



PENENTUAN NILAI KONSTANTA  
DIFFUSIVITAS MASSA (Dv)  
KERIPIK GADUNG SELAMA PENGERINGAN

**KARYA ILMIAH TERTULIS  
(SKRIPSI)**



Asal:	Halaman	Klass
Terima Tgl : 05 MAR 2002	<del>1</del>	664
No. Induk : 0503		LAI
KLA'IP / PE YALIN:		1 P e-1

Oleh : Nur Azifatul Lailia  
971710201107

**FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN  
UNIVERSITAS JEMBER**

FEBRUARI, 2002



**DOSEN PEMBIMBING :**

**Ir. SISWIJANTO, MP (DPU)**

**Ir. SURYANTO, MP (DPA)**

Diterima Oleh :

FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN  
UNIVERSITAS JEMBER

Sebagai Karya Ilmiah Tertulis (Skripsi)

Dipertahankan pada :

Hari : Selasa

Tanggal : 19 Pebruari 2002

Jam : 09.00

Tempat : Fakultas Teknologi Pertanian  
Universitas Jember

TIM PENGUJI

Ketua,

  
Ir. SISWIJANTO, MP  
NIP. 130 802 235

Anggota I

  
Ir. SURYANTO, MP  
NIP. 131 759 235

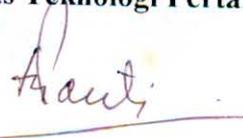
Anggota II

  
Ir. BAMBANG MARHAENANTO, M. Eng.  
NIP. 131 918 530

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknologi Pertanian



  
Ir. Siti HARTANTI, MS  
NIP. 130 350 763

**MOTTO**

**Diam itu adalah suatu kebijaksanaan, tapi sedikit benar orang  
yang berbuat demikian  
(HR. Baihaqi)**

**Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan  
(QS. Alam Nasyrah : 6)**

**Hendaklah kamu takut kepada Allah dimana saja kamu berada,  
dan susahlah (tutuplah) pekerjaan yang jahat dengan pekerjaan yang baik,  
pasti akan menghapusnya dan bergaulah dengan sesama manusia dengan  
kelakuan baik  
(HR. Ahmad)**

**...jadikanlah sabar dan sholat sebagai penolongmu, sesungguhnya Allah  
beserta orang-orang yang sabar...  
(QS. Al Baqarah : 153)**

**Jangan pernah berpikir apa yang dapat diberikan orang lain (teman)  
kepadamu, tapi pikirkan apa yang dapat kamu berikan pada orang lain  
(teman-temanmu)  
(wekku)**

## PERSEMBAHAN

*Alhamdulillah, puji syukur kehadirat-Mu Ya Allah atas terselesainya karya ilmiah tertulis (skripsi) ini yang kupersembahkan untuk:*

- ♥ *Allah SWT yang menguasai kehidupan dimuka bumi*
- ♥ *Nabi Muhammad SAW yang telah menunjukkan jalan yang terang bagi kita semua*
- ♥ *Ibunda "Maysyaroh" atas curahan kasih sayang, perhatian dan do'a yang senantiasa Engkau berikan dalam hidupku*
- ♥ *Ayahanda "Sulaiman" atas bimbingan, arahan dan nasehat yang selalu mewarnai kehidupanku agar menjadi yang terbaik dan berguna*
- ♥ *Kakak-kakakku terkasih dan adikku tercinta atas pengalaman dan pengamalan hidup, tempat berbagi suka dan dukaku*
- ♥ *"Seseorang" yang kelak akan menjadi pelurus tulangku yang bengkok*
- ♥ *Almamaterku, tempat berproses diri dan pembelajaran dalam meraih masa depan*
- ♥ *Bangsa dan Negaraku, dimana nantinya aku berkarya dan mengaplikasikan ilmuku.*

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil 'alamin, puji syukur kehadiran Allah SWT yang senantiasa memberikan rahmat, taufik dan hidayah-Nya sehingga penulisan skripsi yang berjudul "**PENENTUAN NILAI KONSTANTA DIFFUSIVITAS MASSA (DV) KERIPIK GADUNG SELAMA PENDINGINAN**" dapat terselesaikan dengan baik.

Penulisan skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat menyelesaikan pendidikan program Strata Satu (S-1) pada Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember. Oleh karena itu dengan terselesaikannya skripsi ini penulis menghaturkan banyak terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Ibu, Bapak dan saudara yang telah memberikan do'a, motivasi dan kasih sayang. Tak lupa pula penulis mengucapkan 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, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember dan dosen Pembimbing Utama (DPU) yang telah banyak membantu dan membimbing demi kebaikan Karya Tulis Ilmiah ini
3. Ir. SURYANTO, MP., selaku Dosen Pembimbing Anggota (DPA) yang telah memberikan bimbingan serta arahan selama pelaksanaan dan penyelesaian Karya Tulis Ilmiah ini
4. Ir BAMBANG MARHAENANTO, M.Eng., selaku Tim Penguji yang telah memberikan masukan-masukan demi kesempurnaan tulisan ini
5. Ir. HAMID AHMAD, selaku Dosen Wali yang telah memberikan arahan selama studi di Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember
6. Mbak Wim & Mas mistar selaku teknisi di Laboratorium PHP yang telah memberikan bantuan dan arahan selama pelaksanaan penelitian

7. Semua civitas akademika FTP yang telah banyak memberikan ilmu dan pengetahuan
8. Rekan – rekan angkatan '97 TEP yang telah banyak memberikan kenangan selama studi (*dyan, egik, atik, yuana, andi, aris, hari, dedy, budi dll*)
9. Keluarga besar Work Shop (*mas Agus, mas Dyan, Beni, Nung'Q, eko, anom, mas hariman, dll*)
10. Seluruh anggota **Khatulistiwa** (*Candra, Dodi, Saiful, Yudi, Yoyok, Tito, Rudolf, Joc, Ipe, Ira, Fajar, dll*) terima kasih atas guyonan dan pengetahuan serta pengalaman yang tak akan terlupakan
11. Teman – teman kost-ku di Kalimantan IV/71 terima kasih atas kebersamaan dan guyonan yang senantiasa mewarnai hidup kita di kost-an
12. Bapak/Ibu Mahfud di Ambulu dan Ibu Sukma yang telah membantu terselesainya penelitian ini
13. Mbak Ani dan Mbak Tutik, terima kasih atas pelayanannya yang baik
14. Kru Echo komputer, terima kasih atas fasilitas dan pelayanan yang diberikan
15. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu-persatu, yang telah memberikan bantuan langsung maupun tidak langsung dalam menyelesaikan Karya Tulis Ilmiah ini.

Penulis menyadari bahwa penulisan Karya Tulis Ilmiah ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis mengharap kritik dan saran yang membangun dari pembaca untuk kesempurnaannya. Semoga karya tertulis ini dapat menambah wawasan dan bermanfaat bagi semua yang membutuhkan.

Jember, 29 Pebruari, 2002

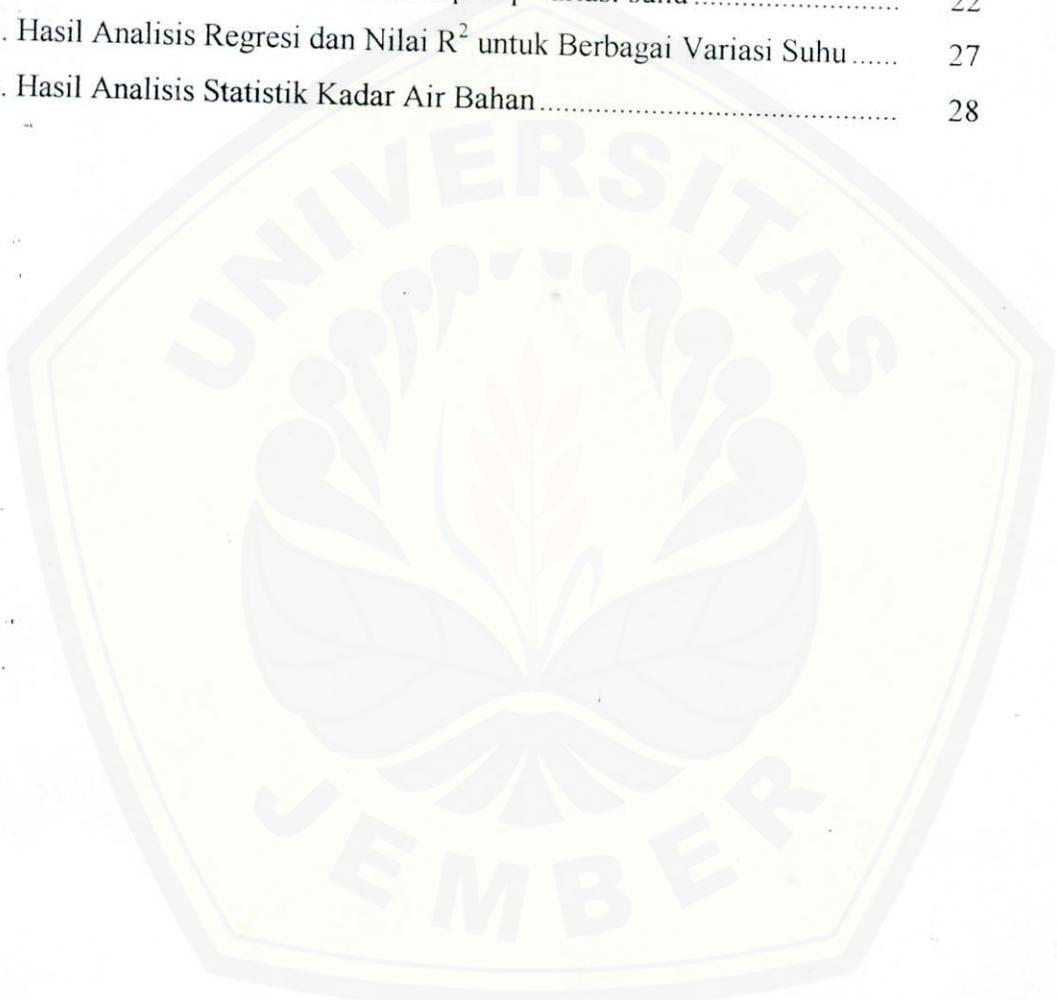
DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN DOSEN PEMBIMBING.....	ii
HALAMAN MOTTO.....	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	iv
HALAMAN PENGESAHAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
DAFTAR SIMBOL.....	xiii
RINGKASAN.....	xiv
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Umbi Gadung ( <i>Dioscorea hispida</i> Dennstedt).....	4
2.2 Aktifitas Air dalam Bahan.....	5
2.3 Penentuan Kadar Air.....	6
2.4 Proses Pengeringan.....	6
2.4.1 Tahap Kecepatan Pengeringan tetap.....	8
2.4.2 Tahap Kecepatan Pengeringan Menurun.....	9
2.5 Pengeringan dengan Tray Dryer.....	9
2.6 Difusi.....	10

<b>III. METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	12
3.1 Pendekatan Teori .....	12
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian .....	14
3.3 Bahan dan Alat .....	14
3.3.1 Bahan.....	15
3.3.2 Alat.....	15
3.4 Metode Penelitian .....	16
3.4.1 Metode Pengambilan Data .....	16
3.4.2 Perlakuan .....	16
3.4.3 Analisis Data .....	18
3.4.4 Diagram Alir Perhitungan ilai Konstanta Diffusivitas Massa .....	18
3.5 Uji Validitas Data .....	20
3.5.1 Analisis Grafis.....	20
3.5.2 Analisis Statistik .....	20
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	21
4.1 Hasil Penelitian .....	21
4.2 Penentuan Nilai Konstanta Diffusivitas Massa ( $D_v$ ).....	23
4.3 Uji Validitas .....	26
4.3.1 Prediksi Kadar Air .....	26
4.3.2 Analisis Grafis.....	27
4.3.3 Analisis Statistik .....	30
<b>V. KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	31
5.1 Kesimpulan .....	31
5.2 Saran.....	31
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	32
<b>LAMPIRAN</b> .....	33

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1. Tabel Komposisi Kandungan Zat-Zat dalam Gadung.....	4
4.1. Kadar Air Bahan selama Pengeringan.....	20
4.2. Nilai Diffusivitas Massa untuk tiap-tiap variasi suhu.....	22
4.3. Hasil Analisis Regresi dan Nilai $R^2$ untuk Berbagai Variasi Suhu.....	27
4.4. Hasil Analisis Statistik Kadar Air Bahan.....	28

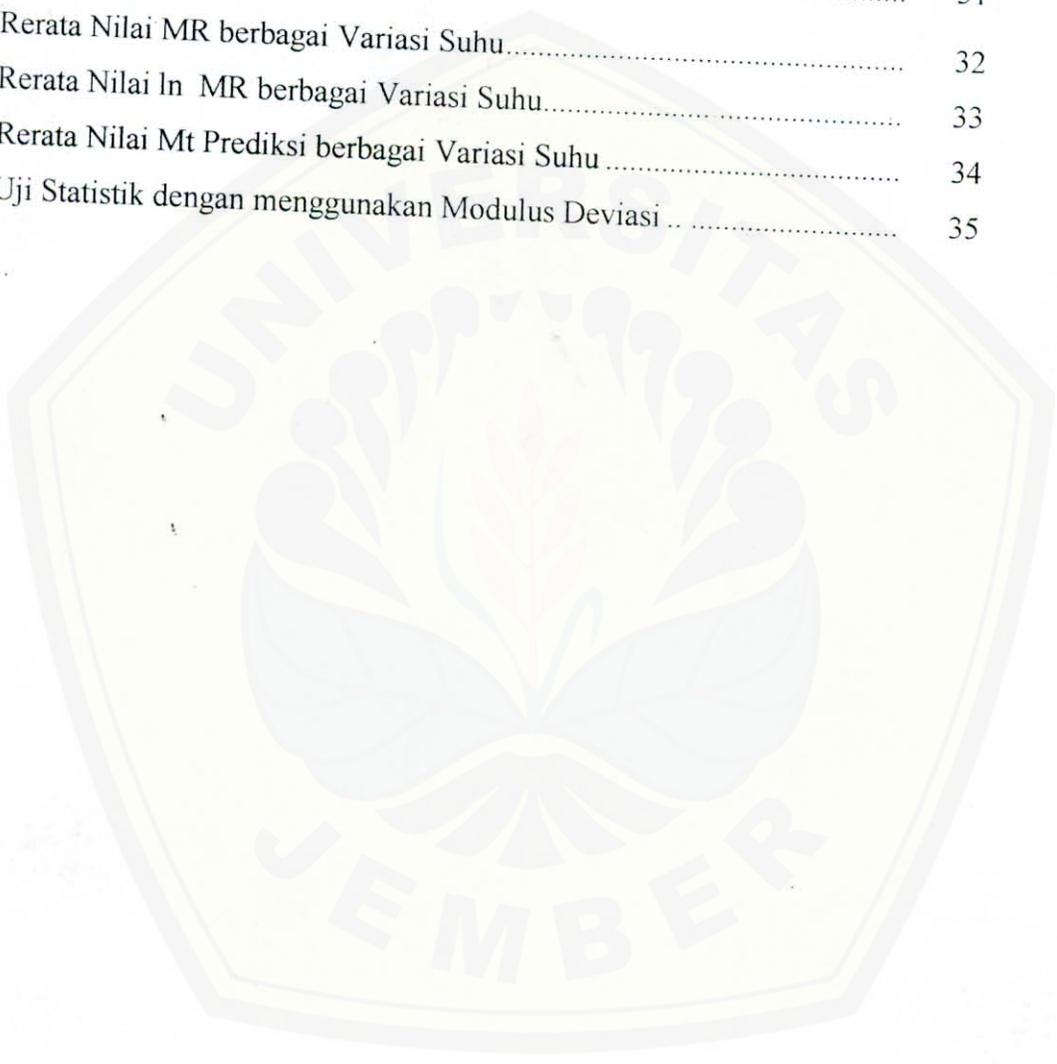


DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1. Kurva Pengeringan Kadar Air.....	7
3.1. Bagan Pengolahan Gadung sebelum dilakukan Proses pengeringan ..	15
3.2. Skema Rangkaian Alat Pengering Tipe Rak .....	17
3.3. Diagram Alir Perhitungan Nilai Diffusivitas Massa ( $D_v$ ).....	19
4.1. Grafik Hubungan Kadar Air dengan Waktu Pengeringan .....	20
4.2. Grafik Hubungan $\ln MR$ dan $t$ pada Variasi Suhu .....	21
4.3. Grafik Hubungan $D_v$ dengan Suhu .....	23
4.4. Grafik Hubungan Kadar Air (Prediksi dan Observasi) dengan Waktu.....	24
4.5. Scatter Plot Kadar Air Observasi dan Prediksi pada Suhu $30^{\circ}\text{C}$ Terhadap Garis $y=x$ .....	25
4.6. Scatter Plot Kadar Air Observasi dan Prediksi pada Suhu $40^{\circ}\text{C}$ Terhadap Garis $y=x$ .....	26
4.7. Scatter Plot Kadar Air Observasi dan Prediksi pada Suhu $50^{\circ}\text{C}$ Terhadap Garis $y=x$ .....	26

**DAFTAR LAMPIRAN**

<b>Lampiran</b>	<b>Halaman</b>
1. Data Berat dan Ketebalan Bahan pada Proses Pengeringan pada Berbagai Variasi Suhu.....	31
2. Rerata Nilai MR berbagai Variasi Suhu.....	32
3. Rerata Nilai ln MR berbagai Variasi Suhu.....	33
4. Rerata Nilai Mt Prediksi berbagai Variasi Suhu.....	34
5. Uji Statistik dengan menggunakan Modulus Deviasi.....	35



DAFTAR SIMBOL

A	: luas permukaan ( $m^2$ )
a	: ketebalan bahan (m)
aw	: aktifitas air (RH/100)
c	: nilai dari bentuk bahan
c, n	: konstanta dari persamaan Oswin sebagai fungsi suhu
D	: koefisien difusi ( $m^2$ /jam)
dM/dt	: laju pengeringan (kg/jam)
ha	: kelembaban udara pada suhu $T_a$ (kg $H_2O$ /kg udara kering)
hc	: koefisien transfer panas ( $watt^{\circ}C/m^2$ )
hfg	: panas laten penguapan (kJ/kg)
Hs	: kelembaban udara pada suhu $T_s$ (kg $H_2O$ /kg udara kering)
Km	: koefisien transfer panas (kg.kg udara kering/jam.kg $H_2O.m^2$ )
M	: kadar air (%)
Mt	: kadar air pada saat t pengeringan (%)
Mo	: kadar air pada awal pengeringan (%)
Me	: kadar air keseimbangan (%)
m	: gradien garis lurus
N	: banyaknya data
P	: modulus deviasi
r	: jari-jari bahan (m)
RH	: kelembaban (%)
S	: standart deviasi
$T_s$	: suhu permukaan bahan ( $^{\circ}C$ )
$T_a$	: suhu udara ( $^{\circ}C$ )
t	: waktu (jam)
Wd	: berat kering bahan (kg)
Wm	: berat kandungan air (kg)

Nur Azifatul Lailia, NIM 971710201107, Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember, "PENENTUAN NILAI KONSTANTA DIFFUSIVITAS MASSA (Dv) KERIPIK GADUNG SELAMA PENGERINGAN" Dibimbing oleh Ir. SISWIJANTO, MP selaku Dosen Pembimbing Utama dan Ir. SURYANTO, MP. MP selaku Dosen Pembimbing Anggota.

## RINGKASAN

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis proses penguapan air pada keripik gadung, khususnya untuk menemukan suatu konstanta difusi (konstanta Diffusivitas massa,  $D_v$ ) pada berbagai suhu pengeringan. Suhu pengeringan yang digunakan dalam penelitian adalah suhu  $30^{\circ}\text{C}$ ,  $40^{\circ}\text{C}$  dan  $50^{\circ}\text{C}$ . Sedangkan data yang diperoleh berupa kadar air bahan.

Pada setiap suhu pengeringan dapat dilihat bahwa kadar air bahan menurun dengan cepat pada awal proses pengeringan dan kemudian penurunannya terjadi secara lambat pada jam-jam berikutnya yang akhirnya mencapai kadar air seimbang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu pengeringan makin besar massa uap yang dibebaskan dan proses pengeringan berlangsung semakin cepat.

Nilai Diffusivitas massa kemudian ditentukan dengan menggunakan persamaan differensial pada bahan dengan bentuk slab. Dari hasil perhitungan didapatkan bahwa nilai konstanta Diffusivitas Massa ( $D_v$ ) sangat dipengaruhi oleh suhu pengeringan. Semakin tinggi suhu pengeringan, makin besar nilai Diffusivitas Massa ( $D_v$ ) yang didapat. Selanjutnya nilai Diffusivitas Massa ( $D_v$ ) ini digunakan untuk memprediksi kadar air yang diuapkan. Dan dari hasil hasil perhitungan kadar air prediksi yang didapat menunjukkan bahwa hasil prediksi tidak menunjukkan beda nyata dengan hasil observasi (penelitian). Dengan demikian dapat dikatakan bahwa persamaan differensial untuk difusi pada bahan berbentuk slab dapat memprediksi kadar air dengan baik.

Penelitian ini juga bertujuan untuk dapat menentukan nilai diffusivitas massa ( $D_v$ ) dalam fungsi suhu, dan setelah dilakukan perhitungan maka didapatkan persamaan untuk menentukan nilai konstanta diffusivitas massa ( $D_v$ ) dalam fungsi suhu adalah sebagai berikut :

$$D_v = 5 \times 10^{-8} \cdot T + 10^{-6}$$

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Gadung (*Dioscorea hispida* Dennst.) adalah jenis tanaman umbi-umbian yang banyak terdapat di Indonesia dan cara tumbuhnya masih liar di hutan-hutan. Sampai sekarang belum dibudidayakan secara intensif. Tanaman ini memiliki nilai pangan yang cukup tinggi yaitu kandungan karbohidrat 23,2%, kalori 101 kal. Nilai produktifitasnya tinggi yaitu 20 ton/ha/tahun. Sedangkan lokasi budidaya gadung di propinsi Jatim berada di kawasan Taman Nasional Baluran (Baluran National Park) yang berada di kota Banyuwangi. Dibalik kelebihan-kelebihannya ada kekurangannya sehingga menimbulkan kesan bagi masyarakat bahwa tanaman gadung kurang memiliki arti, hal ini disebabkan karena kandungan asam sianida dalam gadung cukup tinggi, yaitu zat yang bisa membuat keracunan bila dikonsumsi (Suroto dkk, 1995).

Umbi gadung (*Dioscorea hispida* Dennst.) merupakan salah satu umbi-umbian yang banyak ditanam petani sebagai tanaman pagar atau sampingan dan sumber karbohidrat. Pengolahan umbi gadung umumnya masih tradisional, yakni dibuat keripik gadung. Terbatasnya cara pengolahan tersebut karena adanya racun dioscorin dan dioscein yang berbahaya bagi kesehatan, sehingga masyarakat merasa takut untuk memanfaatkan dalam berbagai produk olahan makanan (Sri Raharjo, 1998).

Pemanfaatan umbi gadung dapat dalam bentuk umbi kering seperti tepung, serupih, atau keripik. Untuk meningkatkan mutu dari produk kering ini dapat dilaksanakan dengan pelaksanaan pengeringan yang sempurna, sehingga diharapkan dapat memperpanjang daya simpan dari produk kering ini (tahan terhadap serangan jamur selama penyimpanan). Pentingnya pengeringan yang sempurna pada keripik gadung dikarenakan oleh pembuatan keripik gadung adalah untuk dimanfaatkan dalam jangka waktu panjang. Pengeringan yang dilakukan merupakan upaya untuk mempertahankan kualitas keripik gadung untuk jangka waktu yang lebih lama, yaitu

dengan jalan memperkecil kandungan air dalam bahan agar tidak mudah ditumbuhi jamur/bakteri.

Menurut Winarno dalam Taib (1987) jumlah kandungan air pada bahan hasil pertanian akan mempengaruhi daya tahan bahan tersebut terhadap serangan mikroba, dan biasanya dinyatakan sebagai "*water activity*" (*aw*). Yang dimaksud dengan "*water activity*" ini adalah jumlah air bebas bahan yang dapat dipergunakan oleh mikroba untuk pertumbuhannya. Untuk memperpanjang daya tahan suatu bahan, maka sebagian air pada bahan dihilangkan hingga kadar air tertentu. Tujuan pengeringan sendiri adalah mengurangi kadar air sampai batas dimana perkembangan mikroorganisme dan kegiatan enzim yang dapat menyebabkan proses pembusukan terhambat/terhenti. Dengan demikian bahan yang dikeringkan dapat mempunyai waktu simpan yang lama (Taib, 1987).

Tray Dryer adalah alat pengering berbentuk rak yang digunakan sebagai tempat bahan yang akan dikeringkan dengan prinsip kerja melewatkan udara dalam aliran paralel diatas setiap permukaan pelat (tray) yang berisikan bahan (keripik gadung) dengan kondisi udara yang tidak konstan. Pengeringan dengan tray dryer berlangsung secara adiabatik, dimana zat produk akan bersentuhan langsung dengan gas panas.

Selama ini petani mengeringkan gadung dengan menggunakan sinar matahari sebagai media pengering. Namun kelemahan dari sistem tersebut adalah bahwa massa air yang berpindah tidak terkontrol, dan juga sangat tergantung pada keberadaan sinar matahari pada cuaca panas. Berkaitan dengan hal tersebut, penulis mencoba menemukan nilai konstanta diffusivitas massa ( $D_v$ ) dari keripik gadung yang dikeringkan dengan alat pengering tipe rak (tray dryer) dan tentunya akan sangat berpengaruh pada jalannya proses pengeringan terutama pada laju pengeringan yang terjadi.

## 1.2 Permasalahan

Proses pengeringan diperoleh dengan cara penguapan air. Banyaknya uap air yang diuapkan persatuan waktu tertentu disebut sebagai laju pengeringan, dan dalam hal ini perlu adanya pengendalian terhadap laju pengeringan karena jika tidak maka

akan berakibat pada terjadinya case hardening dan cracking (yang merupakan akibat dari laju pengeringan yang tidak terkontrol). Dalam artian, laju difusi air dari dasar bahan menuju kepermukaan tidak dapat mengimbangi kecepatan penguapan air dipermukaan bahan pangan. Dengan adanya konstanta Diffusivitas massa ( $D_v$ ) diharapkan dapat memprediksi besarnya laju pengeringan yang dilakukan.

### 1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini mempunyai tujuan yaitu :

1. menentukan nilai diffusivitas massa ( $D_v$ ) keripik gadung selama pengeringan, dan
2. menganalisa pengaruh suhu udara pengering terhadap nilai diffusivitas massa ( $D_v$ ).

### 1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi bagi pengembangan ilmu pengetahuan terutama mengenai nilai konstanta Diffusivitas massa ( $D_v$ ) keripik gadung yang dapat digunakan untuk menduga perubahan kadar air selama proses pengeringan keripik gadung.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Umbi Gadung (*Dioscorea hispida* Dennstedt)

*Dioscorea hispida* Dennstedt – uwi penyebab mabuk, uwi pati., gadung. Berasal dari India dan Asia Tenggara. Batangnya membelit kekiri; tidak menghasilkan umbi layang. Umbi yang terbentuk dekat permukaan tanah sering berbentuk ulat, kadang juga memanjang. Beberapa klon harus dibuang dahulu racunnya sebelum bisa dimakan.

Gadung merupakan salah satu jenis umbi-umbian yang banyak ditemukan secara liar diberbagai daerah di kalimantan. Umbi gadung berkulit agak tebal dan diliputi dengan akar-akar pendek. Merupakan tanaman perdu memanjat yang tingginya mencapai 5-10 m, batangnya bulat berbulu dan berduri yang tersebar sepanjang batang dan tangkai daun. Umbinya bulat diliputi rambut yang besar dan kaku. Kulit umbi berwarna kuning/coklat muda, daging umbinya berwarna kuning atau putih gading, umbinya muncul dekat permukaan tanah, daunnya merupakan daun majemuk yang terdiri dari tiga helai daun, bunga tersusun dalam ketiak daun, berbulir, berbulu dan jarang sekali dijumpai. Berikut adalah komposisi kandungan zat-zat dalam umbi gadung.

Tabel 2.1 Tabel Komposisi Kandungan Zat-Zat dalam Umbi Gadung

Komponen	Kandungan
Kalori	101 kal
Karbohidrat	23,2 gram
Lemak	0,2 gram
Protein	2,1 gram
Kalsium	20 gram
Phosphor	69 gram
Besi	0,6 gram
Vitamin A	-
Vitamin B	1,10 gram
Vitamin C	9 gram
Air	73,5 gram

Sumber : Raharjo, 1998

Berikut adalah klasifikasi dari gadung, yaitu (Vincent & Yamaguchi, 1998) :

Spesies	: <i>Dioscorea hispida</i> Dennstedt
Genus	: <i>Dioscorea</i>
Famili	: Dioscoreaceae
Ordo	: Liliales
Kelas	: monokotiledon
Subdivisio	: Angiospermae
Divisio	: Spermatophyta

## 2.2 Aktifitas Air Dalam Bahan (*Water Actifity, aw*)

Aktifitas air (*aw*) adalah jumlah air bebas dalam bahan pangan yang dapat digunakan oleh mikroba untuk hidup. Makin tinggi nilai *aw* maka resiko bahan pangan semakin besar, sebab jenis dan peluang kerusakan akibat aktifitas mikroba meningkat. Banyaknya kandungan air didalam bahan akan sangat berpengaruh pada keawetan bahan, karena semakin banyak kandungan air maka aktifitas mikrobia dalam bahan akan semakin banyak.

Air merupakan komponen yang sangat penting bagi kehidupan manusia dan fungsinya tidak pernah dapat digantikan oleh senyawa lain. Air juga merupakan komponen penting dalam bahan makanan karena air dapat mempengaruhi penampilan, tekstur serta cita rasa makanan (Winarno, 1984). Air yang akan diuapkan terdiri dari air bebas dan air terikat. Air bebas adalah air yang terdapat pada permukaan bahan yang pertama-tama mengalami penguapan. Bila air permukaan telah habis maka akan terjadi migrasi air dan uap dari bagian dalam bahan permukaan secara difusi, migrasi air dan uap terjadi karena perbedaan konsentrasi atau tekanan uap dibagian dalam dengan bagian luar bahan (Henderson and Perry, 1976).

Air yang terkandung didalam bahan padat dapat dikatakan terikat dalam bentuk yang bermacam-macam. Gaya mekanis yang berhubungan dengan tegangan muka dapat mengikat air didalam pori-pori atau didalam ruang antar partikel/sebagai lapisan pada permukaan padat. Sebelum air diuapkan dalam proses pengeringan, maka air harus berada pada permukaan bahan padat yang akan dikeringkan. Proses pergerakan air didalam bahan dipengaruhi oleh : penguapan, difusi, gerakan kapiler, penyusutan volume bahan padat (Hall, 1980).

### 2.3 Penentuan Kadar Air

Kadar air suatu bahan dapat dinyatakan dalam dua cara yaitu berdasarkan bahan kering (*dry basis, db*) dan berdasarkan bahan basah (*wet basis, wb*). Kadar air secara "*dry basis*" adalah perbandingan antara berat air didalam bahan tersebut dengan berat keringnya. Berat bahan kering adalah berat bahan asal setelah dikurangi dengan berat airnya. Kadar air secara "*wet basis*" adalah perbandingan antara berat air didalam bahan tersebut dengan berat bahan basah (Winarno, 1980).

- *Basis basah (wb)*

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

- *Basis Kering (db)*

$$ka = \frac{W_m}{W_d} \times 100\% \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana,  $W_m$  = berat kandungan air  
 $W_d$  = berat kering bahan

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

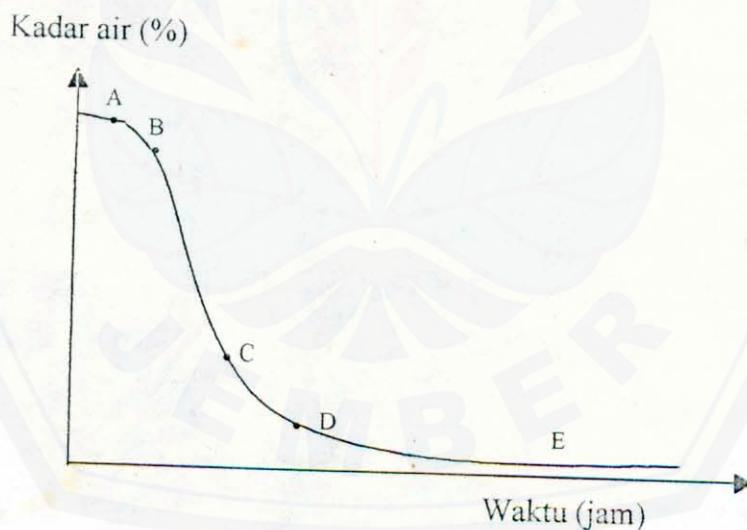
### 2.4 Proses Pengeringan

Pengeringan adalah suatu metode untuk mengeluarkan sebagian air dari bahan, menguapkannya dengan menggunakan energi panas. Pengeringan merupakan salah satu proses pengolahan bahan pangan yang sudah lama dikenali. Bahan pangan dikeringkan dengan tujuan terutama untuk mengawetkannya, sehingga dapat disimpan dalam jangka waktu yang lama. Menurunkan kadar air bahan sampai tingkat tertentu, diharapkan dapat membatasi pertumbuhan mikrobial (Winarno, 1980). Selain tujuan tersebut, pengeringan juga mempunyai tujuan yang lain, yaitu:

1. mengurangi biaya transportasi ;
2. membuat bahan lebih mudah untuk ditangani ; dan
3. memperoleh sifat bahan yang diinginkan.

Proses pengeringan dapat dilakukan dengan memanfaatkan sinar matahari sebagai sumber panas (secara alami) dan dapat juga dilakukan secara mekanis (dengan menggunakan alat/mesin pengering). Pada pengeringan keripik gadung ini dilakukan dengan menggunakan alat pengeringan tipe rak (*tray dryer*). *Tray Dryer* adalah alat pengering yang berbentuk rak yang digunakan sebagai tempat bahan yang akan dikeringkan dengan prinsip kerja melewatkan udara dalam aliran paralel diatas setiap permukaan pelat (*tray*) yang berisikan bahan (keripik gadung) dengan kondisi udara yang tidak konstan. Pengeringan dengan *tray dryer* berlangsung secara adiabatik, dimana zat produk akan bersentuhan langsung dengan gas panas.

Pengeringan secara mekanis adalah pengeringan dengan menggunakan peralatan serba mekanis elektrik. Pengeringan demikian sama sekali tidak tergantung pada cuaca atau musim. Pengeringan mekanis dapat dikerjakan sepanjang waktu. Bila bahan padat dikeringkan maka akan diperoleh data kadar air dan hubungannya dengan waktu (dapat dilihat dalam bentuk kurva hubungan antara kadar air dengan waktu pada Gambar 2.1).



Keterangan :

1. A-B : periode pemanasan
2. B-C : periode laju pengeringan tetap
3. C : periode titik kritis
4. C-D : periode laju pengeringan menurun pertama
5. D-E : periode laju pengeringan menurun kedua

(Hall, 1980).

Gambar 2.1 Kurva Pengeringan Bahan

Proses pengeringan terdiri dari dua tahap, tahap kecepatan pengeringan tetap dan tahap kecepatan pengeringan menurun.

#### 2.4.1 Tahap Kecepatan Pengeringan Tetap

Dalam tahap kecepatan pengeringan tetap, gerakan air didalam bahan cukup cepat untuk selalu membuat kondisi jenuh pada permukaan bahan. Kecepatan pengeringan ditentukan oleh kecepatan transfer panas pada permukaan bahan.

Panas penguapan dalam tahap kecepatan pengeringan tetap berasal dari medium pemanas, dan laju pengeringannya dapat ditulis dengan persamaan sebagai berikut (Brooker dkk, 1992) :

$$\frac{dM}{dt} = km A (H_s - H_a) = hc A \left[ \frac{T_a - T_s}{hfg} \right] \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan :

- $\frac{dM}{dt}$  = laju pengeringan
- km = koefisien transfer panas
- A = luas permukaan pengeringan
- H<sub>s</sub> = kelembaban udara pada suhu T<sub>s</sub>
- H<sub>a</sub> = kelembaban udara pada suhu T<sub>a</sub>
- T<sub>s</sub> = suhu permukaan bahan
- T<sub>a</sub> = suhu udara
- hc = koefisien transfer panas
- hfg = panas laten penguapan

Akhir dari laju tetap, titik pecah kurva laju pengeringan, menandai bahwa air telah selesai berlaku sebagai permukaan yang bebas dan faktor tersebut selain daripada perbedaan tekanan uap mengatur laju pengeringan. Setelah itu, laju pengeringan menurun, dan ini disebut laju pengeringan menurun (Earle, 1969, edt. Zein Nasution, 1982).

### 2.4.2 Tahap Kecepatan Pengeringan Menurun

Pada tahap kecepatan pengeringan menurun, kecepatan pengeringan dipengaruhi oleh transfer massa dari air didalam bahan secara difusi disamping kemungkinan lain, yaitu: karena gerakan air oleh gaya kapiler. Menurut persamaan Newton untuk pendinginan yang didasarkan pada pengeringan lapis tunggal, dalam pengeringan lapis tunggal, dimana bahan dihadapkan pada udara panas dengan suhu dan kelembaban yang konstan, sehingga tidak terjadi gradien panas dan massa dalam pengeringan lapis tunggal tersebut (Hall, 1980).

Panas untuk pengeringan ditransfer dari udara kepermukaan bahan yang kering dan masuk kedalam bahan sampai terjadi penguapan air. Air menguap didalam bahan dan uap yang terjadi bergerak menuju kealiran udara. Pada tahap kecepatan menurun ini laju pengeringannya dapat dicari dengan menggunakan persamaan :

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

Dimana :  $\frac{dM}{dt}$  = laju pengeringan

D = koefisien difusi

c = nilai dari bentuk bahan, dimana hal ini ditentukan oleh bentuk bahan, yaitu : 2 untuk bola, 1 untuk silinder dan 0 untuk slab.

r = jari-jari bahan

(Brooker dkk, 1992)

Dari persamaan 2.4 diatas maka persamaan difusi pada bahan berbentuk slab adalah:

$$\frac{dM}{dt} = D \left[ \frac{d^2M}{dx^2} \right], \quad \text{dimana } x \text{ adalah ketebalan bahan.}$$

Faktor-faktor yang mengatur laju dalam periode kecepatan menurun sangat kompleks, tergantung pada difusi menembus bahan pangan & pada permukaan pola tenaga pengikat molekul air (Earle, 1969, edt. Zein Nasution, 1982).

### 2.5 Pengeringan dengan Tray Dryer

Tray dryer adalah alat pengering berbentuk rak yang berbentuk persegi dan didalamnya berisi plat-plat sebagai tempat bahan yang akan dikeringkan. Pada saat dilakukan proses pengeringan, maka bahan diletakkan diatas plat (tray) yang terbuat

dari logam dengan alas yang berlubang-lubang, dimana lubang-lubang ini berfungsi untuk mengalirkan udara panas dan uap air.

Untuk plat dan besar lubang-lubang pada plat yang digunakan tergantung pada bahan yang akan dikeringkan. Misalnya apabila bahan yang akan dikeringkan berupa butiran, maka lubangnya berukuran kecil. Jumlah yang digunakan tergantung pada keperluan, makin besar alatnya maka makin banyak plat yang dibutuhkan.

Pada alat pengering ini, selain bahan ditempatkan langsung diatas plat bahan juga dapat ditebarkan pada wadah lain seperti baki atau nampan. Kemudian baki atau nampan ini disusun diatas rak yang ada dalam alat pengering.

Selain alat pemanas udara, biasanya juga digunakan kipas atau fan untuk mengatur sirkulasi udara dalam alat pengering. Setelah udara melewati kipas, maka masuk kedalam alat pemanas dan disini udara dipanaskan terlebih dahulu kemudian dialirkan diantara rak-rak yang sudah berisi bahan. Suhu yang digunakan dan waktu pengeringan ditentukan menurut keadaan bahan, kadar air awal dan kadar air akhir yang digunakan (Zaki, 1995).

## 2.6 Difusi

Difusi adalah pembauran (*spreading out*) bahan kelingkungannya. Ada dua macam difusi yaitu difusi molekuler dan difusi Eddy. Difusi molekuler didefinisikan sebagai perpindahan bahan dalam skala molekuler memasuki fluida diam (*stagnant*) atau fluida dalam aliran yang laminer dengan arah yang tegak lurus terhadap aliran utama. Sedangkan difusi Eddy menyangkut tentang proses perpindahan massa yang melibatkan *fluid bulk*. Difusi dalam matrik lebih rumit daripada difusi cairan atau gas, karena walaupun produk mungkin kelihatannya terdifusi dalam matrik padatan, produk sesungguhnya terdifusi melalui gas dalam padat yang sarang (*porous*).

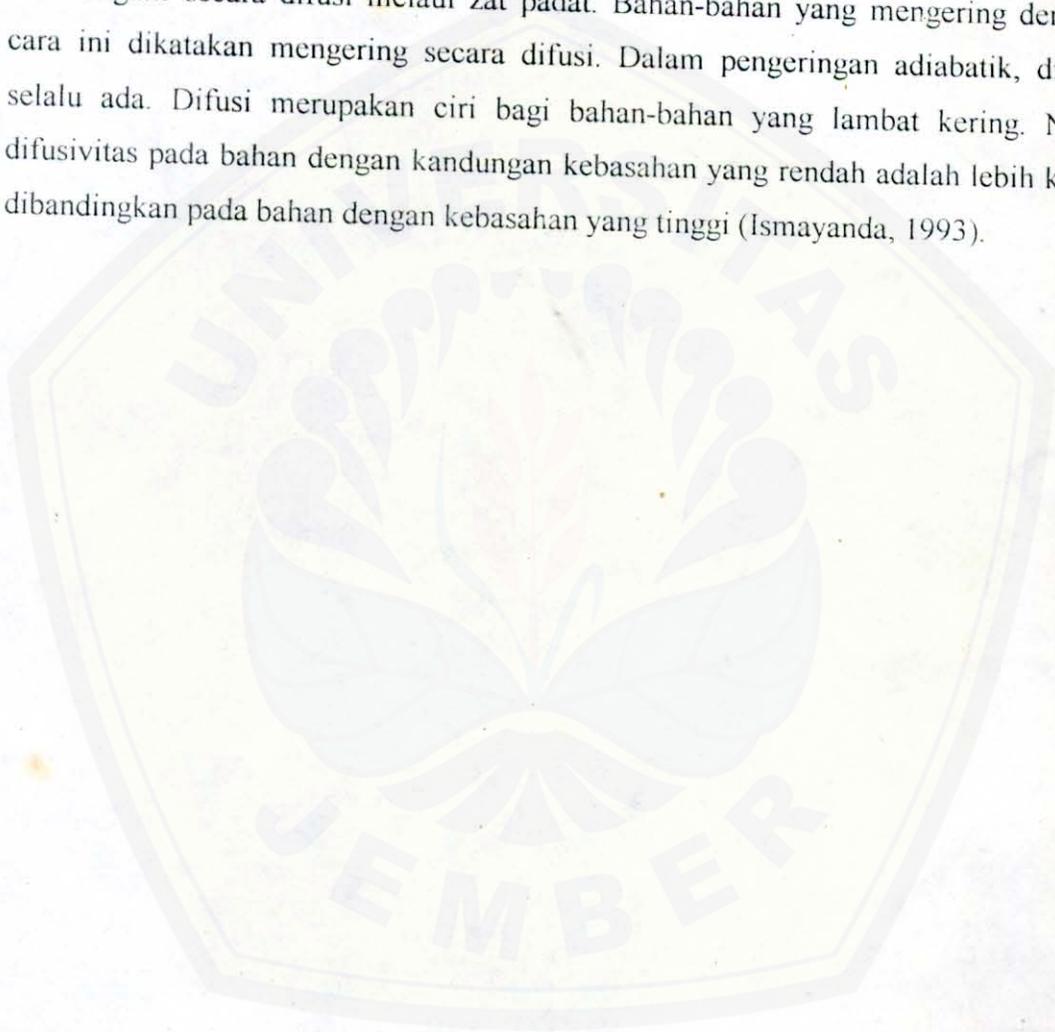
Pada prakteknya proses pengeringan pada semua bahan pertanian dilakukan pada tahap periode kecepatan pengeringan menurun. Bahan-bahan yang dialirkan kemesin pengering dari mesin pencuci dapat mengalami periode kecepatan konstan secara singkat. Periode ini biasanya sangat kecil dibandingkan dengan proses pengeringan yang lengkap dan dalam perhitungannya dapat diabaikan.

Laju pengeringan menurun terjadi pada saat kandungan air bahan pangan hanya tinggal air terikat saja. Pada proses ini, penguapan yang terjadi lama kelamaan makin lambat, hal ini terjadi karena : jumlah airnya makin sedikit, daya ikat terhadap

air makin kuat. Dalam laju pengeringan menurun, terjadi dua proses perpindahan air, yaitu :

1. difusi air dari bagian dalam bahan menuju permukaan, dan
2. penguapan air dari permukaan bahan keluar. (Henderson and Perry, 1976).

Distribusi kebasahan didalam zat padat memberi kurva menurun dimana kandungan kebasahan setempat dipetakan terhadap jarak dari permukaan. Kebasahan itu mengalir secara difusi melalui zat padat. Bahan-bahan yang mengering dengan cara ini dikatakan mengering secara difusi. Dalam pengeringan adiabatik, difusi selalu ada. Difusi merupakan ciri bagi bahan-bahan yang lambat kering. Nilai difusivitas pada bahan dengan kandungan kebasahan yang rendah adalah lebih kecil dibandingkan pada bahan dengan kebasahan yang tinggi (Ismayanda, 1993).





III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pendekatan teori

Asumsi yang digunakan dalam menganalisis kadar air prediksi meliputi :

1. Bahan berbentuk slab,
2. Penyusutan ketebalan slab diabaikan,
3. Proses penguapan air terjadi merata diseluruh permukaan bahan,
4. Nilai Diffusivitas massa selama proses konstan,
5. Kecepatan aliran udara selama proses konstan,
6. Pengeringan terjadi pada periode kecepatan menurun,
7. Bahan dianggap satu dimensi.

Penelitian ini didasarkan pada persamaan dari Hukum Fick ke-II (Fick's Law Diffusion), yakni :

$$\frac{\partial M}{\partial t} = Dv \left[ \frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial z^2} \right] \dots\dots\dots(3.1)$$

Dimana, M : kadar air

Dv : konstanta Diffusivitas massa

t : waktu

x : jari-jari

Berdasarkan pada persamaan dari Hukum Fick ke-II tentang difusi, maka didapatkan persamaan untuk proses difusi pada slab sebagai berikut:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = Dv \left[ \frac{\partial^2 M}{\partial x^2} \right] \dots\dots\dots(3.2)$$

Menurut Treyball (1984) jika dilakukan pengintegralan terhadap Hukum Fick ke-II, maka didapatkan :

$$\frac{Mt - Me}{Mo - Me} = \left[ e^{-Dv.t \cdot \frac{\pi^2}{4a^2}} \right] \dots\dots\dots(3.3)$$

Dengan kondisi awal dan kondisi batas sebagai berikut :

Untuk  $t = 0$  , maka  $M = M_0$

$t = \infty$  , maka  $M = M_e$

- Dimana,
- $M_t$  = kadar air setelah  $t$  pengeringan
  - $M_0$  = kadar air pada awal pengeringan
  - $M_e$  = kadar air kesetimbangan
  - $t$  = waktu
  - $D_v$  = konstanta Diffusivitas massa
  - $a$  = jarak dari pusat bahan atau ketebalan bahan

(Treybal., 1981).

Nilai  $\frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e}$  disebut Moisture Ratio (MR), dimana  $M_e$  adalah kadar air kesetimbangan (EMC) dari bahan.  $M_e$  dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut yang merupakan persamaan Oswin, yaitu:

$$M_e = c \left( \frac{a}{1 - a} \right)^n \dots\dots\dots(3.4)$$

- Dimana
- $n = 0.1976 + 0.0018.T$
  - $c = 12.465 - 0.1337.T$
  - $a = \text{aktifitas air (RH/100)}$
  - $M_e = \text{kadar air kesetimbangan}$
- (Sukmarini, 2001)

Apabila persamaan (3.3) dibuat linier maka akan didapatkan persamaan berikut:

$$MR = \left[ e^{-D_v.t \frac{\pi^2}{4a^2}} \right] \dots\dots\dots(3.5)$$

$$\ln MR = - \frac{D_v.t.\pi^2}{4a^2} \dots\dots\dots(3.6)$$

Menurut persamaan garis linear  $y = mx$ , maka dari persamaan diatas dapat diketahui bahwa :

$$y = \ln MR$$

$$m = \frac{-Dv \cdot \pi^2}{4a^2}$$

$$m = \text{gradien garis lurus}$$

$$x = t$$

Penentuan nilai  $Mt$  dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan cara prediksi dan observasi. Penentuan nilai  $Mt$  secara prediksi dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan

$$Mt = \left[ e^{\left[ \frac{-Dv(T) \cdot \pi^2}{4a^2} \right]} (Mo - Me) \right] + Me \quad \dots\dots\dots(3.7)$$

### 3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

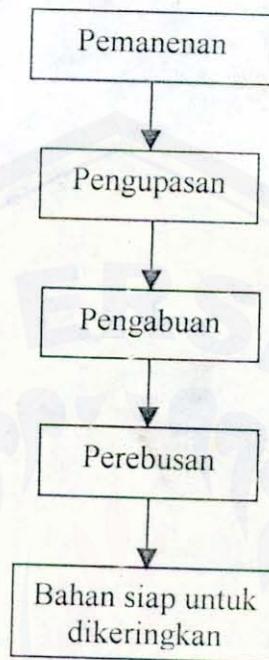
Penelitian dilakukan di Laboratorium Pengolahan Hasil Pertanian di Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember, Jember pada bulan Mei sampai dengan bulan Juli.

### 3.3 Bahan dan Alat

Bahan dan alat yang digunakan dalam pelaksanaan kegiatan penelitian.

### 3.3.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah keripik gadung. Dimana terdapat perlakuan awal terhadap bahan, yaitu :



Gambar 3.1 Bagan Pengolahan Gadung sebelum dilakukan Proses Pengeringan

### 3.3.2 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Pengering tipe rak (tray dryer)
2. Timbangan elektronik digital
3. Termometer
4. Oven
5. Eksikator
6. Air Flow Meter

### 3.4 Metode Penelitian

#### 3.4.1 Metode Pengambilan Data

Dalam penelitian ini data-data yang akan diambil adalah sebagai berikut:

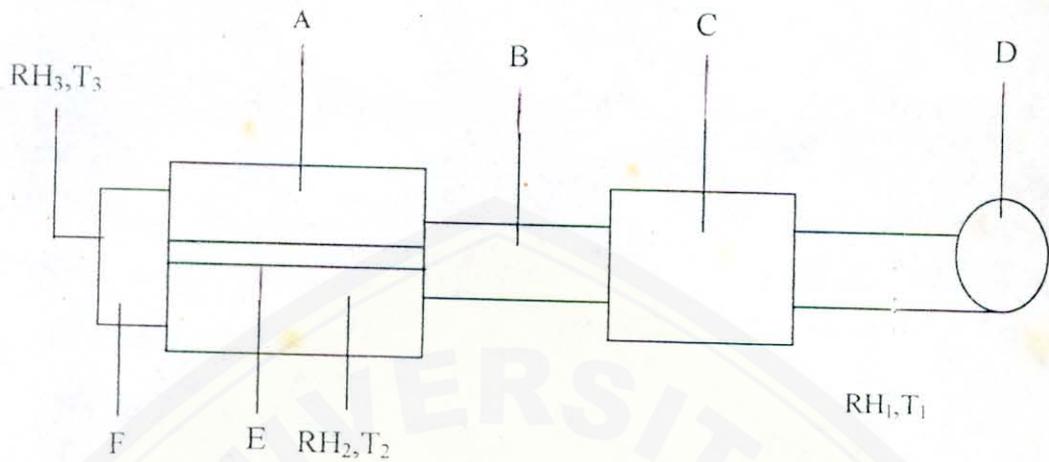
1. Suhu pengeringan ( $30^{\circ}\text{C}$ ,  $40^{\circ}\text{C}$ ,  $50^{\circ}\text{C}$ ),
2. Waktu pengeringan ( $t$ ),
3. Berat bahan selama pengeringan,
4. Kadar air,
5. Ketebalan bahan.

#### 3.4.2 Perlakuan

Untuk mendapatkan data-data tersebut diatas perlu adanya perlakuan sebagai berikut:

1. Menyiapkan bahan keripik gadung yang akan dikeringkan dengan ketebalan  $\pm 2,85$  mm
2. Menjalankan alat pengering dalam kondisi kosong sampai diperoleh kondisi suhu udara pengering yang konstan,
3. Jumlah rak yang digunakan adalah 1, kemudian mengisi rak dengan bahan, menimbang dan mencatat berat bahan sebelum dikeringkan,
4. Meletakkan bahan yang akan dikeringkan dalam alat pengering dengan variasi suhu  $30^{\circ}\text{C}$ ,  $40^{\circ}\text{C}$  dan  $50^{\circ}\text{C}$  kemudian melakukan pengukuran terhadap berat bahan selama beberapa jam sampai mendekati kadar air yang diinginkan (9%-12%),
5. Mencatat lama dan menimbang berat bahan setiap 1 jam sekali,
6. Menentukan kadar air dengan menggunakan perhitungan kadar air basis basah (pada persamaan 2.1),
7. Mengamati suhu pada bagian dalam alat pengering, cerobong dan lingkungan,
8. Mencatat lama waktu pengeringan.

Adapun skema alat pengering tipe rak (*ray dryer*) diustrasikan pada Gambar 3.1



Keterangan :

- A : rumah pengering
- B : pipa penyalur
- C : heater
- D : blower
- E : rak
- F : cerobong
- $RH_1$  : kelembaban udara lingkungan
- $RH_2$  : kelembaban udara ruang pengering
- $RH_3$  : kelembaban udara cerobong
- $T_1$  : suhu udara lingkungan
- $T_2$  : suhu udara ruang pengering
- $T_3$  : suhu udara cerobong

Gambar 3.2 Skema Rangkaian Alat Pengering Tipe Rak

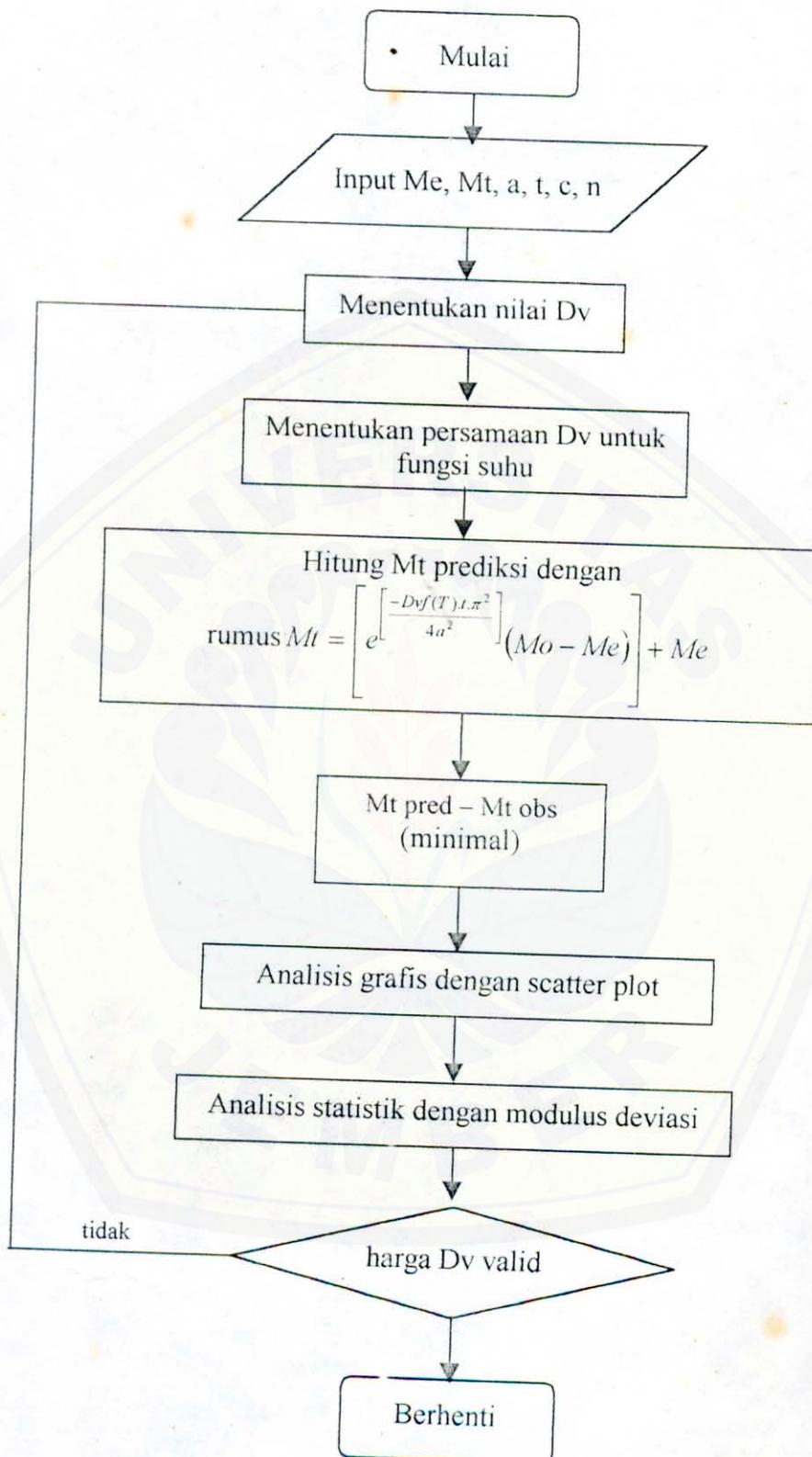
### 3.4.3 Analisis Data

Berdasarkan data yang diperoleh dilakukan analisis dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Mendapatkan kadar air bahan yang telah dikeringkan dan membuat grafik antara kadar air dan waktu pengeringan.
2. Menghitung kadar air kesetimbangan (EMC) dengan menggunakan persamaan (3.4)
3. Menentukan nilai ratio kadar air (MR) kemudian membuat grafik hubungan antara  $\ln MR$  dengan waktu pengeringan ( $t$ )
4. Melakukan analisis pengaruh suhu udara pengering terhadap nilai diffusivitas massa ( $D_v$ )
5. Melakukan analisis grafis dan analisis statistik dengan menggunakan uji Modulus Deviasi.

### 3.4.4 Diagram Alir Perhitungan Nilai Diffusivitas Massa

Diagram alir (*flow chart*) merupakan suatu bagan yang menunjukkan proses berjalannya suatu hal dan biasanya dinyatakan dalam bentuk lambang-lambang yang berbeda untuk tiap proses yang berjalan. Pembuatan *flow chart* ini dimaksudkan untuk memudahkan pemahaman terhadap suatu proses, dalam hal ini adalah proses perhitungan nilai konstanta diffusivitas massa ( $D_v$ ) keripik gadung selama pengeringan.

Gambar 3.3. Diagram Alir Perhitungan Nilai Diffusivitas Massa ( $D_v$ )

### 3.5 Uji Validitas Data

#### 3.5.1 Analisis Grafis

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

#### 3.5.2 Analisis statistik

Analisis statistik bertujuan untuk menguji kesahihan persamaan differensial yang digunakan. Analisis yang digunakan adalah analisis modulus deviasi yaitu dengan menghitung besarnya nilai modulus deviasi (P) dan standart deviasi (S). Ketentuan pengambilan keputusan adalah sebagai berikut :

1. Jika  $P \pm S < 10$  maka model valid atau bisa menggambarkan keadaan sebenarnya
2. Jika  $P \pm S > 10$  maka model tidak valid.

Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

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

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

dimana :

P : modulus deviasi

S : standart deviasi

N : banyaknya data



## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis data dan pembahasan dapat disimpulkan :

1. Kadar air bahan menurun dengan cepat pada awal proses pengeringan dan selanjutnya menurun dengan lambat sampai mencapai kadar air setimbang.
2. Persamaan differensial untuk difusi pada bahan berbentuk slab dapat digunakan untuk memprediksi kadar air.
3. Nilai diffusivitas massa air dipengaruhi oleh suhu pengeringan. Nilai diffusivitas massa ( $D_v$ ) meningkat seiring dengan meningkatnya suhu.
4. Nilai diffusivitas massa keripik gadung untuk suhu  $30^{\circ}\text{C}$ ,  $40^{\circ}\text{C}$  dan  $50^{\circ}\text{C}$  berturut-turut adalah  $2.69 \times 10^{-06} \text{ cm}^2/\text{jam}$ ,  $3.1 \times 10^{-06} \text{ cm}^2/\text{jam}$ ,  $3.64 \times 10^{-06} \text{ cm}^2/\text{jam}$ .
5. Persamaan yang digunakan untuk menentukan diffusivitas massa ( $D_v$ ) prediksi keripik gadung dalam fungsi suhu adalah :  
$$D_v = 5 \times 10^{-08} \cdot T + 10^{-06}$$
6. Hasil analisis statistik dengan modulus deviasi menghasilkan nilai P dan S berturut-turut untuk suhu  $30^{\circ}\text{C}$ ,  $40^{\circ}\text{C}$  dan  $50^{\circ}\text{C}$  adalah sebesar 7.66 dan 1.76 ; 7.13 dan 1.85 ; dan 6.31 dan 3.43. Sehingga dapat dikatakan bahwa model matematis yang digunakan sah.

### 5.2 Saran

1. Perlu penelitian lebih lanjut tentang gadung, guna meningkatkan nilai mutu dan daya guna dari gadung .
2. Perlu adanya pengembangan penelitian tentang pemanfaatan gadung dalam kehidupan, guna meningkatkan pemanfaatan gadung.

DAFTAR PUSTAKA

- Da-We sun;C.Byrne. 1998. **Journal of Agriculture Engineering Research**, vol. 69, Selection of EMC/ERH Isoterm Equations For Rapeseed. University College Dublin of Ireland: Ireland
- Earle. 1969. ed. Zein Nasution. 1982. **Unit Operation in Food Processing**. Pergamon Press Limited: New Zealand.
- Hall. PE. 1980. **Drying and Storage of Agricultural** (BPS,AVI Publishing Company). West Port United States of america.
- Henderson,S.M. dan R.L. Perry. 1976. **Agricultural Process Engineering**. AVI Publishing Company. West Port Connecycut.
- Ismayanda, dkk, 1993, **Diffusivitas Effektiv Air pada Pengeringan Gabah dengan Arah Aksial**. Universitas Syiah Kuala:Darussalam-Banda Aceh.
- Nazilah, N. 1999. **Penerapan Matematis untuk Menentukan Nilai Konstanta "c" dan "n" dalam Model Oswin dari Kadar Air Kesimbangan (EMC) pada Kopi (Coffea sp.)**. Jember : Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.
- Raharjo dkk. 1998. **Prosiding Seminar Nasional-TEKNOLOGI PANGAN DAN GIZI**. PATPI (Perhimpunan Ahli Teknologi Pangan Indonesia). Yogyakarta.
- Sukmarini. 2001. **Penerapan Model OSWIN dalam Hubungan Kadar Air Setimbang (EMC) dengan Aktifitas Air (aw) pada Keripik Gadung (Discorea Hispida dennst.)**. Jember : Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.
- Suroto, dkk, 1995, **Pemanfaatan Gadung untuk Berbagai Produk Pangan**. Balai Penelitian & pengembangan Industri: Banjarbaru.
- Taib,G. .1987. **Operasi Pengeringan pada Pengolahan Hasil Pertanian**. Mediyatama Sarana Perkasa: Jakarta.
- Treybal, 1984. **Mass - Transfer Operation**. Mc.Graw-Hill: New York.
- Vincent & Yamaguchi. 1998. **Sayuran dunia I - PRINSIP., PRODUKSI DAN GIZI**. ITB: bandung.
- Winarno. 1980. **Pengantar Teknologi Pangan**. Gramedia: Jakarta.
- Zaki, dkk. 1995. **Pengeringan Kacang-Kacangan dengan Menggunakan Proses Sirkulasi Silang**. Universitas Syiah Kuala:Darussalam-Banda Aceh.

Lampiran 1. Data berat dan ketebalan bahan pada proses pengeringan pada berbagai suhu

jam	suhu 30			suhu 40			suhu 50			rata-rata
	Berat Awal			Berat Awal			berat awal			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
0	10.82	9.20	9.86	10.51	11.62	11.86	10.96	11.62	11.07	11.22
1	3.48	3.54	3.67	3.35	3.57	3.61	3.41	3.28	3.42	3.37
2	3.08	3.15	3.09	3.05	3.14	3.12	2.61	2.53	2.72	2.62
3	2.61	2.59	2.60	2.52	2.46	2.41	2.38	2.32	2.23	2.31
4	2.45	2.56	2.46	2.42	2.31	2.25	2.18	2.18	2.18	2.18
5	2.32	2.33	2.30	2.35	2.24	2.19	2.15	2.17	2.15	2.16
6	2.21	2.18	2.23	2.24	2.14	2.12	2.10	2.10	2.04	2.05
7	2.18	2.08	2.31	2.20	2.11	2.11	2.10	2.10	2.10	2.10
8	2.14	1.94	2.24	2.18	2.10	2.08	2.10	2.10	2.10	2.10
9	2.11	1.82	2.16	2.11	2.10	2.03	2.11	2.10	2.10	2.10
10	2.10	1.79	2.15	2.18	2.10	2.01	2.18	2.10	2.04	2.05
			rata-rata							
			9.96							
			3.56							
			3.11							
			2.60							
			2.49							
			2.32							
			2.21							
			2.19							
			2.11							
			2.03							
			2.01							
			11.33							
			3.51							
			3.10							
			2.46							
			2.33							
			2.26							
			2.16							
			2.14							
			2.12							

ketebalan slab

	30	40	50
ulangan			
1	1.51	1.45	1.295
2	1.62	1.51	1.4
3	1.58	1.35	1.65
rata-rata	0.00471	0.00431	0.00435

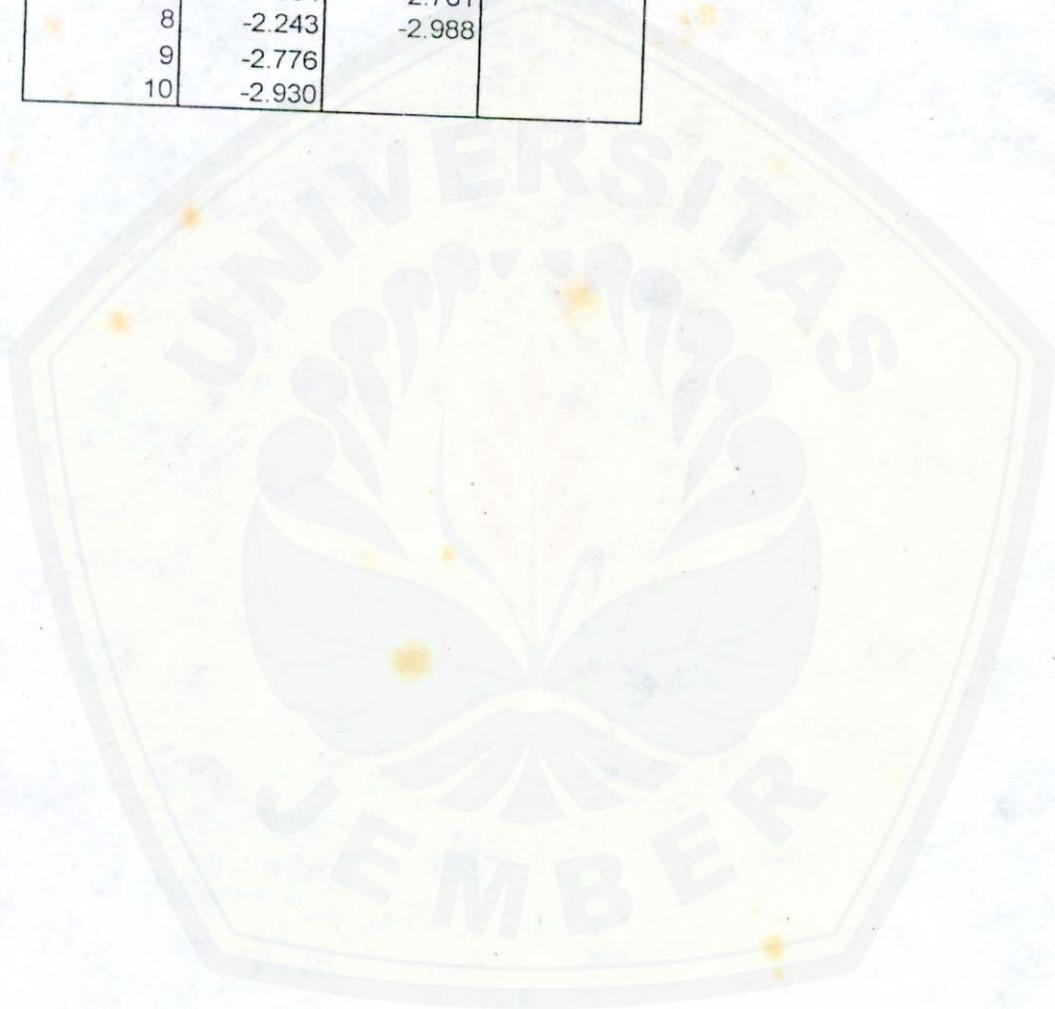
Lampiran 2. Rerata nilai MR berbagai variasi suhu

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_o - M_e}$$

Waktu (jam)	MR		
	30	40	50
0	1	1	1
1	0.570	0.513	0.511
2	0.471	0.421	0.311
3	0.321	0.213	0.189
4	0.281	0.154	0.129
5	0.208	0.123	0.119
6	0.158	0.075	0.062
7	0.149	0.052	
8	0.106	0.050	
9	0.062		
10	0.053		

Lampiran 3. Rerata nilai ln MR berbagai variasi suhu

Waktu (jam)	ln MR		
	30	40	50
0	0	0	0
1	-0.563	-0.667	-0.671
2	-0.753	-0.866	-1.167
3	-1.136	-1.545	-1.666
4	-1.269	-1.871	-2.048
5	-1.569	-2.099	-2.132
6	-1.844	-2.595	-2.780
7	-1.904	-2.781	
8	-2.243	-2.988	
9	-2.776		
10	-2.930		



Lampiran 4. Rerata nilai  $M_t$  prediksi berbagai variasi suhu

$$M_t = \left[ e^{\frac{-Dv_f(T) \cdot t \cdot \pi^2}{4a^2}} (M_o - M_e) \right] + M_e$$

Waktu (jam)	Mt prediksi		
	30	40	50
0	82.15	83.25	83.58
1	52.53	47.82	44.84
2	40.97	33.92	29.93
3	32.40	24.70	20.65
4	26.03	18.60	14.89
5	21.32	14.55	11.31
6	17.82	11.87	9.08
7	15.22	10.10	
8	13.30	8.52	
9	11.87		
10	10.81		



Lampiran 5. Uji statistik dengan menggunakan modulus deviasi

Suhu 30

Waktu	obs	pred	obs-pred	(obs-pred)/obs	Pi	(Pi - P rata) <sup>2</sup>	S	
0	82.15	82.15	0.00	0	0	58.72	1.76	
1	50.13	52.53	2.40	0.048	4.79	8.27		
2	42.80	40.97	1.83	0.043	4.28	11.47		
3	31.65	32.4	0.75	0.024	2.37	28.02		
4	28.68	26.03	2.65	0.092	9.24	2.49		
5	23.26	21.32	1.94	0.083	8.34	0.46		
6	19.53	17.82	1.71	0.088	8.76	1.19		
7	18.85	15.22	3.63	0.193	19.26	134.43		
8	15.66	13.3	2.36	0.151	15.07	54.87		
9	12.40	11.87	0.53	0.043	4.27	11.48		
10	11.74	10.81	0.93	0.079	7.92	0.07		
P rata-rata					7.66	311.47		

Suhu 40

Waktu	obs	pred	obs-pred	(obs-pred)/obs	Pi	(Pi - Prata) <sup>2</sup>	S	
0	83.25	83.25	0.00	0.0E+00	0.00	50.79	1.85	
1	45.93	47.82	1.89	4.1E-02	4.11	9.07		
2	38.84	33.92	4.92	1.3E-01	12.67	30.70		
3	22.96	24.7	1.74	7.6E-02	7.58	0.20		
4	18.41	18.6	0.19	1.0E-02	1.03	37.14		
5	16.01	14.55	1.46	9.1E-02	9.12	3.97		
6	12.33	11.87	0.46	3.7E-02	3.73	11.53		
7	11.36	10.1	1.26	1.1E-01	11.09	15.72		
8	10.47	8.92	1.55	1.5E-01	14.80	58.95		
P rata-rata					7.13	218.08		

Suhu 50

Waktu	obs	pred	obs-pred	(obs-pred)/obs	Pi	(Pi - Prata) <sup>2</sup>	S	
0	83.58	83.58	0.00	0.000	0.00	39.81	3.43	
1	44.36	44.84	0.48	0.011	1.08	27.33		
2	30.12	29.93	0.19	0.006	0.63	32.25		
3	20.2	20.65	0.45	0.022	2.23	16.66		
4	15.51	14.65	0.86	0.055	5.54	0.58		
5	14.69	11.31	3.38	0.230	23.01	278.86		
6	10.28	9.08	1.20	0.117	11.67	28.77		
P rata-rata					6.31	424.27		

Keterangan :

$$Pi = \left[ \frac{(Mt \text{ obs} - Mt \text{ pred})}{Mt \text{ obs}} \right] \times 100 \%$$

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

P = modulus deviasi

S = standart deviasi