETER =",DA
450 PRINT "DUGAAN NILAI Me =",ME; " DUGAAN NILAI K =",K
460 PRINT : PRINT
470 PRINT TAB(9);"-----"
480 PRINT TAB(10);" Me K DMe DK SD
490 PRINT TAB(9);"-----"
500 MO = KA(0,2)
510 FOR I=0 TO 1
520 FOR J=0 TO 2
530 A(I,J) = 0
540 NEXT J : NEXT I
550 SD = 0
560 IF Z=1 THEN GOTO 580
570 IF Z=2 THEN GOTO 780
580 ***** MODEL SILINDER TAK HINGGA *****
590 FOR I=DA TO JD
600 TSTTM = 0 : TSTTK = 0
610 T = KA(I,0)/60
620 FOR N=0 TO 39
630 BSL = BS(N)
640 JSTTM = FNSTTM(BSL,T,K)
650 JSTTK = FNSTTK(BSL,T,K)
660 TSTTM = TSTTM + JSTTM : TSTTK = TSTTK + JSTTK
670 NEXT N

```

```

680 TME = 1 - TSTTM : DF(0) = TME
690 TK = -4/9.8696*(MO-ME)*TSTTK : DF(1)= TK
700 DF(2) = KA(I,2) - (MO-ME)*TSTTM - ME
710 FOR J1=0 TO 1
720 FOR J2=0 TO 2
730 A(J1,J2) = A(J1,J2) + DF(J1)*DF(J2)
740 NEXT J2 : NEXT J1
750 SD = SD + DF(2)^2
760 NEXT I
770 GOSUB 1140 : GOTO 970
780 ***** MODEL BOLA *****
790 FOR I=DA TO JD
800 TBLM = 0 : TBLK = 0
810 T = KA(I,0)/60
820 FOR U=1 TO DRT
830 JBLM = FNBOLM(U,T,K)
840 JBLT = FNBOLK(U,T,K)
850 TBLM = TBLM + JBLM : TBLK = TBLK + JBLT
860 NEXT U
870 TME = 1-6/9.8696*TBLM : DF(0) = TME
880 TK = -(MO-ME)*6/9.8696*TBLK : DF(1) = TK
890 DF(2) = KA(I,2) - (MO-ME)*6/9.8696*TBLM - ME
900 FOR J1=0 TO 1
910 FOR J2=0 TO 2
920 A(J1,J2) = A(J1,J2) + DF(J1)*DF(J2)
930 NEXT J2 : NEXT J1
940 SD = SD + DF(2)^2
950 NEXT I
960 GOSUB 1140 : GOTO 970
970 ***** CETAK HASIL PERHITUNGAN *****
980 SD = SQR(SD/JD)
990 DME = X(0) : DK = X(1)
1000 ME = ME + DME : K = K + DK
1010 PRINT USING "    ###.### #.### #.##### #.##### #.#####";ME;K;DME;DK;SD
1020 IF ABS(DME/ME) > .000005 THEN GOTO 510
1030 IF ABS(DK/K) > .000005 THEN GOTO 510
1040 PRINT TAB(9);"-----"
1050 PRINT USING "    ME = ###.### (%BK)    K = ###.###/JAM";ME;K
1060 GOTO 1400
1070 DATA 2.4048,5.5201,8.6540,11.7920,14.9310,18.1710,21.2120,24.3520,27.4930
1080 DATA 30.6350,33.7758,36.9171,40.0584,43.1998,46.3412,49.2846,52.6241
1090 DATA 55.7655,58.9070,62.0485,65.1900,68.3315,71.4730,74.6145,77.7560
1100 DATA 80.8976,84.0391,87.1806,90.3222,93.4637,96.6053,99.7468,102.8880
1110 DATA 106.0300,109.1720,112.3130,115.4550,118.5960,121.7380,124.8790
1120 END
1130 '
1140 ***** SUBPROGRAM PENYAPUAN GAUSS YORDAN *****
1150 '
1160 FOR D=0 TO 1
1170 R(D) = A(D,2)
1180 NEXT D
1190 FOR II=0 TO 1
1200 W = A(II,II)
1210 A(H,II) = 1
1220 FOR J=0 TO 1
1230 A(H,J) = A(H,J)/W
1240 NEXT J
1250 FOR JH=0 TO 1
1260 IF JH=H THEN GOTO 1320
1270 W = A(JH,II)
1280 A(JH,II) = 0
1290 FOR JG=0 TO 1
1300 A(JII,JG) = A(JH,JG)-A(II,JG)*W
1310 NEXT JG
1320 NEXT JH
1330 NEXT H
1340 FOR I=0 TO 1
1350 X(I) = 0
1360 FOR J=0 TO 1

```

```

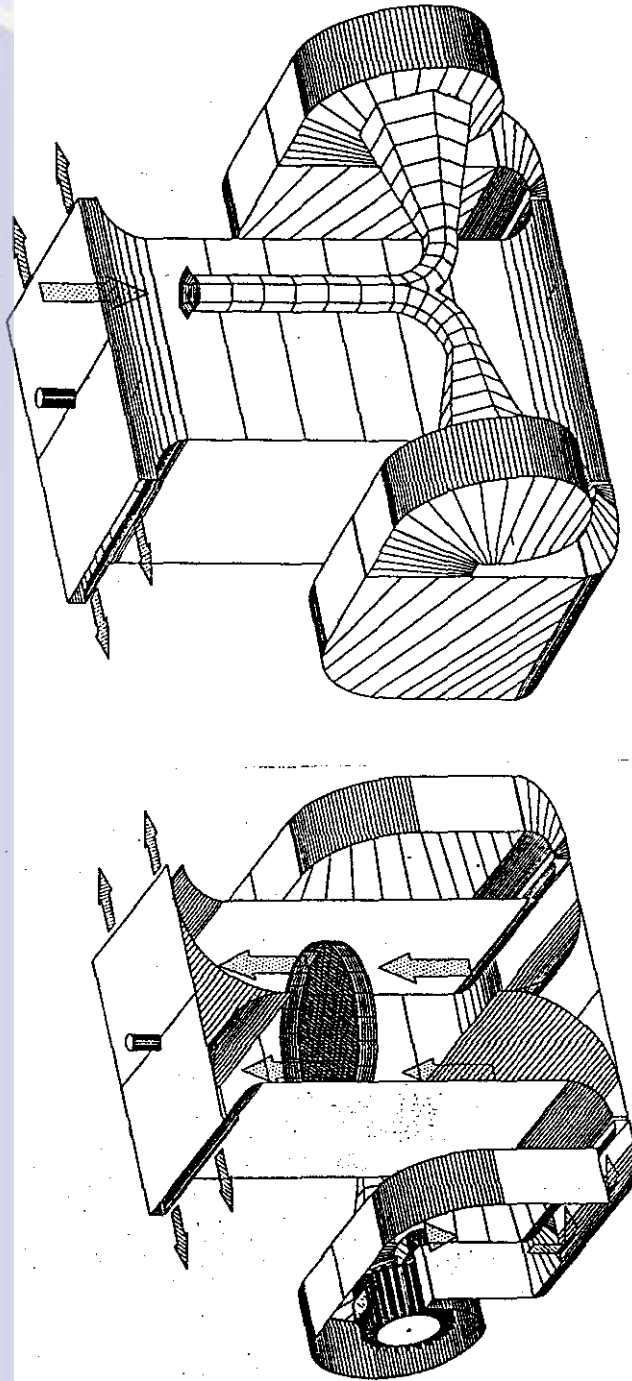
1370 X(I) = X(I)+A(I,J)*R(J)
1380 NEXT J : NEXT I
1390 RETURN
1400 '*** PERHITUNGAN PERUBAHAN KADAR AIR ***
1410 PRINT "SIAPKAN KERTAS UNTUK HASIL PERHITUNGAN PERUBAHAN KADAR AIR":
BS=INPUT$(1)
1420 SD = 0 : SDI = 0
1430 KARAT = 0 : MO = KA(0,2)
1440 INPUT "Nama file hasil banding",VINO$
1450 PRINT "Siapkan disket untuk merekam"
1460 OPEN "O",2,"B:+vino$"
1470 FOR I=0 TO JD
1480 T = KA(I,0)/60
1490 IF Z=2 THEN GOTO 1580
1500 '***** METODE SILINDER TAK TERBATAS *****
1510 JK = 0
1520 FOR AP=0 TO 39
1530 FQS = FNSTTM(BS(AP),T,K)
1540 JK = JK + FQS
1550 NEXT AP
1560 KA(I,3) = ME + (MO-ME)*JK
1570 GOTO 1650
1580 '***** METODE BOLA *****
1590 AR = 0
1600 FOR M=1 TO DRT
1610 DE = FNBOLM(M,T,K)
1620 AR = AR + DE
1630 NEXT M
1640 KA(I,3) = ME+(MO-ME)*6/9.8696*AR
1650 SD = SD+(KA(I,3)-KA(I,2))^2 : KA(I,4) = FNKB(KA(I,3))
1660 SDI = SDI+(KA(I,4)-KA(I,1))^2
1670 KARAT = KARAT+KA(I,2)
1680 WRITE #2,KA(I,0),KA(I,1),KA(I,2),KA(I,3),KA(I,4)
1690 NEXT I
1700 CLOSE #2
1710 KARAT = KARAT/(JD+1)
1720 SD = SQR(SD/JD) : SDI = (SDI/JD)
1730 YD = 0 : YDAT = 0
1740 FOR I=0 TO JD
1750 YD = YD+(KA(I,3)-KARAT)^2
1755 YDAT=YDAT+(KA(I,2)-KARAT)^2
1757 IF I=JD THEN GOTO 1770
1760 NEXT I
1770 COD = YD/YDAT
1780 PRINT "COD =";COD
1790 '*** MENGHITUNG NILAI STATISTIK ***
1800 DI=0 : DI2=0
1810 FOR I=0 TO JD
1820 DI=DI+(KA(I,3)-KA(I,2))
1830 DI2=DI2+(KA(I,3)-KA(I,2))^2
1840 NEXT I
1850 DB=JD
1860 SD2=((JD+1)*DI2-DI^2)/((JD+1)*JD)
1870 SDI=SQR(SD2)
1880 T=(DI/(JD+1))/(SDI/SQR(JD+1))
1890 PRINT "Siapkan kertas untuk uji keabsahan model";H$=INPUT$(1)
1900 PRINT TAB(15);JUDUL$
1910 IF Z=2 THEN GOTO 1930
1920 PRINT TAB(20);P$:PRINT:GOTO 1940
1930 PRINT TAB(27);A$:PRINT
1940 PRINT TAB(10);T$
1950 PRINT TAB(10);V$
1960 PRINT USING " ME = ##.### (%bk)      K = ##.###/jam ";ME,K
1970 PRINT:PRINT
1980 PRINT USING " c.o.d      = ##.### ";COD
1990 PRINT USING " deviasi(%bk) = ##.### ";SD
2000 PRINT USING " deviasi(%bb) = ##.### ";SDI
2010 PRINT USING " T hitung    = ##.### ";T
2020 PRINT USING " Derajat Bebas = #### ";DB

```

```

2030 ***** Pencetakan Hasil Perbandingan *****
2040 PRINT TAB(10);JUDUL$
2050 PRINT TAB(10);"PERUBAHAN KADAR AIR BIJI KAKAO PERHITUNGAN":PRINT
2060 IF Z=2 THEN GOTO 2080
2070 PRINT TAB(20);P$ : PRINT : GOTO 2090
2080 PRINT TAB(27);A$ : PRINT
2090 PRINT TAB(10);"SUHU DAN RH      : ";T$
2100 PRINT TAB(10);"KECEPATAN ALIRAN UDARA : ";V$
2105 PRINT
2110 PRINT USING "      Me= ###.####(%bk) dan K= ###.####/JAM ";ME,K :LPRINT:LPRINT
2111 PRINT "-----"
2112 PRINT " NO      WAKTU      KA (%BK)      KA (%BB)  "
2113 PRINT " (menit)  DATA      HITUNG  DATA      HITUNG"
2114 PRINT "-----"
2120 OPEN "1",2,"A:Vino$+"
2130 FOR I=0 TO JD
2140 FOR J=0 TO 4
2150 INPUT #2,KA(I,J)
2160 IF EOF(2) THEN GOTO 2180
2170 NEXT J:NEXT I
2180 N=0
2190 FOR J=0 TO JD
2200 IF J <= 12 THEN GOTO 2240
2210 IF J <= 21 THEN N=N+1 :GOTO 2240
2220 IF J <= 31 THEN N=N+2 : GOTO 2240
2230 N=N+5
2240 I=J+N
2250 PRINT USING " ###      ####      ###.###      ###.###      ###.###
###.###";J+1;KA(I,0);KA(I,2);KA(I,3);KA(I,1);KA(I,4)
2260 IF I=JD THEN 2280
2270 NEXT J
2280 CLOSE #2
2290 GOSUB 2310
2300 END
2310 PRINT "-----"
2320 RETURN
2330 END

```



Lampiran 18. Skema Bagian Dalam Alat pengering.

DAFTAR PUSTAKA

- Aluisius Arisubagijo. 1990. Model Matematik Pengeringan Lapisan Tipis Coklat. Skripsi. Jurusan Mekanisasi Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB. Bogor.
- Atjeng M. Syarief, Darmawan Subekti dan Ervan Adi Nugroho, 1988. Pengolahan Cokelat. Jurusan Mekanisasi Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB. Bogor.
- Biro Pusat Statistik. 1991. Statistik Indonesia. Biro Pusat Statistik. Jakarta.
- Bravo, A. and D.R. McGaw . 1974. Fundamental artificial drying karakteristik of cocoa beans. TAGLA 51(3) : 361.
- Brooker, D.B., F.W. Bakker-Arkema and C.W. Hall. 1974. Drying Cereal Grain. The AVI Publishing Co. Inc., Westport, Connecticut.
- Buckle, K.A., R.A. Edwards, G.H. Fleet and M. Wootton. 1978. Food Science. Australian-Asian Universities Cooperation Scheme. New South Wales. Kensington, Australia.
- Chatt, E.M. 1953. Cacao. Cultivation, Processing, Analysis. New York, Interscience. 302 p.
- Choirul Anwar. 1987. Model Matematik Pengeringan Lapisan Tipis Cengkeh (*Eugenia Caryophyllus* S.). Skripsi. Jurusan Mekanisasi Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB. Bogor.
- Faborode, M.O., J.F. Favier, O.A. Ajavi, J.L. Woods, O.O. Ajibola, and J.R. O'callaghan, 1992. On the effects of forced air drying on cocoa quality. J. Agric. Engng. (in-Press).
- F.G. Winarno, Srikandi Fardiaz dan Dedi Fardiaz. 1980. Pengantar Teknologi Pangan. Penerbit PT. Gramedia. Jakarta.

- Hall, C.W. 1957. *Drying Farm Crops*. Avi Publishing Co. Inc., Westport, Connecticut.
- Hall, C.W. 1980. *Drying and Storage of Agricultural Crops*. The AVI Publishing Co. Inc., Westport, Connecticut.
- Hardjosuwito. 1982. Pengaruh pencucian terhadap kadar kulit dan kadar lemak pada hasil pengolahan cokelat. *Menara Perkebunan*, 50(3), 77-80.
- Heldman, D.R. and R.P. Singh. 1980. *Food Process Engineering*. 2nd Edition. The AVI Publishing Co. Inc. Westport, Connecticut.
- Henderson, S.M. 1952. A Basic concept of equilibrium moisture. *Journal of Agricultural Engineering* 33:29.
- Henderson, S.M. and S. Pabis. 1961. Grain Drying Theory. I: Temperatur effect on drying coefficient. *Journal of Agricultural Research* 6(3):169.
- Henderson, S.M. and R.L. Perry. 1976. *Agricultural Process Engineering*. The Avi Publishing Co. Inc., Westport, Connecticut.
- Nishiyama, Y. 1982. Deep layered grain simulation by sphere drying model. *J. of the Fac. of. Agric. Iwate University* 16(1). 49-59.
- Nugroho, F. Soesianto dan P.I. Santoso. 1985. *Pemrograman BASIC*. Andi Offset, Yogyakarta.
- Oskari Atmawinata. 1979. *Isoterm Sorpsi Air Dan Percobaan Penyimpanan Biji Coklat (*Theobroma cacao* L.)*. Thesis. Fakultas Pasca Sarjana, IPB. Bogor.
- Paulus Widya Adi. 1991. *Mempelajari Karakteristik Pengeringan Lapisan Tipis Bawang Putih Dan Kacang Tanah*. Skripsi. Jurusan Mekanisasi Pertanian, IPB. Bogor.
- Ridwan Thahir, Kamaruddin Abdullah, Eryatno, Prabowo Tjitropranoto dan A. Hosokawa. 1985. Mathematical model for paddy drying. *Forum Pasca Sarjana* 8(2):25

- Ridwan Thahir. Sutrisno dan Kamaruddin Abdullah, 1988. Dasar-dasar dan teknik pengeringan biji-bijian. Balittan Sukamandi. Bogor.
- Rohan, T.A. 1958. Processing of raw cocoa. I. Small scale fermentation, J. Sci. Food Agr., 9:104-111.
- Sigit Pramuji. 1992. Mempelajari Karakteristik Pengeringan Dan Menentukan Kadar Air Keseimbangan Dinamis Serta Konstanta Pengeringan Lada Hitam (*Piper nigrum* L.). Skripsi. Jurusan Mekanisasi Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB. Bogor.
- Soenaryo dan Z.M. Manurung. 1978. Catatan perkembangan produksi, konsumsi dan teknologi hasil/pengolahan kopi-coklat beberapa tahun terakhir. Pert. Tekn. Pener. Tekn. Dalam Bidang Hasil Pertanian, IPB. Bogor.
- Stoecker, W.F. 1971. Design of Thermal Systems. Mc Graw Hill Kogusha Ltd. 244p.
- Sulaiman Effendi. 1991. Pedoman pengolahan biji kakao. Pusat Penelitian Perkebunan Bogor. Bogor.
- Sulaiman Effendi, F.G. Winarno, M. Anwar Nur dan Suhadi Hardjo. 1983. Pengaruh kondisi pengolahan terhadap mutu biji cokelat (*Theobroma cacao* L.) di Perkebunan Bunisari. Menara Perkebunan, 51(2), 47-56.
- Walpole, R.E. and R.H. Myers. 1978. Probability and Statistics for Engineers and Scientist, 2nd. Macmillan Publishing Co., Inc., New York.
- White, E.M., T.C. Bridges, O.J. Loewer and I.J. Ross. 1981. Thin layer drying model for soybeans. Transaction of the ASAE 24(6):1643.
- Wood, G.A.R.. 1975. Cocoa, Third Edition. Longman Group. London.

Yayan Cahyana. 1989. Mempelajari Karakteristik Proses Pengeringan Kakao (*Theobroma cacao* L.) dengan Alat Pengering Tipe Rak. Skripsi. Fakultas Teknologi Pertanian, IPB. Bogor.

Zulkifli M. Manurung. 1982. Simulasi Pengeringan Biji Coklat (*Theobroma cacao* L.) Dengan Alat Pengering Tipe Bak. Thesis. Fakultas Pasca Sarjana, IPB. Bogor.

