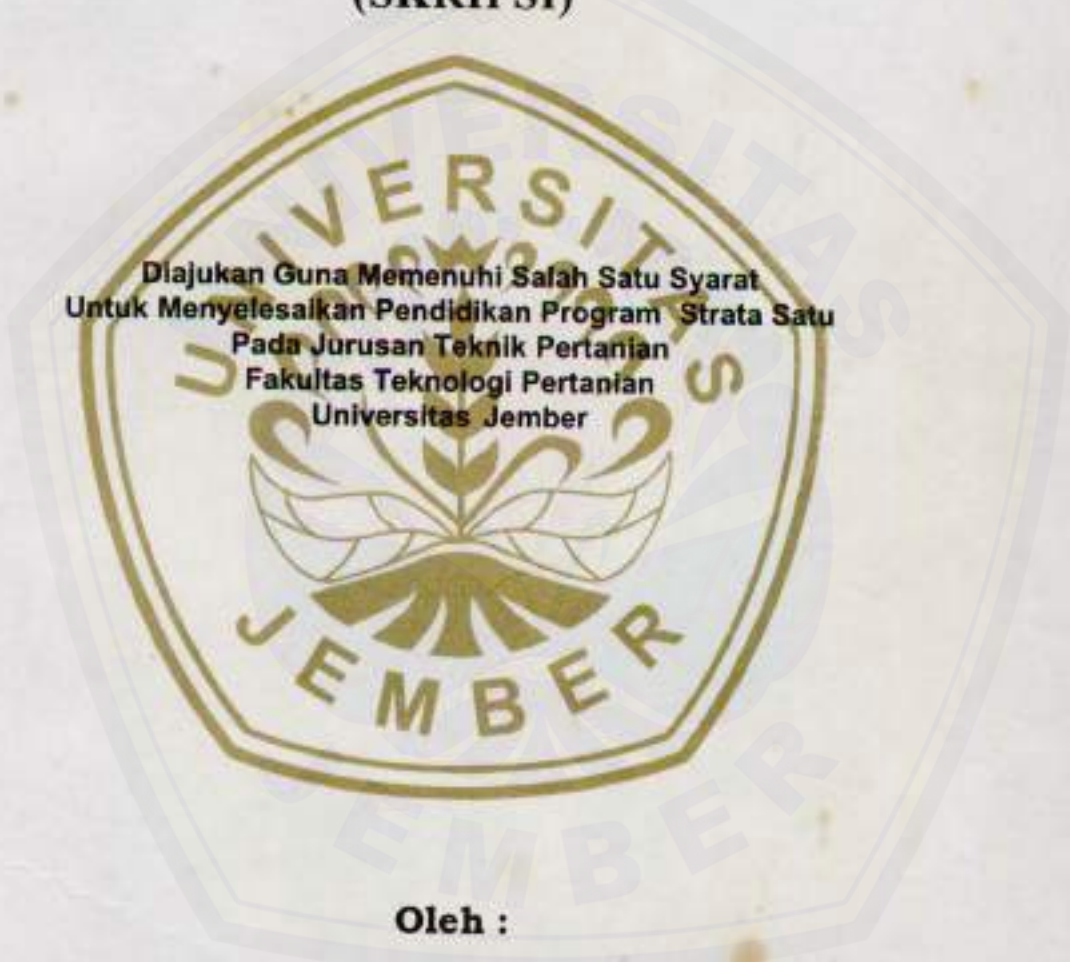




**ANALISIS HUBUNGAN AKTIVITAS AIR DENGAN KADAR  
AIR SETIMBANG (KAS) PADA BIJI KAKAO DENGAN  
PERSAMAAN HENDERSON**

**KARYA ILMIAH TERTULIS  
(SKRIPSI)**

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat  
Untuk Menyelesaikan Pendidikan Program Strata Satu  
Pada Jurusan Teknik Pertanian  
Fakultas Teknologi Pertanian  
Universitas Jember



Oleh :

**CAHAYA PITALOKA**  
NIM. 971710201003

**FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN  
UNIVERSITAS JEMBER  
2001**

5

Asal	0 001 2001	Klasifikasi	663.92
Terima	10236966	Penyimpanan	PIT
No. urut			2

## MOTTO

*Apakah kamu mengira bahwa kamu akan dibiarkan  
(begitu saja), sedang Allah belum mengetahui (dalam kenyataan)  
orang-orang yang berusaha diantara kamu  
dan tidak mengambil menjadi teman setia selain Allah,  
Rosul-Nya dan orang-orang yang beriman.  
Dan Allah Maha Mengetahui apa yang kamu kerjakan.  
(At Taubah : 16)*

*Dan Tuhanmu adalah Tuhan Yang Maha Esa;  
Tidak ada Tuhan melainkan Dia Yang Maha Pemurah  
Lagi Maha Penyayang  
(Al Baqarah : 163)*

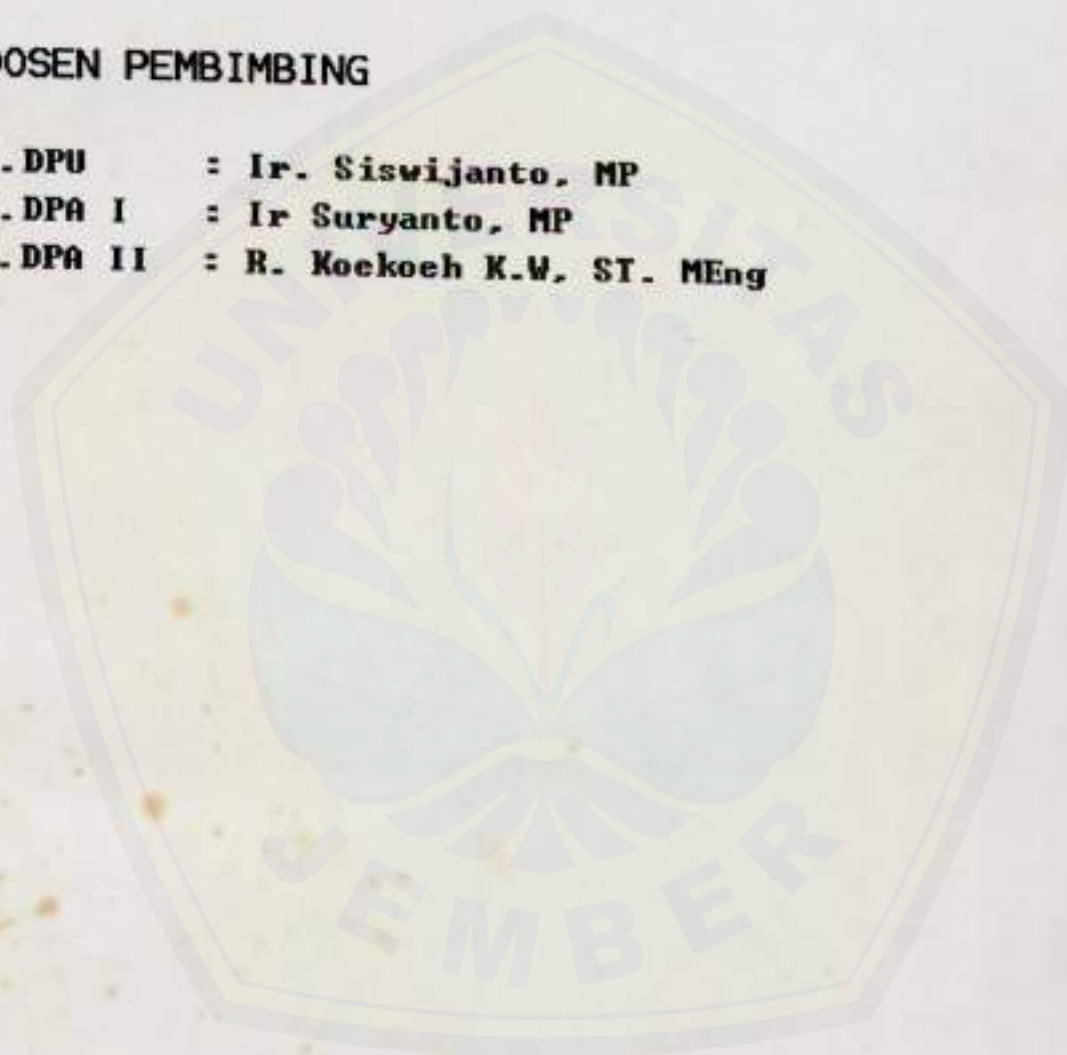
## PERSEMBAHAN

*Karya ini kupersembahkan untuk :*

- 1. Ayah dan Ibunda tercinta yang selalu memberi dorongan, bimbingan, do'a dan kasih sayangnya*
- 2. Keluarga Besar Soetiyar B.S yang selalu memberikan do'a*
- 3. Saudara-saudara-ku (mba' Palupi dan mba' Chandra) dan keponakan-keponakan-ku (mbak Nurul, dik Nadya, dik Iqbar dan dik Putri) yang selalu memberikan kasih sayangnya*
- 4. Mas Donny yang memberikan segala bantuan, dorongan dan do'a*

**DOSEN PEMBIMBING**

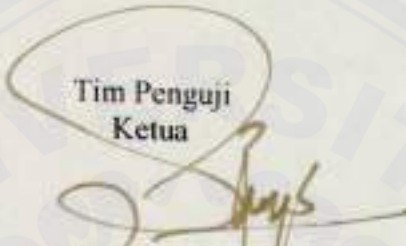
- 1. DPU : Ir. Siswijanto, MP**
- 2. DPA I : Ir Suryanto, MP**
- 3. DPA II : R. Koekoeh K.W, ST. MEng**




Diterima Jurusan Teknik Pertanian  
Fakultas Teknologi Pertanian  
Universitas Jember

Dipertahankan pada  
Hari : Kamis  
Tanggal : 4 Oktober 2001  
Tempat : Fakultas Teknologi Pertanian  
Universitas Jember

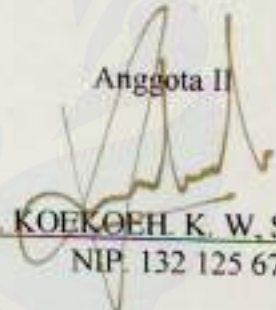
Tim Penguji  
Ketua

  
Ir. SISWIJANTO, MP  
NIP. 130 802 225

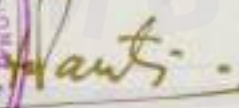

Anggota I

  
Ir. SURYANTO, MP  
NIP. 131 759 841

Anggota II

  
R. KOEKOEH K. W. ST. MEng  
NIP. 132 125 679

Mengesahkan  
Dekan

  
  
Ir. Hj. SITI HARTANTI, MS  
NIP. 130 350 763

## KATA PENGANTAR

Segala puji penulis panjatkan kehadirat Allah Subhanahu Wata'alla yang telah melimpahkan rahmat, hidayah dan inayah-Nya, sehigga penulisan Karya Ilmiah Tertulis dengan judul " **Analisis Hubungan Aktivitas Air Dengan Kadar Air Setimbang (KAS) Pada Biji Kakao Dengan Persamaan Henderson** " ini dapat diselesaikan dengan baik.

Karya Ilmiah Tertulis ini disusun guna memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar sarjana strata satu pada Jurusan Teknik Pertanian di Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.

Dalam melakukan penelitian dan penyelesaian penulisan Karya Ilmiah Tertulis ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

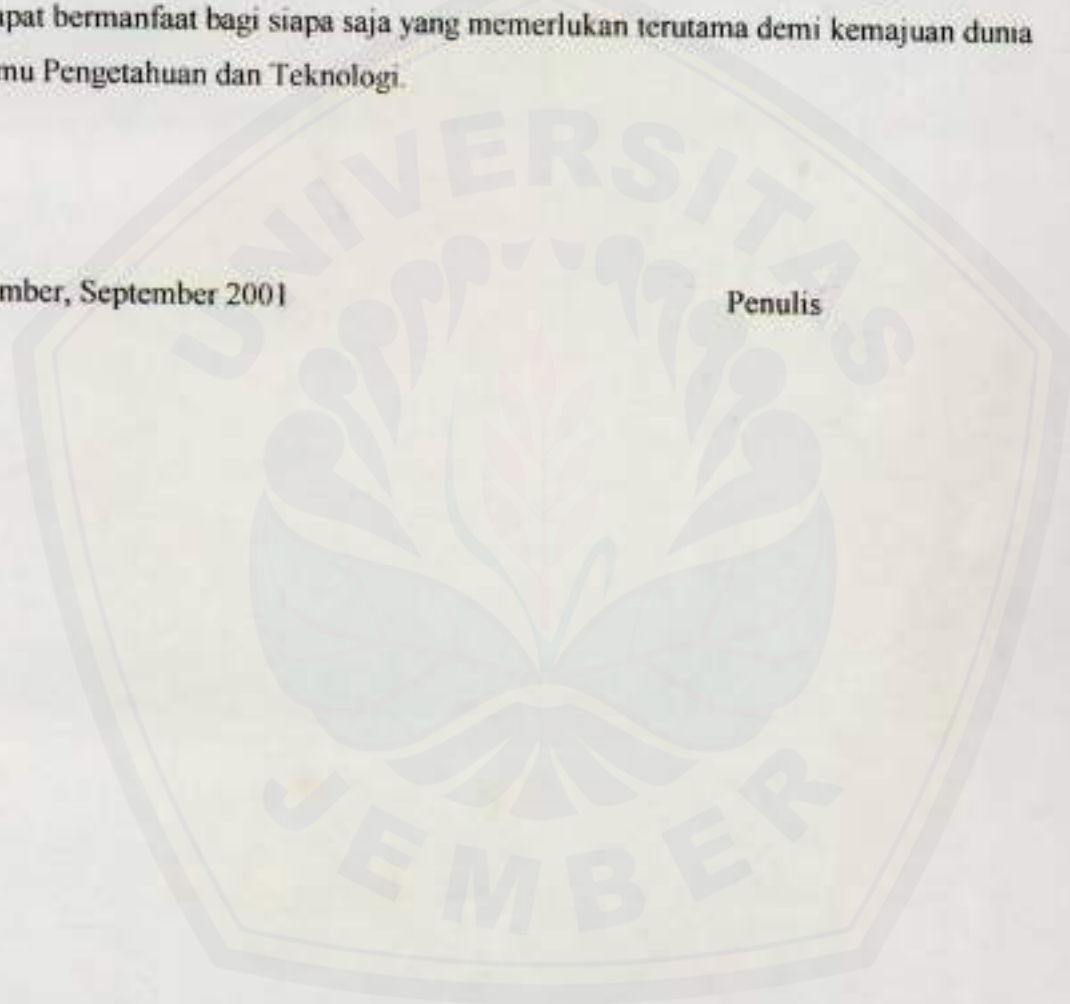
- 1) Ir. Hj. Siti Hartanti , MS selaku Dekan Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember;
- 2) Ir. Siswijanto, MP selaku Ketua Jurusan Teknik Pertanian sekaligus Dosen Pembimbing Utama yang telah memberikan bimbingan dan arahan dalam penyusunan Karya Ilmiah Tertulis ini;
- 3) Ir. Suryanto, MP selaku Dosen Pembimbing Anggota I yang telah memberikan bimbingan dan arahan dalam pelaksanaan penelitian serta penulisan Karya Ilmiah Tertulis ini;
- 4) R. Koekoeh K.W, ST. MEng , selaku Dosen Pembimbing Anggota II yang telah memberikan kritik dan saran demi kesempurnaan Karya Ilmiah Tertulis ini;
- 5) Dr. Ir. Maryanto, MEng, selaku Dosen wali yang telah banyak memberi bimbingan dan nasehat selama di bangku kuliah;
- 6) Mas Mistar dan mbak Wim yang telah banyak membantu dan membimbingku selama penelitian;
- 7) Rekan-rekan seperjuangan : Dini, Titik, Anita, yang telah banyak membantuku selama penelitian;

- 8) Keluarga besar Workshop (Mas Agus, Mas Hariman, Nungki, Benny, Andi, Eko) yang telah membantuku selama penyelesaian laporan;
- 9) Teman-teman TEP angkatan'97 dan semua pihak yang telah banyak membantu yang tidak dapat aku sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa dalam Karya Ilmiah Tertulis ini masih terdapat kekurangan-kekurangan, oleh karena itu tidak menutup kemungkinan adanya kritik dan saran yang membangun. Akhirnya penulis berharap semoga karya ini dapat bermanfaat bagi siapa saja yang memerlukan terutama demi kemajuan dunia Ilmu Pengetahuan dan Teknologi.

Jember, September 2001

Penulis



**DAFTAR ISI**

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	ii
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	iii
<b>HALAMAN PEMBIMBING</b> .....	iv
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	v
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	viii
<b>DAFTAR SIMBOL</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xiv
<b>RINGKASAN</b> .....	xv
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Kegunaan Penelitian.....	2
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	3
2.1 Tanaman Kakao.....	3
2.2 Proses Pengolahan Kakao.....	3
2.2.1 Panenan dan Sortasi Buah.....	4
2.2.2 Pemeraman/Penyimpanan Buah.....	5
2.2.3 Pemecahan Kakao.....	5
2.2.4 Fermentasi.....	5
2.2.5 Perendaman dan Pencucian.....	6
2.2.6 Pengeringan.....	6
2.2.7 Sortasi.....	7
2.2.8 Penyimpanan.....	7



2.3 Proses Pengeringan .....	8
2.4 Aktivitas Air .....	9
2.5 Kadar Air Bahan .....	9
2.6 Kadar Air Setimbang .....	10
2.6.1 Persamaan Harkins-Jura .....	10
2.6.2 Persamaan BET .....	11
2.6.3 Persamaan Henderson .....	11
2.6.4 Persamaan Oswin .....	11
2.7 Histerisis .....	11
<b>III. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>14</b>
3.1 Pendekatan Teori .....	14
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian .....	14
3.3 Alat dan Bahan .....	15
3.3.1 Alat Yang Digunakan .....	15
3.3.2 Bahan Yang Digunakan .....	15
3.4 Cara Penelitian .....	15
3.5 Parameter Yang Diukur .....	16
3.6 Analisis Data .....	16
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>18</b>
4.1 Data Hasil Penelitian .....	18
4.2 Isoterm Sorpsi Air .....	19
4.3 Estimasi Konstanta $c$ dan $n$ Pada Persamaan Model Henderson .....	21
4.4 Uji Validitas Model .....	25
4.4.1 Kadar Air Setimbang Prediksi .....	25
4.4.2 Analisis Grafis .....	27
4.4.3 Analisis Statistik .....	29

<b>V. KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	31
5.1 Kesimpulan .....	31
5.2 Saran .....	32
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	32
<b>LAMPIRAN-LAMPIRAN</b> .....	34

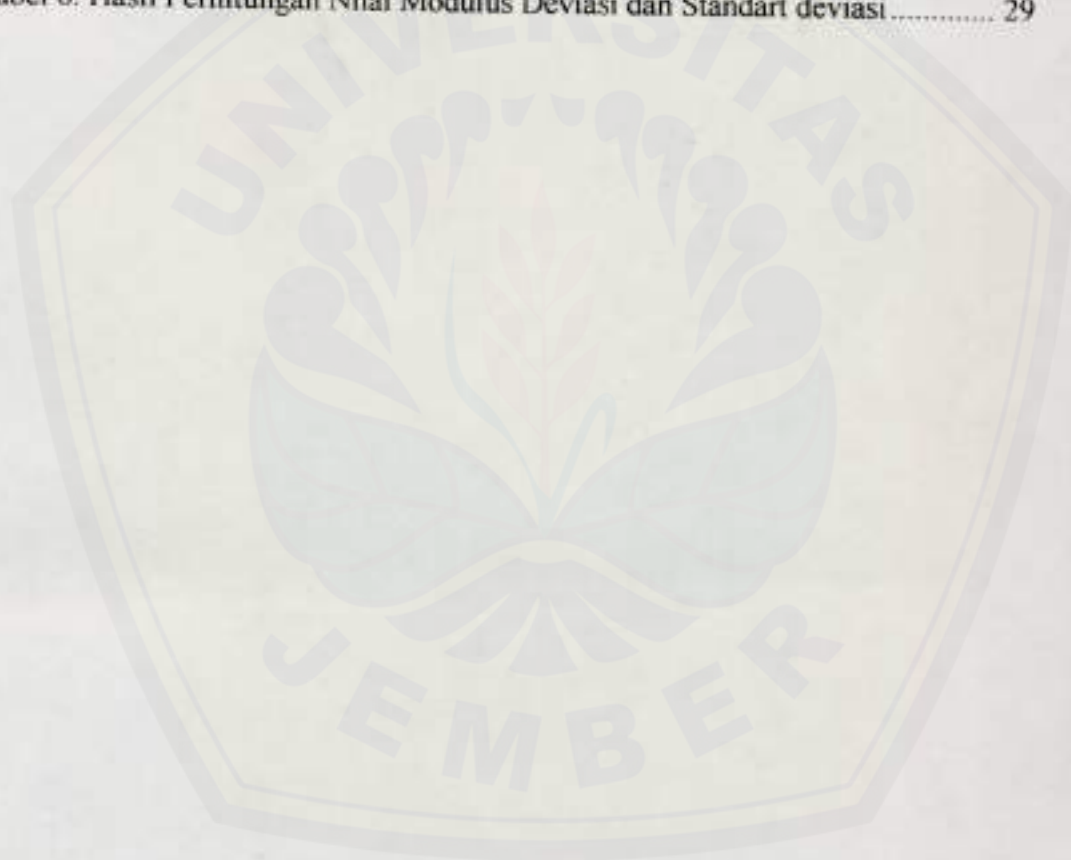


DAFTAR SIMBOL

- aw = aktivitas air (desimal)
- $P_v$  = tekanan parsial uap air dari bahan ( $N/m^2$ )
- $P_{vs}$  = tekanan uap jenuh pada suhu yang sama ( $N/m^2$ )
- v = volume ( $m^3$ )
- ERH = kelembaban nisbi yang seimbang (%)
- Mw = jumlah mol air (mol)
- Ms = jumlah mol zat pelarut (mol)
- wm = bobot air bahan (gram)
- wd = bobot bahan kering (gram)
- m = kadar air setimbang (%)
- d,e = konstanta persamaan Harkins-Jura
- m<sub>1,c</sub> = konstanta persamaan BET
- c,n = konstanta persamaan Henderson
- c,n = konstanta persamaan Oswin
- m<sub>1</sub> = kadar air setimbang kakao pada suhu 30 °C (%)
- m<sub>2</sub> = kadar air setimbang kakao pada suhu 40 °C (%)
- m<sub>3</sub> = kadar air setimbang kakao pada suhu 50 °C (%)
- m<sub>4</sub> = kadar air setimbang kakao pada suhu 60 °C (%)
- m<sub>a</sub> = kadar air setimbang prediksi kakao pada suhu 30 °C (%)
- m<sub>b</sub> = kadar air setimbang prediksi kakao pada suhu 40 °C (%)
- m<sub>c</sub> = kadar air setimbang prediksi kakao pada suhu 50 °C (%)
- m<sub>d</sub> = kadar air setimbang prediksi kakao pada suhu 60 °C (%)
- R<sup>2</sup> = koefisien determinasi
- JKR = jumlah kuadrat regresi
- JKT = jumlah kuadrat total
- P = modulus deviasi
- M<sub>o</sub> = kadar air setimbang observasi (%)
- M<sub>p</sub> = kadar air setimbang prediksi (%)

**DAFTAR TABEL**

	Halaman
Tabel 1. Standart Kualitas Biji Kakao Menurut ASKINDO.....	3
Tabel 2. Kadar Air setimbang Kakao Hasil Rata-rata Observasi.....	19
Tabel 3. Persamaan Regresi Pada Masing-masing Kondisi Suhu.....	24
Tabel 4. Nilai Konstanta c dan n Pada Berbagai Perlakuan Suhu .....	24
Tabel 5. Hasil Rata-rata Perhitungan Kadar Air Setimbang Prediksi.....	25
Tabel 6. Hasil Perhitungan Nilai Modulus Deviasi dan Standart deviasi.....	29



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Bagan Proses Pengolahan Kakao.....	4
Gambar 2. Grafik Lengas Sorption Histerisis.....	12
Gambar 3. Skematik Proses Pengukuran Sorption-Isotherm .....	16
Gambar 4. Grafik Hubungan Antara Kadar Air Setimbang Observasi dengan Aktivitas Air Pada berbagai Perlakuan Suhu .....	20
Gambar 5. Grafik Linieritas Persamaan Henderson Pada Suhu 30 °C.....	22
Gambar 6. Grafik Linieritas Persamaan Henderson Pada Suhu 40 °C.....	22
Gambar 7. Grafik Linieritas Persamaan Henderson Pada Suhu 50 °C.....	23
Gambar 8. Grafik Linieritas Persamaan Henderson Pada Suhu 60 °C.....	23
Gambar 9. Grafik Hubungan Antara Kadar Air Setimbang Prediksi dengan Aktivitas Air pada Berbagai Perlakuan Suhu .....	26
Gambar 10. Grafik Perbandingan Data Observasi dan Prediksi Pada Suhu 30 °C .....	27
Gambar 11. Grafik Perbandingan Data Observasi dan Prediksi Pada Suhu 40 °C .....	27
Gambar 12. Grafik Perbandingan Data Observasi dan Prediksi Pada Suhu 50 °C .....	28
Gambar 13. Grafik Perbandingan Data Observasi dan Prediksi Pada Suhu 60 °C .....	28

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Hasil Kadar Air Setimbang Observasi Pada Berbagai Kondisi Perlakuan Suhu .....	34
Lampiran 2. Penurunan Persamaan Henderson .....	36
Lampiran 3. Hasil Konstanta Henderson dan Hasil Kadar Air Setimbang Prediksi .....	37
Lampiran 4. Perhitungan Koefisien Determinasi Pada Suhu 30 °C .....	38
Lampiran 5. Perhitungan Koefisien Determinasi Pada Suhu 40 °C .....	39
Lampiran 6. Perhitungan Koefisien Determinasi Pada Suhu 50 °C .....	40
Lampiran 7. Perhitungan Koefisien Determinasi Pada Suhu 60 °C .....	41
Lampiran 8. Perhitungan Analisis Statistik .....	42
Lampiran 9. Perhitungan Standart Deviasi .....	44

RINGKASAN

Cahaya Pitaloka<sup>1</sup>  
Siswijanto<sup>2</sup>, Suryanto<sup>3</sup>

Jurusan Teknik Pertanian  
Fakultas Teknologi Pertanian  
Universitas jember

Kakao merupakan produk hasil pertanian yang mudah mengalami kerusakan karena kandungan kadar airnya yang cukup tinggi sekitar 60%. Salah satu cara untuk mencegah kerusakan itu adalah dengan proses pengeringan. Didalam proses pengeringan tersebut terjadi penyerapan (adsorpsi) dan pelepasan (desorpsi) uap air antara bahan dengan udara sekitarnya. Proses pengeringan terjadi jika kombinasi suhu dan kelembaban udara memungkinkan bahan melepaskan air agar tercapai keseimbangan. Kadar air setimbang sangat berguna dalam memberikan informasi awal dalam penentuan kondisi ruang penyimpanan yang baik.

Dengan diketahuinya aktivitas air dengan kadar air kakao pada suhu 30 °C, 40 °C, 50 °C dan 60 °C maka dapatlah dibuat hubungan antara aktivitas air dan kadar air setimbang pada biji kakao (*Theobroma Cacao L.*) dengan persamaan Henderson. Analisis yang digunakan yaitu regresi linier sederhana untuk menentukan konstanta  $c$  dan  $n$  dan untuk analisis uji modulus deviasi ( $P$ ). Hasil dari perhitungan konstanta  $c$  dan  $n$ , dapat digunakan untuk mencari persamaan konstanta  $c$  dan  $n$  sebagai fungsi suhu yaitu  $c(T) = 0,0008T - 0,0287$  dan  $n(T) = 7,4359 - 0,0801T$ . Dan dari analisis statistik didapatkan nilai modulus deviasi ( $P$ )  $\pm$  standart deviasi ( $s$ ) adalah  $4,7048 \pm 0,4793$  (30 °C),  $2,6579 \pm 0,2252$  (40 °C),  $3,3306 \pm 0,2340$  (50 °C) dan  $5,5940 \pm 0,3411$  (60 °C). Bila nilai tersebut  $< 10$  berarti persamaan dapat menggambarkan keadaan sebenarnya dengan tepat. Dengan demikian model Henderson dapat dipergunakan dalam perhitungan kadar air setimbang dari kakao.

Kata kunci: kelembaban udara, kadar air setimbang, kakao

<sup>1</sup> Mahasiswa

<sup>2</sup> Dosen Pembimbing Utama

<sup>3</sup> Dosen Pembimbing Anggota



## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Di daerah tropik dimana suhu dan kelembaban udara selalu mengalami perubahan, maka penyimpanan harus dilakukan dengan hati-hati. Penyimpanan yang dilakukan pada kondisi itu dapat terjadi proses *desorpsi* (pelepasan) maupun *adsorpsi* (penyerapan) uap air dari udara lingkungan. Kedua proses ini secara umum merupakan proses pindah massa yang menggambarkan aktivitas air produk terhadap adanya perubahan lingkungan. Besarnya nilai aktivitas air sangat dipengaruhi oleh suhu dan perbedaan tekanan uap antara produk dengan udara lingkungan.

Perkembangan kakao dewasa ini ditinjau dari penambahan luas areal sungguh memuaskan, terutama perkebunan kakao rakyat dan perkebunan swasta. Kakao merupakan salah satu komoditi ekspor non migas yang memiliki prospek cukup cerah.

Tujuan dari pengolahan kakao yaitu untuk mendapatkan biji kakao dengan citarasa khas dari kakao yang tahan untuk disimpan dan memenuhi persyaratan mutu biji kakao yang akan dipasarkan, dengan cara mengurangi air bahan sampai kadar air yang dikehendaki. Untuk biji kakao mempunyai kadar air 6% - 7%, bila biji kakao mempunyai kadar air lebih tinggi dari 7% biasanya akan mudah terserang cendawan. Bila kadar air lebih rendah dari 7% maka akan tahan untuk disimpan dan tidak berubah mutunya.

Masalah utama yang dihadapi Indonesia dalam pemasaran adalah mutu kakao yang berkualitas rendah. Mutu biji kakao sangat dipengaruhi oleh banyak faktor, misal jenis kakao, keadaan tanah, tinggi tempat, suhu, kelembaban udara, curah hujan, namun yang paling menentukan adalah proses fermentasi biji kakao. Kegagalan pada proses fermentasi tidak dapat diperbaiki pada proses selanjutnya (Susanto, 1994).

Upaya untuk mengatasi hal ini sehingga biji kakao tetap bermutu baik, dapat ditempuh dengan cara menurunkan kadar lengas melalui pengeringan sampai pada



batas kadar lengas yang setimbang dengan udara lingkungan. Karakteristik kadar air setimbang biji kakao sangat diperlukan sebab ini berkaitan dengan pengendalian mutu, cara penyimpanan dan pencegahan terhadap jamur dan jasad renik lainnya.

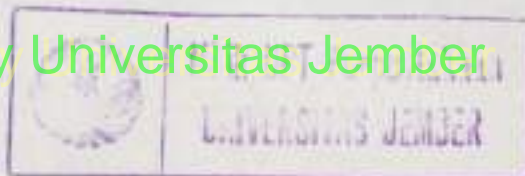
Penampilan pengeringan komoditi pertanian dipengaruhi oleh kondisi lingkungan udara pengering di sekitarnya. Proses pengeringan terjadi jika kombinasi suhu dan kelembaban udara memungkinkan bahan melepaskan air agar tercapai keseimbangan. Kombinasi yang baik bagi proses pengeringan adalah udara dengan kelembaban rendah dan bersuhu tinggi, karena pada proses pengeringan diusahakan untuk mendapatkan kadar air kesetimbangan serendah-rendahnya.

### **1.2 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kadar air kesetimbangan biji kakao dalam kondisi kelembaban nisbi dengan beberapa variasi suhu ruang tertentu dengan menggunakan model Henderson.

### **1.3 Manfaat Penelitian**

Hasil penelitian ini dapat menambah informasi tentang karakteristik biji kakao dalam penanganan pasca panen, yang mencakup proses pengeringan dan penyimpanan.



## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Tanaman Kakao

Tanaman kakao (*Theobroma Cacao L.*) termasuk famili *Sterculiaceae*. Suatu penanganan pasca panen bertujuan untuk menghasilkan mutu biji kakao yang kering, tidak pecah, tidak keriput, timbul aroma dan berwarna coklat merata. Hal ini untuk menjaga agar kualitas biji kakao yang dihasilkan, tetap memenuhi standar mutu.

Standar kualitas biji kakao, menurut Asosiasi Kakao Indonesia (ASKINDO) adalah sebagai berikut :

**Tabel 1. Standar Kualitas Biji Kakao Menurut ASKINDO**

Jenis Uji	Syarat
Kadar air [% (bobot/bobot)]	7,5
Biji berbau asap dan atau abnormal dan atau berbau asing	Tidak ada
Serangga hidup	Tidak ada
Kadar biji pecah dan atau pecahan biji dan atau pecahan kulit [% (bobot/bobot)]	3
Kadar benda-benda asing [% (bobot/bobot)]	0

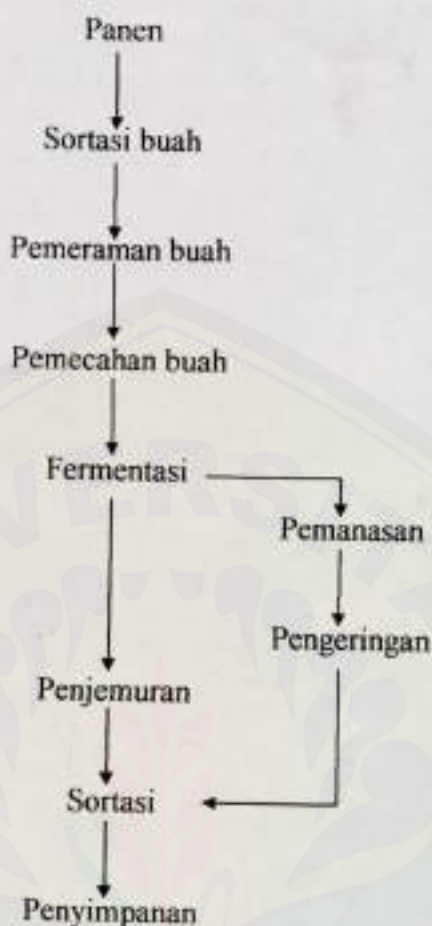
Sumber : James, 1995

Dengan pengeringan, dimungkinkan penyimpanan bahan pada waktu yang lama dengan tingkat kerusakan yang minimal. Hal yang perlu diperhatikan adalah usaha mengurangi kadar air biji kakao sampai dicapai kadar air setimbang, sehingga produk tetap berkualitas baik (Susanto, 1994).

### 2.2 Proses Pengolahan Kakao

Panen dan pengolahan hasil merupakan hal yang penting dalam budidaya kakao sebab sangat menentukan mutu biji kakao yang dihasilkan. Walaupun produksinya sangat tinggi, tetapi dalam panen dan pengolahan hasil kurang tepat, maka mutu biji kakao akan kurang baik.

Proses pengolahan biji kakao sangat menentukan mutu akhir dari biji kakao tersebut. Proses pengolahan biji kakao akan menentukan citarasa khas dari kakao dan mengurangi atau menghilangkan citarasa yang tidak baik. Misalnya rasa pahit dan sepat (Susanto, 1994).



**Gambar 1. Bagan Proses Pengolahan Kakao**

### 2.2.1 Panenan dan Sortasi Buah

Tingkat kematangan buah sangat mempengaruhi hasil fermentasi, sebab itu panen harus tepat. Panen yang terlalu awal, mutu biji kering sangat rendah karena biji-bijinya gepeng dan keriput. Sebaliknya, panen yang terlambat akan menyebabkan biji tumbuh di dalam buah.

Buah yang sudah dipanen dibawa ke pinggir jalan blok/produksi dan selanjutnya diadakan sortasi. Buah yang baik dipisahkan dari yang jelek, misalnya buah yang terserang oleh hama atau penyakit, buah yang muda atau terlalu masak.

Untuk mengurangi pemanenan yang tidak tepat maka kepada para pemanen diberi ketentuan sebagai berikut :

1. Tidak memanen buah yang masih muda.
2. Cara memanen tidak boleh diputar dan harus menggunakan pisau potong yang tajam.
3. Buah-buah yang busuk harus disingkirkan.
4. Pemanenan harus bersih, artinya tidak ada buah masak yang tertinggal.
5. Tidak ada biji yang tercecer, pemanen harus teliti.

Dengan cara ini tanaman tidak rusak dan umur ekonomisnya dapat lebih lama.

### **2.2.2 Pemeraman/Penyimpanan Buah**

Pemeraman buah dilakukan selama 5 – 12 hari, tergantung derajat kemasakan buah dan keadaan setempat. Buah yang diperam tidak boleh terlalu masak, rusak atau diserang cendawan.

Buah dalam pemeraman yang ditumbuhi cendawan maka setelah hari kelima harus dipisahkan dari buah yang baik. Buah yang terserang cendawan tersebut masih dapat menghasilkan biji bermutu asalkan kerusakan tidak terlalu besar dan cendawan belum menyerang biji. Serangan cendawan ini sering terjadi pada buah yang retak atau pecah, dan kerusakan biji dapat diketahui pada saat pemecahan kakao.

### **2.2.3 Pemecahan Kakao**

Pemecahan buah kakao harus dilakukan dengan hati-hati agar tidak merusak keping biji. Pemecahan kakao dapat dilakukan dengan alat pemukul, sabit atau saling memukulkan buah yang satu dengan lainnya. Selanjutnya biji dikumpulkan untuk difermentasi, sedangkan kulit buah dapat dibuat kompos dengan cara ditimbun dikebun. Biji-biji kakao yang baik dipisahkan dari biji-biji yang jelek/rendah dan dihindari tercampurnya dengan kotoran. Biasanya biji yang rendah difermentasi tersendiri.

### **2.2.4 Fermentasi**

Titik berat pengolahan biji kakao terletak pada proses fermentasi. Pada proses ini akan terjadi pembentukan citarasa khas kakao, pengurangan rasa pahit

dan sepat, dan perbaikan kenampakan fisik biji kakao. Kegagalan dalam proses fermentasi tidak dapat diperbaiki pada proses lain. Proses fermentasi adalah penentu dari pengolahan biji kakao. Salah satu tolok ukur tidak sempurnanya fermentasi adalah dihasilkannya biji slaty, yaitu biji yang memiliki tekstur seperti keju; dan tidak menghasilkan citarasa khas kakao.

Di samping proses fermentasi menentukan mutu biji kakao, fermentasi juga akan mempermudah pengeringan dan menghancurkan lapisan pulp yang melekat pada biji. Dalam proses fermentasi lembaga dalam biji kakao juga akan mati.

#### **2.2.5 Perendaman dan Pencucian**

Tujuan perendaman adalah menghentikan proses fermentasi, memperbaiki kenampakan biji, mengurangi asam cuka yang timbul akibat fermentasi dan mengurangi warna biji hitam.

Biji yang tidak mengalami pencucian kenampakannya kurang menarik. Sedangkan biji yang pencuciannya bersih, kulit biji menjadi rapuh sehingga meningkatkan jumlah biji yang pecah dan mengurangi rendemen/berat.

Sebelum melakukan pencucian, biji kakao direndam terlebih dahulu sekitar 2 -3 jam. Pencucian biji dapat dilakukan dengan dua macam cara, yaitu secara manual dengan tangan dan secara mekanik dengan menggunakan mesin cuci.

#### **2.2.6 Pengeringan**

Tujuan pengeringan biji kakao adalah menurunkan kadar air biji dari sekitar 60% menjadi 6% - 7%. Ada beberapa cara pengeringan biji kakao, yakni pengeringan dengan sinar matahari, dengan alat pengeringan dan dengan kombinasi keduanya.

Pengeringan dengan sinar matahari yaitu biji ditebarkan di lantai penjemuran dan dijemur pada terik matahari. Pengeringan ini tergantung dengan cuaca. Bila cuaca kurang baik misalnya hujan, maka pengeringan kurang sempurna, biji akan berjamur dan mutunya sangat rendah.

Pengeringan secara buatan adalah menggunakan alat, misalnya Samoan Dryer. Kebaikannya adalah tidak memerlukan tenaga banyak dan tidak terlalu tergantung dari keadaan cuaca.

Pengeringan kombinasi, yaitu pengeringan dengan panas sinar matahari dan panas buatan. Cara ini lebih baik karena tidak tergantung dari cuaca dan bahan bakar lebih sedikit. Untuk itu harus dibuat Samoan Dryer yang atapnya dapat digeser maju mundur dan pemanasan dengan bahan bakar harus diusahakan stabil.

Cara yang dapat dipergunakan untuk menentukan selesainya pengeringan biji kakao adalah :

1. Bila berat biji kering sudah mencapai 1/3 biji basah.
2. Biji yang cukup kering biasanya mudah patah dan rapuh.
3. Mengukur kadar air dengan alat pengukur (*moisture tester*) yang sudah dikalibrasi. Bila sudah mencapai 6% - 7% berarti sudah kering.

#### 2.2.7 Sortasi

Sortasi biji yang telah dikeringkan berdasarkan pada berat biji, kemurnian, warna, bahan ikutan dan jamur. Sortasi kering didasarkan pada kenampakan saja, dengan alat seperti tampah dari anyaman bambu. Caranya adalah dengan memilah biji yang bulat, gepeng, keriput, pecah dan kotoran.

#### 2.2.8 Penyimpanan

Biji kakao yang sudah kering dan sudah disortasi dimasukkan dalam karung goni. Sementara menunggu saat pemasaran, biji kakao dapat disimpan untuk beberapa waktu, umumnya tidak lebih dari 3 bulan. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam penyimpanan antara lain adalah :

1. Biji dikemas dalam wadah/karung goni yang bersih, kuat dan dijahit dengan rapi.
2. Kadar air biji sudah cukup rendah sekitar 6% - 7%.
3. Tempat penyimpanan harus bersih, tidak lembab, ventilasi baik dan tidak berbau.

4. Alas gudang dilapisi kayu sehingga karung goni tidak menyentuh lantai semen.
5. Untuk menjaga agar gudang tetap kering, maka dipasang lampu pemanas.

### 2.3 Proses Pengeringan

Proses pengeringan adalah proses pengambilan atau penurunan kadar air sampai batas tertentu sehingga memperlambat laju kerusakan biji-bijian akibat aktivitas biologik dan kimia sebelum bahan diolah (digunakan). Selanjutnya dijelaskan bahwa parameter-parameter yang mempengaruhi waktu pengeringan adalah suhu, kelembaban udara, laju aliran udara dan kadar air awal (Hall, 1957).

Dasar proses pengeringan adalah terjadinya penguapan air ke udara karena perbedaan kandungan uap air antara udara dengan bahan yang dikeringkan. Dalam hal ini kandungan uap air udara lebih sedikit atau udara mempunyai kelembaban nisbi yang rendah, sehingga terjadi penguapan.

Kemampuan udara membawa uap air bertambah besar jika perbedaan antara kelembaban nisbi udara pengering dengan udara sekitar bahan semakin besar. Salah satu faktor yang mempercepat proses pengeringan adalah kecepatan angin atau udara yang mengalir. Bila udara tidak mengalir maka kandungan uap air di sekitar bahan yang dikeringkan makin jenuh sehingga pengeringan makin lambat.

Makin tinggi suhu dan kecepatan aliran udara pengering makin cepat pula proses pengeringan berlangsung. Makin tinggi suhu udara pengering makin besar energi panas yang dibawa udara sehingga makin banyak jumlah massa cairan yang diuapkan dari permukaan bahan yang dikeringkan. Jika kecepatan aliran udara pengering makin tinggi maka makin cepat pula massa uap air yang dipindahkan dari bahan ke atmosfer.

Kelembaban udara berpengaruh terhadap proses pemindahan uap air. Apabila kelembaban udara tinggi, maka perbedaan tekanan uap air dari dalam bahan dan di luar bahan menjadi kecil sehingga menghambat pemindahan uap air dari dalam bahan ke luar.

Pengeringan biji kakao yaitu proses pemanasan dan proses pengeringan dengan udara panas. Dua tahap tersebut dimaksudkan untuk memperoleh kondisi

pengeringan secara lambat. Pengeringan biji kakao yang terlalu cepat dapat merusak bahan, yakni permukaan bahan terlalu cepat kering, sehingga tidak sebanding dengan kecepatan pergerakan air bahan ke permukaan dan menghasilkan biji dengan tingkat keasaman yang tinggi dan cita rasanya lemah (Teguh Wahyudi, 1994). Hal ini menyebabkan pengerasan pada permukaan bahan (*case hardening*). Selanjutnya air dalam bahan tidak dapat lagi menguap karena terhalang.

Peristiwa yang terjadi selama proses pengeringan meliputi dua proses, yaitu

1. Proses perpindahan panas, yaitu proses penguapan air dari dalam bahan atau proses perubahan bentuk cair ke bentuk gas.
2. Proses perpindahan massa yaitu proses perpindahan massa uap air dari permukaan bahan ke udara.

#### 2.4 Aktivitas Air

Menurut Winarno (1984) yang dimaksud dengan "*water activity*" ( $A_w$ ) adalah jumlah air bebas bahan yang dapat dipergunakan oleh mikroba untuk pertumbuhannya. Untuk memperpanjang daya tahan suatu bahan, maka sebagian air pada bahan dihilangkan sehingga mencapai kadar air tertentu.

Besarnya aktivitas air dapat dihitung dengan menggunakan salah satu rumus berikut ini :

$$a_w = \frac{P_v}{P_{vs}} = \frac{ERH}{100} \dots\dots\dots 2.1$$

Hukum Raoult :

$$a_w = \frac{M_w}{(M_w + M_s)} \dots\dots\dots 2.2$$

#### 2.5 Kadar Air Bahan

Kadar air bahan menunjukkan banyaknya kandungan air per satuan bobot bahan. Kadar air suatu bahan pangan dapat dinyatakan dalam dua cara yaitu berdasar bahan kering (*dry basis*) dan berdasar bahan basah (*wet basis*). Menurut



Winarno (1993) dalam perhitungan kadar air bahan berdasarkan bahan basah sering berlaku rumus :

$$m = \frac{w_m}{(w_m + w_d)} \times 100\% \dots\dots\dots 2.3$$

Sedangkan perhitungan kadar air bahan berdasarkan bahan kering adalah :

$$m = \frac{w_m}{w_d} \times 100\% \dots\dots\dots 2.4$$

Di dalam suatu analisa bahan, biasanya kadar air bahan ditentukan berdasarkan sistem bahan kering. Ini disebabkan karena perhitungan berdasarkan basis basah mempunyai kelemahan yakni berat basah bahan selalu berubah-ubah setiap saat. Kalau berdasarkan berat kering bahan hal ini tidak akan terjadi karena berat kering bahan selalu tetap.

## 2.6 Kadar Air Setimbang

Konsep kadar air setimbang sangat penting pada bahan higroskopis (seperti halnya produk pertanian) karena secara tidak langsung berhubungan dengan masalah penyimpanan dan pengeringan.

Kadar air setimbang didefinisikan sebagai kandungan air dimana tekanan uap didalam produk setimbang dengan tekanan uap lingkungan. Hal ini dapat diartikan, jika suatu bahan mengandung lengas lebih besar dari nilai kadar air setimbang bahan dengan udara, pada suhu dan kelengasan tertentu, maka bahan akan melepas uap air (desorpsi) sampai mencapai nilai kadar air setimbangnya. Sebaliknya, jika udara lebih lembab dari bahan, maka bahan akan menyerap uap air (adsorpsi) sampai terjadi keseimbangan (Sri Widata, 1993).

Beberapa model persamaan yang digunakan untuk menghitung kadar air kesetimbangan antara lain adalah sebagai berikut.

### 2.6.1 Persamaan Harkins-Jura

Kadar air setimbang model Harkins-Jura didasarkan pada teori potensial, yang persamaannya berbentuk :

$$\ln \frac{P_v}{P_{vs}} = d - \frac{e}{v^2} \dots\dots\dots 2.5$$

Persamaan ini banyak digunakan pada prediksi kesetimbangan lengas biji pada kelembaban diatas 30% (Gustafson, 1972) dan dibawah 50% (Chirife, 1978).

### 2.6.2 Persamaan BET

Karel (1975) menjelaskan bahwa cara terbaik untuk memperkirakan penyerapan dalam jumlah air terikat pada suatu bahan adalah dengan persamaan BET (Brunaur - Emmet - Teller), yaitu :

$$\frac{aw}{m(1-aw)} = \frac{1}{m1c} + \frac{c-1}{m1c} aw \dots\dots\dots 2.6$$

Model BET ini berhasil baik untuk nilai EMC biji dengan kadar air < 20% dasar basah.

### 2.6.3 Persamaan Henderson

Model ini berupa persamaan empiris dan banyak digunakan untuk biji-bijian. Bentuk persamaannya adalah :

$$1 - aw = \exp(-c \cdot m^n) \dots\dots\dots 2.7$$

Model Henderson ini akan memberikan tingkat kesesuaian yang tinggi terhadap data percobaan untuk berbagai jenis bahan pangan.

### 2.6.4 Persamaan Oswin

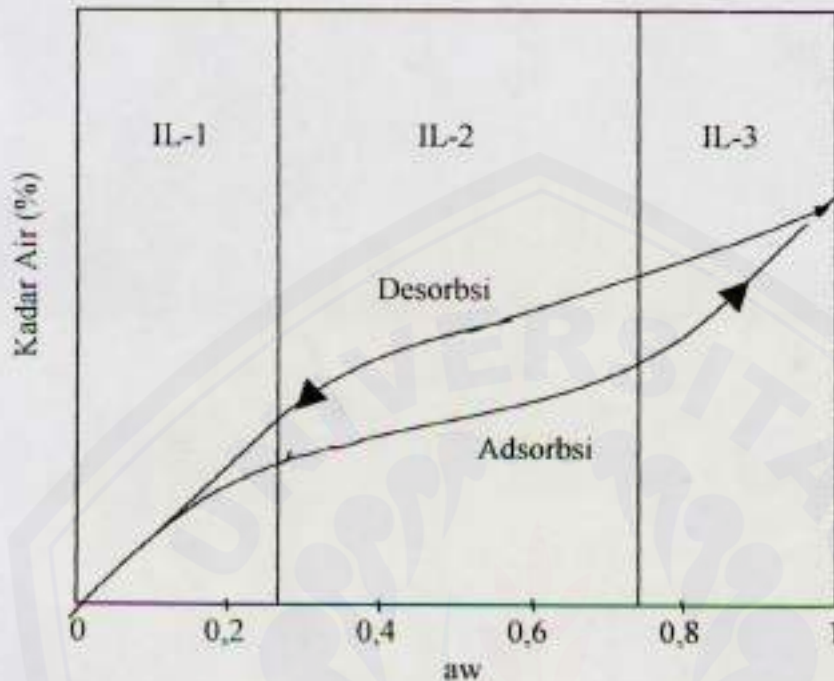
Kadar air kesetimbangan suatu bahan dapat diformulakan sebagai berikut :

$$m = c \left( \frac{aw}{1-aw} \right)^n \dots\dots\dots 2.8$$

## 2.7 Histerisis

Histerisis dari sorpsi uap air (isoterm sorpsi lembab) adalah suatu fenomena yang menggambarkan perbedaan dua garis antara adsorpsi dan desorpsi isoterm (Larry, 1987).

Apabila kadar air (%) sebagai ordinat, aktivitas air ( $a_w$ ) sebagai absis maka kurva sorpsi uap air dapat dilihat pada Gambar 2.



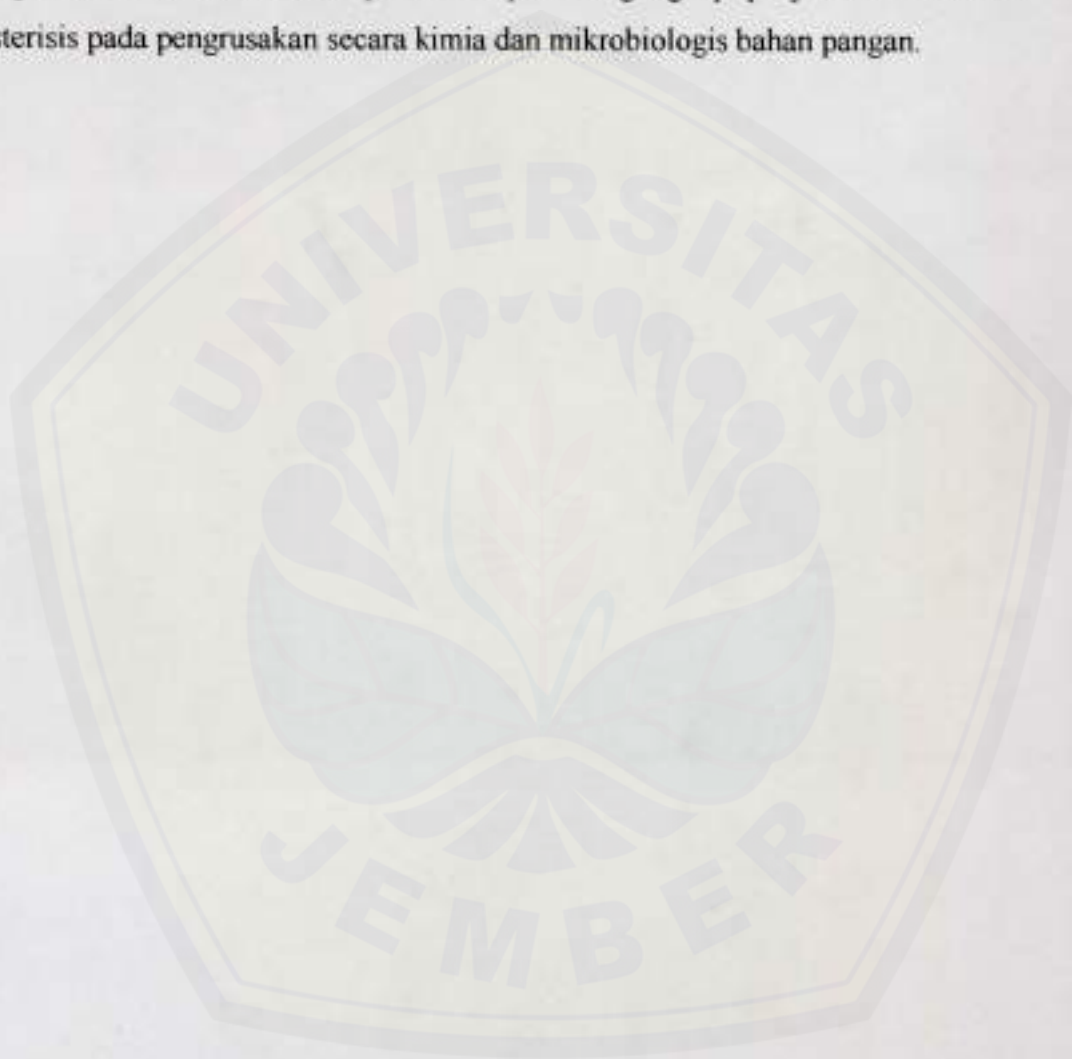
Gambar 2. Grafik Lengas Sorption Histerisis

Kurva isoterm sorpsi lembab dibagi menjadi tiga daerah isoterm lokal (*local isotherm*), yaitu IL-1, IL-2 dan IL-3. Daerah IL-1 berada pada  $a_w$  dibawah 0,25. Air yang terdapat pada daerah ini merupakan lapisan tunggal (*monolayer*), oleh karena itu air terikat sangat kuat, sehingga bahan sulit untuk diawetkan dan proses perusakan terhenti pula. Daerah IL-2 berada antara nilai  $a_w$  0,25 sampai 0,75. Air yang terdapat pada daerah ini tersusun oleh molekul air berlapis ganda karena air tidak sepenuhnya dalam keadaan bebas dan kerusakan-kerusakan yang terjadi berjalan lambat. Sedangkan daerah IL-3 berada diatas  $a_w$  0,75. Air yang berada di daerah ini merupakan air yang tidak terikat (bebas) dan biasanya dinyatakan sebagai kondensasi kapiler karena pada ruang kapiler berisi air. Oleh karena itu kerusakan-kerusakan dalam bahan dapat berjalan dengan cepat.

Pada gambar 2 juga dapat dilihat bahwa semakin meningkatnya aktivitas air maka penyerapan uap air dari lingkungan ke bahan semakin besar sehingga kadar air bahan menjadi naik. Begitu pula sebaliknya, semakin turun nilai

aktivitas air maka pelepasan (penguapan) uap air dari bahan ke lingkungan semakin tinggi, sehingga kadar air bahan menjadi turun.

Efek histerisis di dalam bahan pangan penting penggunaannya baik secara teori maupun praktek. Secara teori dapat menerangkan proses sorpsi dari produk yang tak balik. Dan secara praktek dapat mengungkap penjelasan efek dari histerisis pada pengrusakan secara kimia dan mikrobiologis bahan pangan.





### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Pendekatan Teori

Pada penelitian ini digunakan biji kakao dan mempunyai kadar air tertentu sebagai produk penelitian. Untuk mendapatkan lingkungan yang kelembaban udaranya konstan bagi sampel diberikan bahan kimia berupa garam-garam jenuh ke dalam toples, kemudian sampel dimasukkan ke dalam toples sampai tercapai keseimbangan.

Perlakuan dilakukan dengan variasi suhu ruang yang diatur dalam inkubator. Dari percobaan tersebut diperoleh data  $aw$  pada kondisi suhu dan RH yang berbeda sebagai hasil observasi dan kemudian dimasukkan ke dalam persamaan Henderson yang dapat diuraikan menjadi persamaan regresi linier sederhana, yaitu :

$$1 - aw = \exp(-c \cdot m^n) \dots\dots\dots 3.1$$

$$-\ln(1 - aw) = c \cdot m^n$$

$$\ln(-\ln(1 - aw)) = \ln c + n \ln m$$

Penyederhanaan persamaan 3.1 akan didapat persamaan 3.2 sebagai berikut :

$$y = a + bx \dots\dots\dots 3.2$$

dengan :

$$y = \ln(-\ln(1-aw))$$

$$a = \ln c$$

$$b = n$$

$$x = \ln m$$

#### 3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan mulai bulan Juli sampai Agustus 2001 di laboratorium Pengolahan Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember.

### 3.3 Alat dan Bahan

#### 3.3.1 Alat Yang Digunakan

- a. Inkubator dengan pengatur suhu  $30^{\circ}\text{C}$ ,  $40^{\circ}\text{C}$ ,  $50^{\circ}\text{C}$  dan  $60^{\circ}\text{C}$   
Spesifikasi alat : model 305-1, tegangan 230 – 240 v, frekuensi 50 – 60 Hz, daya 400 w, suhu max  $70^{\circ}\text{C}$
- b. Toples
- c. Gelas aqua 220 ml
- d. Hygrometer digital  
Spesifikasi alat : tipe VWR, tegangan 9 v, suhu  $-40 - 104,4^{\circ}\text{C}$
- e. Timbangan analitis  
Spesifikasi alat : model AP 310-0, tegangan 220 - 240 v, frekuensi 50 – 60 Hz, kapasitas  $310 \times 0,1 \text{ mg}$

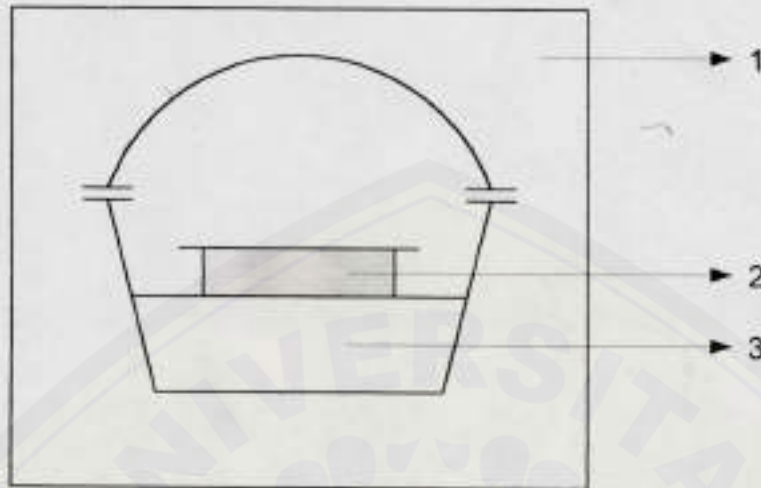
#### 3.3.2 Bahan Yang Digunakan

- a. Biji kakao dengan kadar air 7%
- b. Enam jenis garam jenuh  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (35,62%),  $\text{K}_2\text{CO}_3$  (44,05%),  $\text{NaBr}$  (58,23%),  $\text{NaNO}_2$  (67,74%),  $\text{NaCl}$  (75,94%),  $\text{KCl}$  (85,50%),  $\text{KNO}_3$  (87,86%) dan  $\text{K}_2\text{SO}_4$  (96,46%).

### 3.4 Cara Penelitian

- a. Menyiapkan biji kakao secukupnya.
- b. Mengisi delapan buah toples dengan garam jenuh dan membiarkannya selama satu hari untuk mengkondisikan lingkungan sehingga diperoleh lingkungan dengan RH yang konstan.
- c. Memasukkan tiga sampel pada masing-masing toples.
- d. Memasukkan toples ke dalam inkubator dengan pengaturan suhu  $30^{\circ}\text{C}$ .
- e. Setelah mencapai suhu dan RH seimbang (kurang lebih seminggu), toples dikeluarkan dari inkubator, kemudian bahan diuji kadar airnya dengan metode gravimetris.
- f. Mengulangi langkah a sampai e dengan pengaturan suhu inkubator  $40^{\circ}\text{C}$ ,  $50^{\circ}\text{C}$  dan  $60^{\circ}\text{C}$ .

Profil metode pengukuran sorption – isotherms diilustrasikan pada gambar 2 berikut ini :



**Gambar 3. Skematik Proses Pengukuran Sorption – Isotherm**

Keterangan :

- 1 : Temperatur konstan.
- 2 : Sampel dengan kadar air awal 7%. Kadar air akhir dihitung setelah mencapai kesetimbangan.
- 3 : Kelembaban udara konstan

### 3.5 Parameter yang diukur

- a. Kadar lengas awal bahan.
- b. Suhu inkubator.
- c. Kadar lengas setimbang pada berbagai variasi suhu.

### 3.6 Analisis Data

- a. Mencari nilai  $c$  dan  $n$  dengan regresi.
- b. Menentukan  $c$  dan  $n$  sebagai fungsi suhu.
- c. Menentukan kadar air setimbang dengan model persamaan Henderson.
- d. Melakukan analisa grafis dan analisa statistik dengan membandingkan antara kadar air setimbang observasi dan kadar air setimbang prediksi.

## 1) Analisis grafis

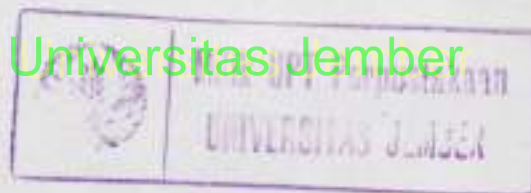
Data hasil perhitungan kadar air setimbang prediksi yang diperoleh dari persamaan Henderson kemudian dibandingkan dengan kadar air setimbang observasi melalui persamaan  $y=x$  dengan menggunakan scotter plot.

## 2) Analisis statistik

Analisis statistik yang digunakan yaitu uji model dengan modulus deviasi (P).

$$P = \frac{100}{n} \sum_{n=1}^n \left| \frac{M_o - M_p}{M_o} \right| \dots\dots\dots 3.3$$





## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang dihasilkan dari penelitian tentang analisis hubungan aktivitas air dengan kadar air setimbang air pada biji kakao yaitu :

1. Analisis pelepasan-penyerapan air model Henderson dapat diaplikasikan untuk prediksi kadar air setimbang pada biji kakao.
2. Kenaikan suhu akan menyebabkan penurunan nilai kadar air setimbang.
3. Konstanta Henderson (konstanta  $c$  dan  $n$ ) pada kakao hanya berlaku untuk perlakuan suhu  $30^{\circ}\text{C}$  sampai  $60^{\circ}\text{C}$ .
4. Nilai modulus deviasi ( $P$ ) pada suhu  $30^{\circ}\text{C}$ ,  $40^{\circ}\text{C}$ ,  $50^{\circ}\text{C}$  dan  $60^{\circ}\text{C}$  adalah 4,7048, 2,6579, 3,3306 dan 5,5940. Dengan demikian persamaan regresi yang dievaluasi dapat menggambarkan keadaan sebenarnya dengan tepat.

### 5.2 Saran

1. Diperlukan suatu analisis lebih lanjut untuk produk pertanian yang lain, dengan metode yang relatif sama.
2. Dari hasil penelitian ini dapat dilakukan penelitian lanjutan yang berguna untuk penyimpanan produk pertanian.

## DAFTAR PUSTAKA

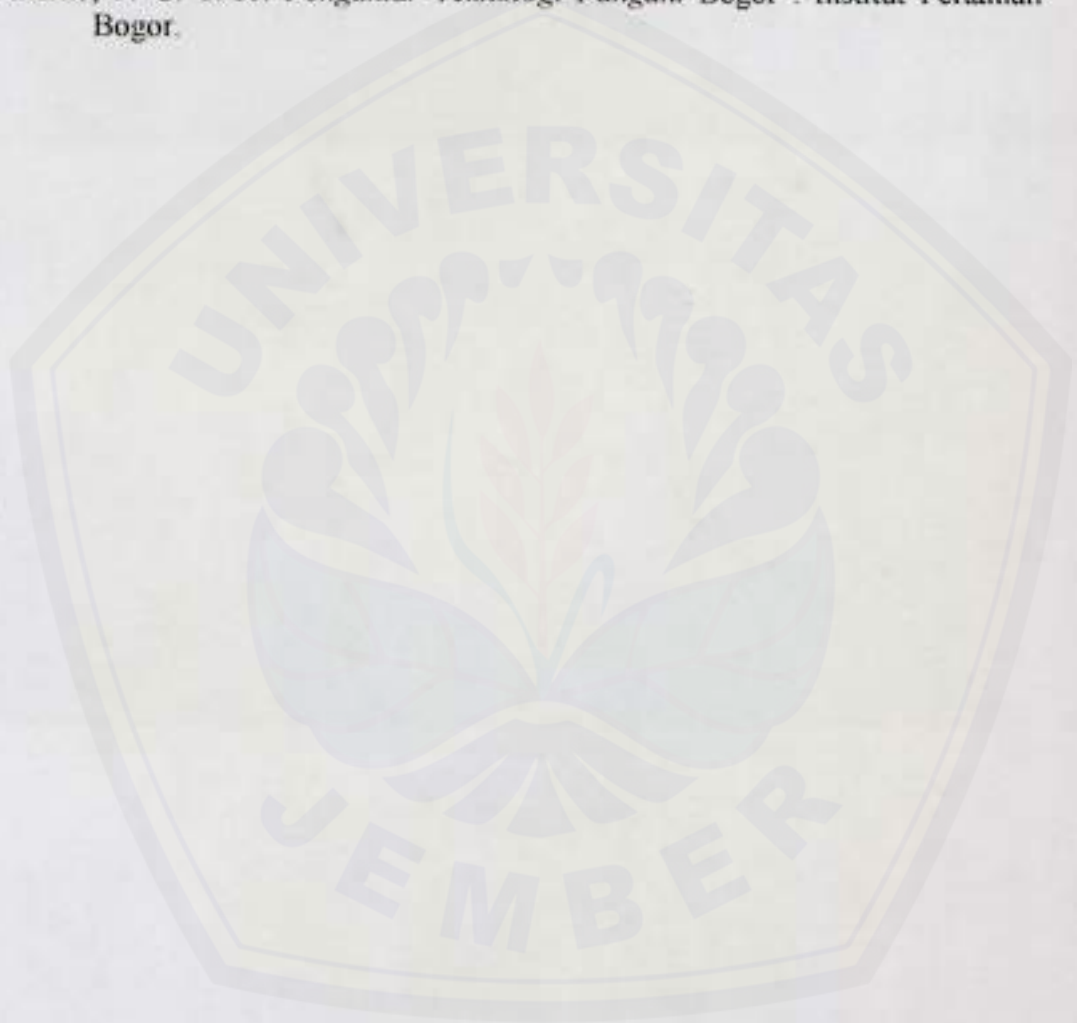
- Adnan, M. 1982. *Aktivitas Air dan Kerusakan Bahan Makanan*. Yogyakarta : Agritech.
- Bemat Wikan Tyoso. 1988. *Pengeringan*. Proyek Pengembangan Pusat Fasilitas Bersama Antar Universitas. Unit Pelaksana daerah. Universitas Gajah Mada.
- Brooker, D.B., F. W. Bakker-Arkema and C. W. Hall. 1974. *Drying Cereal Grains*. USA : Avi Publishing Company Inc.
- Desroier, N. W. 1988. *Teknologi Pengawetan Pangan*. Jakarta : Universitas Indonesia.
- Gunarif Taib, Gumbira Said, Sutedja Wiraatmaja. 1988. *Operasi Pengeringan Pada Pengolahan Hasil Pertanian*. Jakarta : Mediyatama Sarana Perkasa.
- Hall, C.W. 1957. *Drying Farm Corps*. Edward Brothers Co. Michigan.
- Henderson, S.N., R.L Perry. 1970. *Agricultural Process Engineering*. University of California. United State of America.
- Karel, M., O.R Fennema, D.B Lund. 1975. *Principles of Food Science*. Marcel Dekker, Inc. USA.
- Kertasapoetra, A.G. 1994. *Teknologi Penanganan Pasca Panen*. Jakarta : Rineka Cipta.
- Louis, B.Rockland, Larry R. Beuchat. 1987. *Water Activity, Theory and Applications to Food*. Food Science Research Center Chapman College Orange. California.
- Nimatun Nazilah. 1999. *Persamaan Matematis Untuk menentukan nilai konstanta "c" dan "n" Dalam Model Oswin Dari Kadar Air Keseimbangan (EMC) Pada Kopi (Coffea sp.)*. Jember : Fakultas Teknologi Pertanian.
- Rohan, T.A. 1963. *Processing of Raw Cocoa for The Market*. Roma : FAO Agriculture Studies.
- Sembiring, R.K. 1995. *Analisis Regresi*. Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- Setijahartini, S. 1980. *Pengeringan*. Bogor : Institut Pertanian Bogor.
- Sri Widata. 1996. *Analisis Penyerapan – pelepasan lengas biji kakao dengan model kadar air Seimbang GAB*. Yogyakarta : Universitas Gajah Mada.

Sudjana. 1989. *Metode Statistika*. Bandung : Tarsito.

Sumanto Hatta. 1992. *Cokelat Budidaya Pengolahan Hasil dan Aspek Ekonominya*. Yogyakarta : Kanisius.

Susanto, F. X. 1994. *Tanaman Kakao Budidaya dan pengolahan Hasil*. Jakarta : Kanisius.

Winarno, F. G. 1980. *Pengantar Teknologi Pangan*. Bogor : Institut Pertanian Bogor.



Lampiran 1. Hasil Kadar Air Setimbang Observasi Pada Berbagai Kondisi Perlakuan Suhu

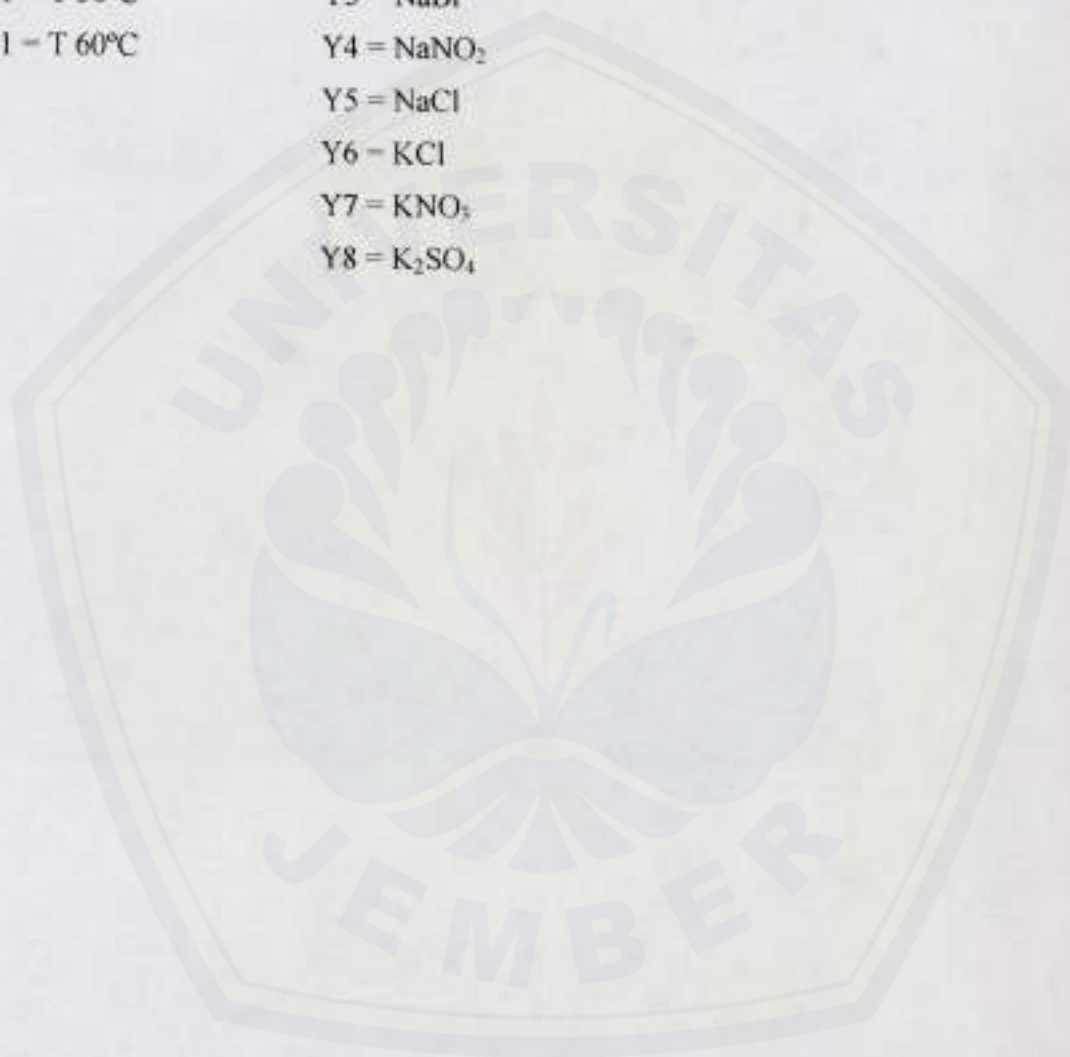
VARIASI	KAS 1	KAS 2	KAS 3	m1
X1Y1	6,304	6,356	6,345	6,304
X1Y2	7,958	7,829	7,866	7,884
X1Y3	8,223	7,852	8,103	8,059
X1Y4	8,028	8,133	8,171	8,111
X1Y5	8,156	8,128	8,302	8,195
X1Y6	8,462	8,396	8,568	8,475
X1Y7	8,921	8,057	8,91	8,629
X1Y8	10,013	9,732	9,965	9,903

VARIASI	KAS 1	KAS 2	KAS 3	m2
X2Y1	5,413	5,187	5,363	5,321
X2Y2	5,883	5,905	6,092	5,96
X2Y3	6,71	6,485	6,504	6,566
X2Y4	6,742	6,349	7,203	6,765
X2Y5	7,2	6,881	6,772	6,951
X2Y6	7,335	7,214	7,085	7,211
X2Y7	7,655	7,498	7,652	7,602
X2Y8	8,934	8,677	8,983	8,865

VARIASI	KAS 1	KAS 2	KAS 3	m3
X3Y1	3,989	4,254	5,113	4,451
X3Y2	5,413	5,258	5,605	5,425
X3Y3	6,009	5,877	6,279	6,055
X3Y4	6,528	6,613	6,542	6,561
X3Y5	6,028	6,916	7,459	6,801
X3Y6	6,986	7,247	7,263	7,165
X3Y7	7,525	7,377	7,64	7,514
X3Y8	8,841	8,259	8,746	8,615

VARIASI	KAS 1	KAS 2	KAS 3	m4
X4Y1	2,822	2,579	2,819	2,74
X4Y2	3,552	3,705	3,706	3,654
X4Y3	4,158	4,401	4,146	4,235
X4Y4	4,487	4,519	4,656	4,554
X4Y5	4,557	4,619	4,987	4,721
X4Y6	5,396	5,411	5,439	5,415
X4Y7	5,55	5,816	5,485	5,617
X4Y8	5,108	6,003	6,638	5,916

## Keterangan

 $X_n$  = suhu $X_1$  = T 30°C $X_1$  = T 40°C $X_1$  = T 50°C $X_1$  = T 60°C $Y_n$  = RH observasi $Y_1$  =  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$  $Y_2$  =  $K_2CO_3$  $Y_3$  = NaBr $Y_4$  =  $NaNO_2$  $Y_5$  = NaCl $Y_6$  = KCl $Y_7$  =  $KNO_3$  $Y_8$  =  $K_2SO_4$ 

## Lampiran 2. Penurunan Persamaan Henderson

$$1 - aw = \exp(-c \cdot m^n)$$

$$-\ln(1 - aw) = c \cdot m^n$$

$$\ln(-\ln(1 - aw)) = \ln c + n \ln m$$

aw	1-aw	y	ln c	n	ln ma	ma
0,3562	0,6438	-0,8201	-10,036	4,8809	1,8881	6,6071
0,4405	0,5595	-0,5435			1,9448	6,9924
0,5823	0,4177	-0,1358			2,0283	7,6015
0,6774	0,3226	0,1234			2,0814	8,0161
0,7594	0,2406	0,3539			2,1286	8,4038
0,855	0,145	0,6580			2,1909	8,9441
0,8786	0,1214	0,7460			2,2090	9,1068
0,9646	0,0354	1,2062			2,3033	10,0077

aw	1-aw	y	ln c	n	ln mb	mb
0,3562	0,6438	-0,8201	-8,1562	4,347	1,6876	5,4065
0,4405	0,5595	-0,5435			1,7512	5,7618
0,5823	0,4177	-0,1358			1,8450	6,3283
0,6774	0,3226	0,1234			1,9046	6,7171
0,7594	0,2406	0,3539			1,9576	7,0829
0,855	0,145	0,6580			2,0276	7,5963
0,8786	0,1214	0,7460			2,0479	7,7516
0,9646	0,0354	1,2062			2,1537	8,6173

aw	1-aw	y	ln c	n	ln mc	mc
0,3562	0,6438	-0,8201	-5,905	3,2721	1,5540	4,7303
0,4405	0,5595	-0,5435			1,6385	5,1477
0,5823	0,4177	-0,1358			1,7631	5,8307
0,6774	0,3226	0,1234			1,842	6,3114
0,7594	0,2406	0,3539			1,9128	6,7720
0,855	0,145	0,6580			2,0057	7,4317
0,8786	0,1214	0,7460			2,0326	7,6343
0,9646	0,0354	1,2062			2,1733	8,7873

aw	1-aw	y	ln c	n	ln md	md
0,3562	0,6438	-0,8201	-3,6676	2,5757	1,1055	3,0207
0,4405	0,5595	-0,5435			1,2129	3,3632
0,5823	0,4177	-0,1358			1,3711	3,9400
0,6774	0,3226	0,1234			1,4718	4,3572
0,7594	0,2406	0,3539			1,5613	4,7651
0,855	0,145	0,6580			1,6794	5,3623
0,8786	0,1214	0,7460			1,7135	5,5487
0,9646	0,0354	1,2062			1,8922	6,6343

**Lampiran 3. Hasil Konstanta Henderson dan Hasil Kadar Air Setimbang Prediksi**

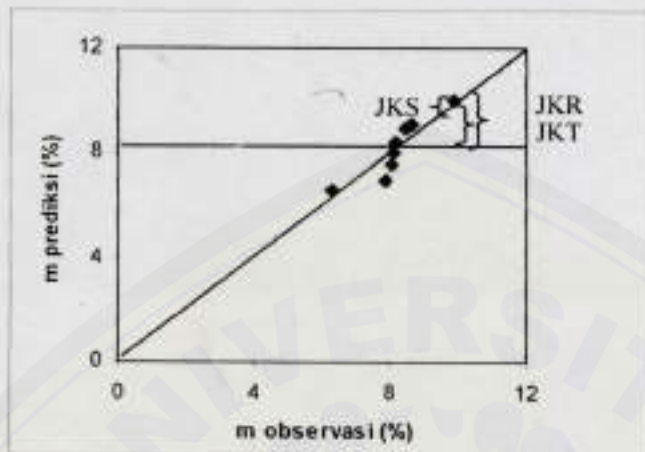
	30°C	40°C	50°C	60°C
<b>ln c</b>	-10,036	-8,1562	-5,905	-3,6676
<b>c</b>	4,38E-05	0,000287	0,002766	0,02554
<b>n</b>	4,8809	4,347	3,2721	2,5757

**Perbandingan Data Kadar Air Setimbang Observasi dan Kadar Air Setimbang Prediksi**

Kadar Air Setimbang Observasi				Kadar Air Setimbang Prediksi			
m1	m2	m3	m4	ma	mb	mc	md
6,304	5,321	4,451	2,74	6,6071	5,4066	4,7304	3,0208
7,884	5,96	5,425	3,654	6,9924	5,7618	5,1477	3,3633
8,059	6,566	6,055	4,235	7,6015	6,3283	5,8307	3,9400
8,111	6,765	6,561	4,554	8,0162	6,7172	6,3115	4,3572
8,195	6,951	6,801	4,721	8,4038	7,0830	6,7721	4,7651
8,475	7,211	7,165	5,415	8,9441	7,5963	7,4317	5,3624
8,629	7,602	7,514	5,617	9,1069	7,7517	7,6343	5,5488
9,903	8,865	8,615	5,916	10,0074	8,6174	8,7873	6,6343

## Lampiran 4. Perhitungan Koefisien Determinasi Pada Suhu 30 °C

Gambar scatter plot dengan persamaan  $y = x$



Keterangan gambar di atas selengkapnya dapat dilihat pada (Sembiring, 1995).

Perhitungan koefisien determinasi menggunakan persamaan  $y = x$

x	y	y=x	y rerata	JK total	JK regresi	Jk sisa
6,304	6,6071	6,304	8,2099	2,5690	3,6326	0,0919
7,884	6,9924	7,884	8,2099	1,4824	0,1062	0,7949
8,059	7,6015	8,059	8,2099	0,3702	0,0228	0,2093
8,111	8,0162	8,111	8,2099	0,0375	0,0098	0,0090
8,195	8,4038	8,195	8,2099	0,0376	0,0002	0,0436
8,475	8,9441	8,475	8,2099	0,5391	0,0703	0,2201
8,629	9,1069	8,629	8,2099	0,8045	0,1756	0,2284
9,903	10,0074	9,903	8,2099	3,2308	2,8665	0,0109
	<b>65,6794</b>		<b>65,6794</b>	<b>9,0710</b>	<b>6,8840</b>	<b>1,6080</b>

$$\begin{aligned}
 R^2 &= \frac{JKR}{JKT} \\
 &= \frac{6,8840}{9,0710} \\
 &= 0,7589
 \end{aligned}$$

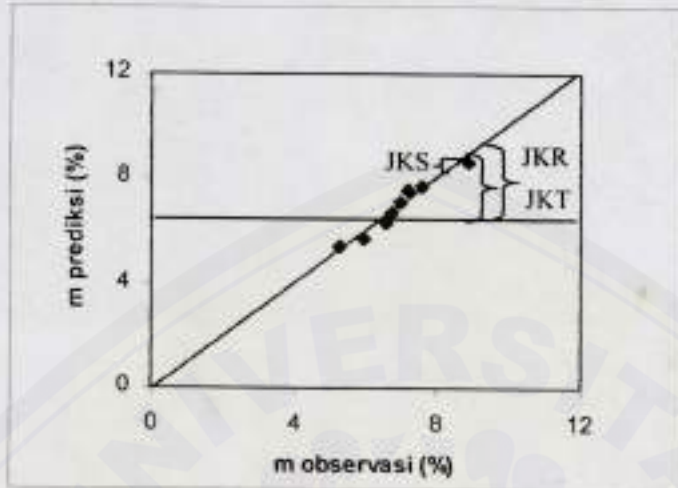
dengan :

- x = nilai kadar air setimbang observasi.
- y = nilai kadar air setimbang prediksi.



## Lampiran 5. Perhitungan Koefisien Determinasi Pada Suhu 40 °C

Gambar scatter plot dengan persamaan  $y = x$



Keterangan gambar di atas selengkapnya dapat dilihat pada (Sembiring, 1995)

Perhitungan koefisien determinasi menggunakan persamaan  $y = x$

x	y	y=x	y rerata	JK total	JK regresi	Jk sisa
5,321	5,4066	5,321	6,9078	2,2537	2,5179	0,0073
5,96	5,7618	5,96	6,9078	1,3132	0,8983	0,0393
6,566	6,3283	6,566	6,9078	0,3358	0,1168	0,0565
6,765	6,7172	6,765	6,9078	0,0363	0,0204	0,0023
6,951	7,0830	6,951	6,9078	0,0307	0,0019	0,0174
7,211	7,5963	7,211	6,9078	0,4741	0,0919	0,1485
7,602	7,7517	7,602	6,9078	0,7121	0,4819	0,0224
8,865	8,6174	8,865	6,9078	2,9227	3,8307	0,0613
<b>55,241</b>	<b>55,2622</b>	<b>55,241</b>	<b>55,2622</b>	<b>8,0786</b>	<b>7,9598</b>	<b>0,3550</b>

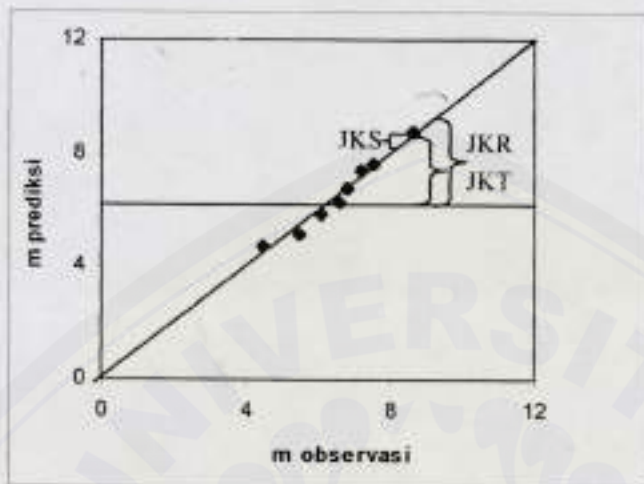
$$\begin{aligned}
 R^2 &= \frac{JKR}{JKT} \\
 &= \frac{7,9598}{8,0786} \\
 &= 0,9853
 \end{aligned}$$

dengan :

- x = nilai kadar air setimbang observasi.
- y = nilai kadar air setimbang prediksi.

## Lampiran 6. Perhitungan Koefisien Determinasi Pada Suhu 50 °C

Gambar scatter plot dengan persamaan  $y = x$



Keterangan gambar di atas selengkapnya dapat dilihat pada (Sembiring, 1995)

Perhitungan koefisien determinasi menggunakan persamaan  $y = x$

x	y	y=x	y rerata	JK total	JK regresi	Jk sisa
4,451	4,7304	4,451	6,5807	3,4238	4,5357	0,0780
5,425	5,1477	5,425	6,5807	2,0535	1,3357	0,0769
6,055	5,8307	6,055	6,5807	0,5625	0,2764	0,0503
6,561	6,3115	6,561	6,5807	0,0725	0,0004	0,0623
6,801	6,7721	6,801	6,5807	0,0366	0,0485	0,0008
7,165	7,4317	7,165	6,5807	0,7243	0,3414	0,0712
7,514	7,6343	7,514	6,5807	1,1101	0,8710	0,0145
8,615	8,7873	8,615	6,5807	4,8691	4,1383	0,0297
<b>52,587</b>	<b>52,6457</b>	<b>52,587</b>	<b>52,6457</b>	<b>12,8524</b>	<b>11,5474</b>	<b>0,3837</b>

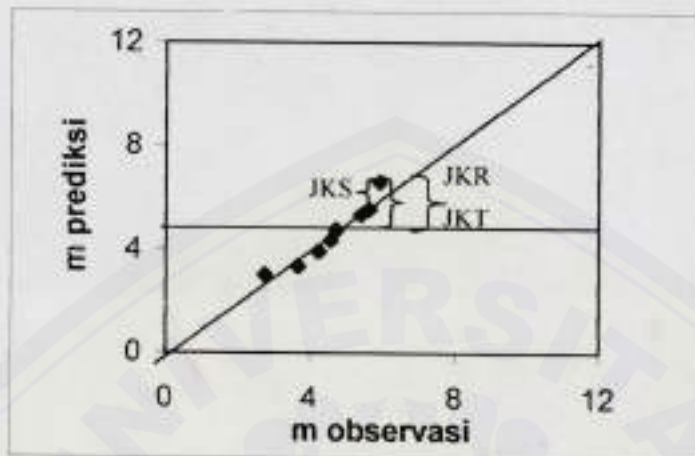
$$\begin{aligned}
 R^2 &= \frac{JKR}{JKT} \\
 &= \frac{11,5474}{12,8524} \\
 &= 0,8985
 \end{aligned}$$

dengan :

- x = nilai kadar air setimbang observasi.
- y = nilai kadar air setimbang prediksi.

## Lampiran 7. Perhitungan Koefisien Determinasi Pada Suhu 60 °C

Gambar scatter plot dengan persamaan  $y = x$



Keterangan gambar di atas selengkapnya dapat dilihat pada (Sembiring, 1995)

Perhitungan koefisien determinasi menggunakan persamaan  $y = x$

x	y	y=x	y rerata	JK total	JK regresi	Jk sisa
2,74	3,0208	2,74	4,6240	2,5703	3,5494	0,0788
3,654	3,3633	3,654	4,6240	1,5894	0,9409	0,0845
4,235	3,9400	4,235	4,6240	0,4678	0,1513	0,0870
4,554	4,3572	4,554	4,6240	0,0712	0,0049	0,0387
4,721	4,7651	4,721	4,6240	0,0199	0,0094	0,0019
5,415	5,3624	5,415	4,6240	0,5452	0,6257	0,0028
5,617	5,5488	5,617	4,6240	0,8552	0,9861	0,0047
5,916	6,6343	5,916	4,6240	4,0414	1,6693	0,5160
<b>36,852</b>	<b>36,9919</b>	<b>36,852</b>	<b>36,9919</b>	<b>10,1605</b>	<b>7,9370</b>	<b>0,8144</b>

$$\begin{aligned}
 R^2 &= \frac{JKR}{JKT} \\
 &= \frac{7,9370}{10,1605} \\
 &= 0,7812
 \end{aligned}$$

dengan :

- x = nilai kadar air setimbang observasi.
- y = nilai kadar air setimbang prediksi.

## Lampiran 8. Perhitungan Analisis Statistik

x	y	(x-y)/x	P
6,304	6,6071	0,0480	4,7048
7,884	6,9924	0,1130	
8,059	7,6015	0,0567	
8,111	8,0161	0,0116	
8,195	8,4038	0,0254	
8,475	8,9441	0,0553	
8,629	9,1068	0,0553	
9,903	10,0073	0,0105	
<b>65,56</b>	<b>65,6791</b>	<b>0,3758</b>	

x	y	(x-y)/x	P
5,321	5,4065	0,0160	2,6579
5,96	5,7618	0,0332	
6,566	6,3283	0,0361	
6,765	6,7171	0,0070	
6,951	7,0829	0,0189	
7,211	7,5963	0,0534	
7,602	7,7516	0,0196	
8,865	8,6173	0,0279	
<b>55,241</b>	<b>55,2618</b>	<b>0,2121</b>	

x	y	(x-y)/x	P
4,451	4,7303	0,0627	3,3306
5,425	5,1477	0,0511	
6,055	5,8307	0,0370	
6,561	6,3114	0,0380	
6,801	6,7720	0,0042	
7,165	7,4317	0,0372	
7,514	7,6343	0,0160	
8,615	8,7873	0,0200	
<b>52,587</b>	<b>52,6454</b>	<b>0,2662</b>	

<b>x</b>	<b>y</b>	<b>(x-y)/x</b>	<b>P</b>
2,74	3,0207	0,1024	5,5940
3,654	3,3632	0,0795	
4,235	3,9400	0,0696	
4,554	4,3572	0,0432	
4,721	4,7651	0,0093	
5,415	5,3623	0,0097	
5,617	5,5487	0,0121	
5,916	6,6343	0,1214	
<b>36,852</b>	<b>36,9915</b>	<b>0,4472</b>	

dengan :

x = nilai kadar air setimbang observasi.

y = nilai kadar air setimbang prediksi.

P = modulus deviasi.

## Lampiran 9. Perhitungan Standart Deviasi

x	y	$(x-y)^2$	s
6,304	6,6071	0,0919	0,4793
7,884	6,9924	0,7949	
8,059	7,6015	0,2093	
8,111	8,0162	0,0090	
8,195	8,4038	0,0436	
8,475	8,9441	0,2201	
8,629	9,1069	0,2284	
9,903	10,0074	0,0109	
<b>65,56</b>	<b>65,6794</b>	<b>1,6081</b>	

x	y	$(x-y)^2$	s
5,321	5,4066	0,0073	0,2252
5,960	5,7618	0,0393	
6,566	6,3283	0,0565	
6,765	6,7172	0,0023	
6,951	7,0830	0,0174	
7,211	7,5963	0,1485	
7,602	7,7517	0,0224	
8,865	8,6174	0,0613	
<b>55,241</b>	<b>55,2622</b>	<b>0,3832</b>	

x	y	$(x-y)^2$	s
4,451	4,7303	0,0780	0,2340
5,425	5,1477	0,0768	
6,055	5,8307	0,0503	
6,561	6,3114	0,0622	
6,801	6,7720	0,0008	
7,165	7,4317	0,0711	
7,514	7,6343	0,0144	
8,615	8,7873	0,0296	
<b>52,587</b>	<b>52,64572</b>	<b>0,3832</b>	



x	y	$(x-y)^2$	s
2,740	3,0208	0,0788	0,3411
3,654	3,3633	0,0845	
4,235	3,9400	0,0870	
4,554	4,3572	0,0387	
4,721	4,7651	0,0019	
5,415	5,3624	0,0028	
5,617	5,5488	0,0047	
5,916	6,6343	0,5160	
<b>36,852</b>	<b>36,9919</b>	<b>0,8144</b>	

dengan :

- x = nilai kadar air setimbang observasi.
- y = nilai kadar air setimbang prediksi.
- s = standart deviasi