



KARAKTERISTIK LAJU PENGERINGAN RIMPANG JAHE (*Zingiber officinale Roxb*) MENGGUNAKAN UNIT *FLUIDIZED BED*

SKRIPSI

Oleh :

**Diangga Bagastara Syahputra Purwito
NIM 101710201052**

**JURUSAN TEKNIK PERTANIAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
UNIVERSITAS JEMBER
2018**



KARAKTERISTIK LAJU PENDINGINAN RIMPANG JAHE (*Zingiber officinale Roxb*) MENGGUNAKAN UNIT *FLUIDIZED BED*

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Pertanian (S1) dan mencapai gelar Sarjana Teknologi Pertanian

Oleh

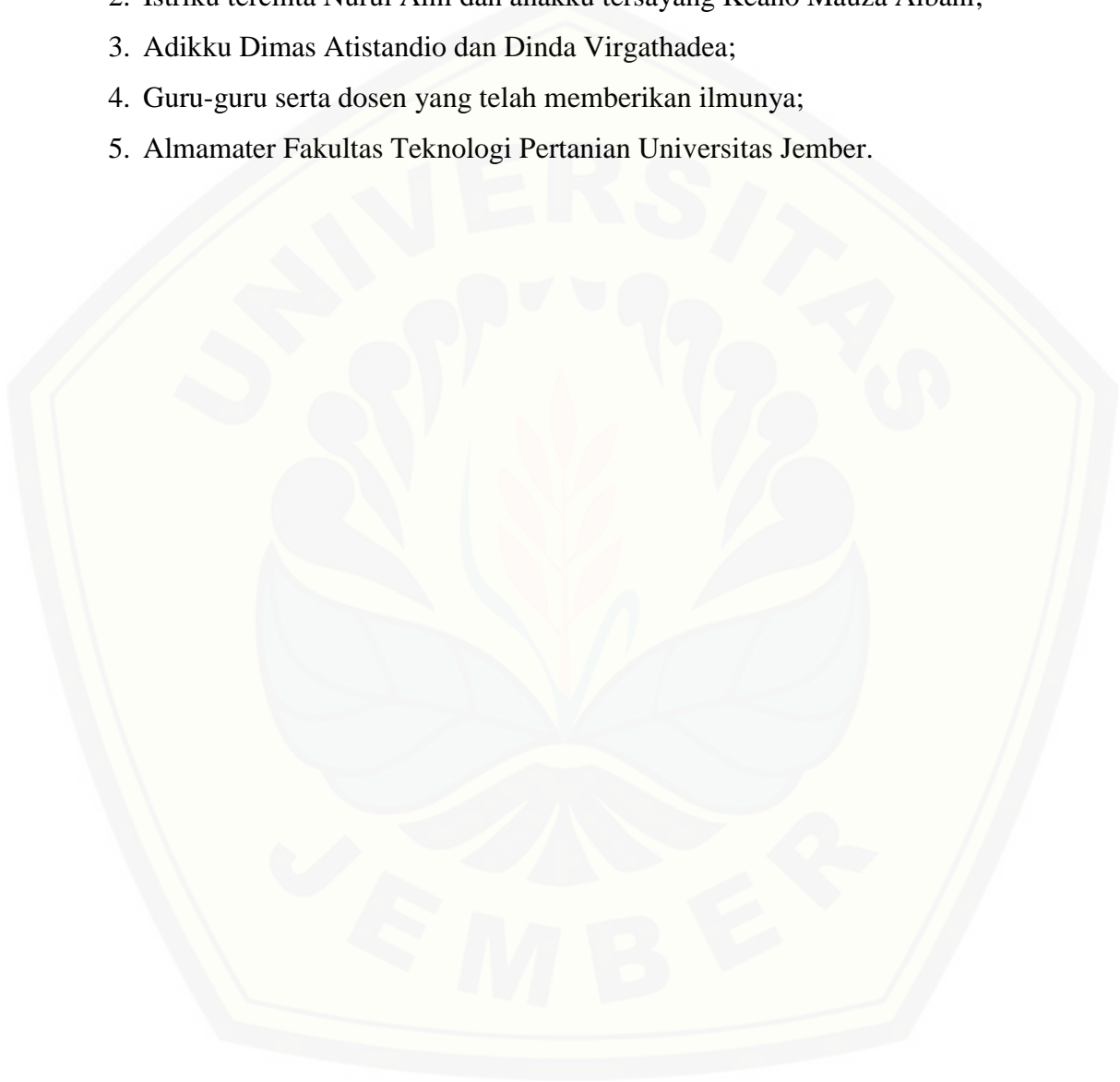
Diangga Bagastara Syahputra Purwito
NIM 101710201052

JURUSAN TEKNIK PERTANIAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
UNIVERSITAS JEMBER
2018

PERSEMBAHAN

Karya Tulis Ilmiah ini saya persembahkan untuk:

1. Papa Joko Purwito dan mama Ida Soelistianingsih yang tercinta;
2. Istriku tercinta Nurul Aini dan anakku tersayang Keano Mauza Albani;
3. Adikku Dimas Atistandio dan Dinda Virgathadea;
4. Guru-guru serta dosen yang telah memberikan ilmunya;
5. Almamater Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.



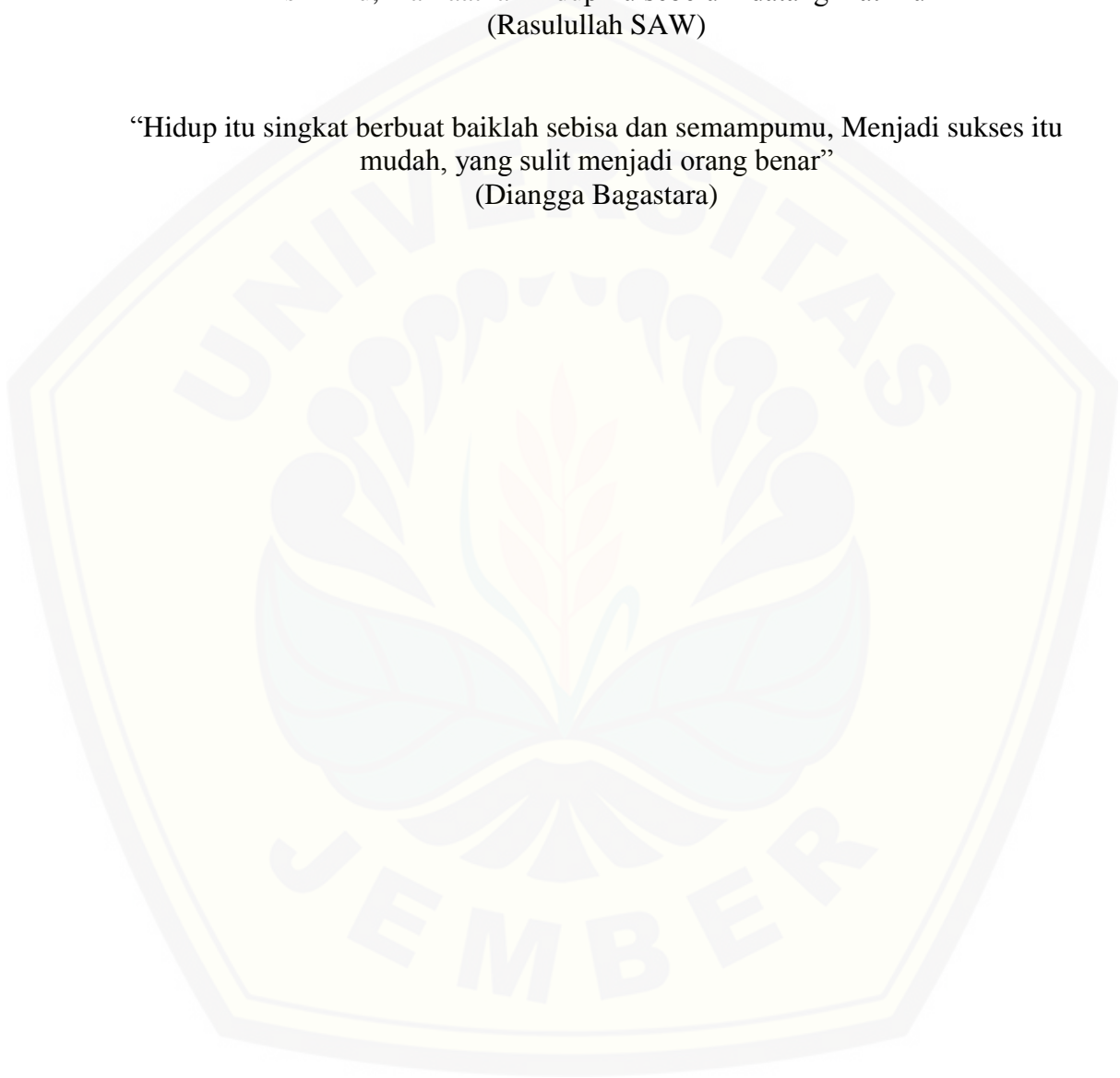
MOTTO

“Manfaatkan masa mudamu sebelum datang masa tuamu, manfaatkan masa luangmu sebelum datang masa sibukmu, manfaatkan waktu sehatmu sebelum datang waktu sakitmu, manfaatkan waktu kayamu sebelum datang waktu miskinmu, manfaatkan hidupmu sebelum datang matimu”

(Rasulullah SAW)

“Hidup itu singkat berbuat baiklah sebisa dan semampumu, Menjadi sukses itu mudah, yang sulit menjadi orang benar”

(Diangga Bagastara)



PERNYATAAN

Saya yang betanda tangan di bawah ini :

Nama : DIANGGA BAGASTARA SYAHPUTRA PURWITO

NIM : 101710201052

menyatakan dengan sungguh-sungguh bahwa karya tulis ilmiah yang berjudul: “*Karakteristik Laju Pengeringan Rimpang Jahe (Zingiber officinale Roxb) Menggunakan Unit Fluidized Bed*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada institusi mana pun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggungjawab atas keabsahan isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapatkan sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 30 Mei 2018
Yang menyatakan,

Diangga Bagastara S.P
NIM 101710201052

SKRIPSI

KARAKTERISTIK LAJU PENDINGINAN RIMPANG JAHE (*Zingiber officinale Roxb*) MENGGUNAKAN UNIT *FLUIDIZED BED*

oleh :

Diangga Bagastara Syahputra Purwito
NIM. 101710201052

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr . Ir. Iwan Taruna, M. Eng.

Dosen Pembimbing Anggota : Dian Purbasari S.Pi., M.Si.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “*Karakteristik Laju Pengeringan Rimpang Jahe (Zingiber officinale Roxb) Menggunakan Unit Fluidized Bed*” karya Diangga Bagastara Syahputra Purwito NIM 101710201052 telah diuji dan disahkan pada:

Hari, tanggal : Jumat, 20 April 2018

tempat : Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember

DPU

DPA

Dr . Ir. Iwan Taruna, M. Eng.
NIP. 196910051994021001

Dian Purbasari S.Pi., M.Si.
NIP. 760016795

Tim Penguji:

Ketua,

Anggota,

Ir. Setiyo Harri M.S.
NIP. 195309241983031001

Ir. Tasliman, M.Eng
NIP. 196208051993021002

Mengesahkan
Dekan,

Dr. Siswoyo Soekarno, S.TP., M.Eng.
NIP. 196809231994031009

SUMMARY

Characteristic Drying Rate of Ginger Rhizomes (*Zingiber officinale* Roxb) Using Fluidized Bed Unit; Diangga Bagastara Syahputra Purwito, 101710201052; 2018: 47 page; Agricultural Engineering Department Faculty of Agricultural Technology Jember University.

Ginger (*Zingiber officinale* Rosc.) is one of the spices that come from Asia Tropic area. The Zingiberaceae family is made up of 47 genera and 1400 species scattered throughout the tropics and subtropics. While the genus zingiber covers about 80 species.

Foods derived from plants (vegetable) is a perishable material (perishable). This damage occurs due to the water content in the foodstuff. The water content in the material should be lowered to some extent in order to avoid damage. One way to preserve food is by drying. Drying method is often done most people that is direct drying using solar energy. However this drying is very inefficient time and place. To anticipate this the use of drying method of fluidized bed. In drying using fluidized bed the parameters measured to determine the rate of drying include material weight, moisture content, drying time.

Thus, it is necessary to study the drying of ginger. During the drying process can be analyzed characteristics of ginger. Parameters that affect the drying product are the water content of the material. The lower the moisture content of the material the higher the storage capacity of the material. This drying can extend the storage power of ginger. This study will examine the characteristics of ginger during the drying process using a fluidized bed unit.

The research was conducted in February to April 2018, in the laboratory of Agricultural Engineering Department Faculty of Agricultural Technology Jember University. The materials used in this research are Ginger obtained from merchant in Jember. Method used in this research was experimental with two variables i.e. drying temperatures (50°C, 65°C, dan 80°C) and air velocity 121,46 m³/hour. Each treatment was carried out two repetitions. The result of measurement was analyzed using graphycal and statistic analysis.

The result showed that for 150 gram of Ginger in each drying process; the faster reduction of air velocity happened on T₃ treatment (80°C and 121,46 m³/hour); from 503,39 %db became 7,68 %db for 45 minutes in drying process, Meanwhile, the long reduction of air velocity happened to T₁ treatment i.e. from 504,96 %db became 12,87 %db in 75 minutes. The higher temperature, the rate of drying value became high. The best valid model in drying Ginger was using fluidized bed because the result of determination coefficient (R²) was resemble to 1 that was 0.99 and RMSE value which resembled 0;(0,015-0,031).

RINGKASAN

Karakteristik Laju Pengeringan Rimpang Jahe (*Zingiber officinale* Roxb) Menggunakan Unit *Fluidized Bed*; Diangga Bagastara Syahputra Purwito, 101710201052; 2018: 47 halaman; Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.

Jahe (*Zingiber officinale* Rosc.) merupakan salah satu jenis rempah-rempah yang berasal dari daerah Asia Tropik. Famili Zingiberaceae ini terdiri dari 47 genera dan 1400 spesies yang tersebar di sepanjang daerah tropik dan subtropik. Sementara genus *zingiber* meliputi sekitar 80 spesies.

Bahan makanan yang berasal dari tumbuh-tumbuhan (nabati) merupakan bahan yang mudah rusak (*perishable*). Kerusakan ini terjadi karena kadar air yang berada dalam bahan makanan. Kadar air dalam bahan harus diturunkan sampai batas tertentu agar tidak terjadi kerusakan. Salah satu cara untuk mengawetkan bahan makanan adalah dengan pengeringan. Metode pengeringan yang sering dilakukan kebanyakan orang yaitu pengeringan secara langsung menggunakan energi matahari. Namun pengeringan ini sangat tidak efisien waktu dan tempat. Untuk mengantisipasi hal ini maka mulai digunakan pengeringan metode *fluidized bed*. Pada pengeringan menggunakan *fluidized bed* parameter yang diukur untuk menentukan laju pengeringan antara lain berat bahan, kadar air bahan, waktu pengeringan.

Dengan demikian, perlu diadakan kajian tentang pengeringan jahe. Selama proses pengeringan dapat dianalisis karakteristik jahe. Parameter yang berpengaruh terhadap produk pengeringan adalah kadar air bahan. Semakin rendah kadar air bahan maka daya simpan bahan semakin tinggi. Pengeringan ini dapat memperpanjang daya simpan jahe. Penelitian ini akan mengamati karakteristik jahe selama proses pengeringan menggunakan unit *fluidized bed*.

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari sampai dengan April 2018. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Enjiniring Hasil Pertanian Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah rimpang jahe yang didapatkan dari penjual di wilayah Jember. Metode yang digunakan adalah eksperimen dengan variabel berupa suhu (50°C, 65°C, dan 80°C) dan kecepatan udara 121,46 m³/jam. Setiap perlakuan dilakukan 2 kali ulangan. Data hasil pengukuran dianalisis dengan menggunakan analisis grafis dan analisis statistik.

Dari hasil penelitian dapat diketahui bahwa sebanyak 150 gr jahe pada masing-masing pengeringan, penurunan kadar air paling cepat terjadi pada perlakuan T₃ (80°C dan 121,46 m³/jam), yaitu dari 503,39 %bk menjadi 7,68 %bk setelah dikeringkan selama 45 menit. Sedangkan penurunan kadar air paling lama terjadi pada perlakuan T₁ yaitu dari 504,96 %bk menjadi 12,87 %bk dalam waktu 75 menit. Semakin tinggi suhu, nilai laju pengeringan semakin besar. Model Page lebih valid digunakan pada pengeringan jahe menggunakan *fluidized bed* karena koefisien determinasi (R²) yang dihasilkan mendekati 1 yaitu 0,99 dan nilai RMSE yang mendekati 0 yaitu 0,015-0,031,

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul ”*Karakteristik Laju Pengeringan Rimpang Jahe (Zingiber officinale Roxb) Menggunakan Unit Fluidized Bed*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari kendala-kendala yang ada, namun berkat dukungan dan arahan dari berbagai pihak akhirnya skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dr. Ir. Iwan Taruna, M.Eng., selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah meluangkan waktu, pikiran, perhatian serta bimbingan dalam penyusunan skripsi ini;
2. Dian Purbasari S.Pi., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah banyak memberikan materi dan perbaikan dalam penyusunan skripsi ini;
3. Dr. Siswoyo Soekarno, S.TP., M.Eng., selaku Dekan fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember;
4. Dr. Sri Wahyuni, S.P., M.T selaku Ketua Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember yang telah banyak memberikan saran dan pengarahan dalam penyelesaian skripsi ini;
5. Dr. Dedy Wirawan Soediby, S.TP., M.Si. selaku Ketua Komisi Bimbingan yang telah memberikan saran dan kritik selama penyusunan skripsi ini;
6. Ir. Setiyo Harri M.S. dan Ir. Tasliman, M.Eng selaku Dosen Penguji yang telah memberikan perbaikan dalam penyusunan skripsi ini;
7. Seluruh dosen pengampu mata kuliah, terima kasih atas ilmu dan pengalaman yang diberikan serta bimbingan selama studi di Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember;

8. Seluruh staf dan karyawan di lingkungan Fakultas Teknologi Pertanian, terima kasih atas bantuan dalam mengurus administrasi dan yang lainnya;
9. Papa, mama, dio, dinda, serta keluarga besar tercinta yang tak pernah lelah memberikan doa, kasih sayang, kesabaran, semangat dan pengorbanan selama ini;
10. Nurul Aini dan anaku Keano, yang selalu sabar menemani, mendukung, dan memotivasi selama studi;
11. Sahabatku (Dani, Dano, Wanda, Adi, Hadi), terimakasih atas dukungan, keceriaan, dan kasih sayang kalian;
12. Teman-teman minat pengolahan yaitu, Ghofirus, Lukman, Isti, Ayu, Niken, Kristin, Lenny yang telah berbagi ilmu dalam melakukan penelitian ini;
13. Teman-temanku Teknik Pertanian (TEP) 2010 yang penuh dengan semangat dan kasih sayang terima kasih atas nasehat serta motivasinya, semoga kita selalu menjadi orang yang sukses;
14. Adik tingkat 2014 yang bersedia meluangkan waktunya agar saya dapat menggunakan laboratorium untuk melakukan peneletian;
15. Semua pihak yang tidak tersebut namanya yang telah membantu kelancaran penyusunan skripsi ini.

Semoga Allah SWT melimpahkan rahmat dan Hidayah-Nya kepada mereka semua. Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini jauh dari kesempurnaan. Akhirnya penulis berharap agar skripsi ini bermanfaat bagi semua pihak khususnya Mahasiswa Fakultas Teknologi Pertanian Unversitas Jember.

Jember, 30 Mei 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
SUMMARY	vii
RINGKASAN	viii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Jahe	4
2.1.1 Karakteristik Jahe	4
2.2 Pengolahan dan Pemanfaatan Jahe	5
2.3 Teori Pengeringan	6
2.3.1 Pengertian Pengeringan	6
2.3.2 Jenis Pengeringan	7
2.3.3 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Pengeringan	8
2.4 Pengeringan Metode <i>Fluidized Bed</i>	8
2.4.1 Pengertian Metode <i>Fluidized Bed</i>	8

2.4.2 Bagian Pengering <i>Fluidized Bed</i>	9
2.4.3 Keunggulan <i>Fluidized Bed</i>	10
2.4.4 Prinsip Kerja <i>Fluidized Bed</i>	10
2.4.5 Hasil-hasil Penelitian Sebelumnya.....	11
2.5 Laju Pengeringan	11
2.6 Kadar Air Bahan	12
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	15
3.2 Bahan dan Alat Penelitian	15
3.2.1 Bahan Penelitian	15
3.2.2 Alat Penelitian	15
3.3 Prosedur Penelitian	15
3.3.1 Rancangan Penelitian	15
3.3.2 Parameter yang Diukur	16
3.3.3 Diagram Alir Penelitian.....	17
3.4 Pelaksanaan Penelitian	18
3.5 Metode Analisis Data	20
3.5.1 Analisis Teknis	20
3.5.2 Analisis Data	22
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	24
4.1 Pengeringan Rimpang Jahe	24
4.2 Laju Pengeringan	26
4.3 Pemodelan Pindah Massa Selama Proses Pengeringan	28
4.4 Uji Validitas Model	29
BAB 5. PENUTUP	32
5.1 Kesimpulan	32
5.2 Saran	32
DAFTAR PUSTAKA	33
LAMPIRAN	35

DAFTAR TABEL

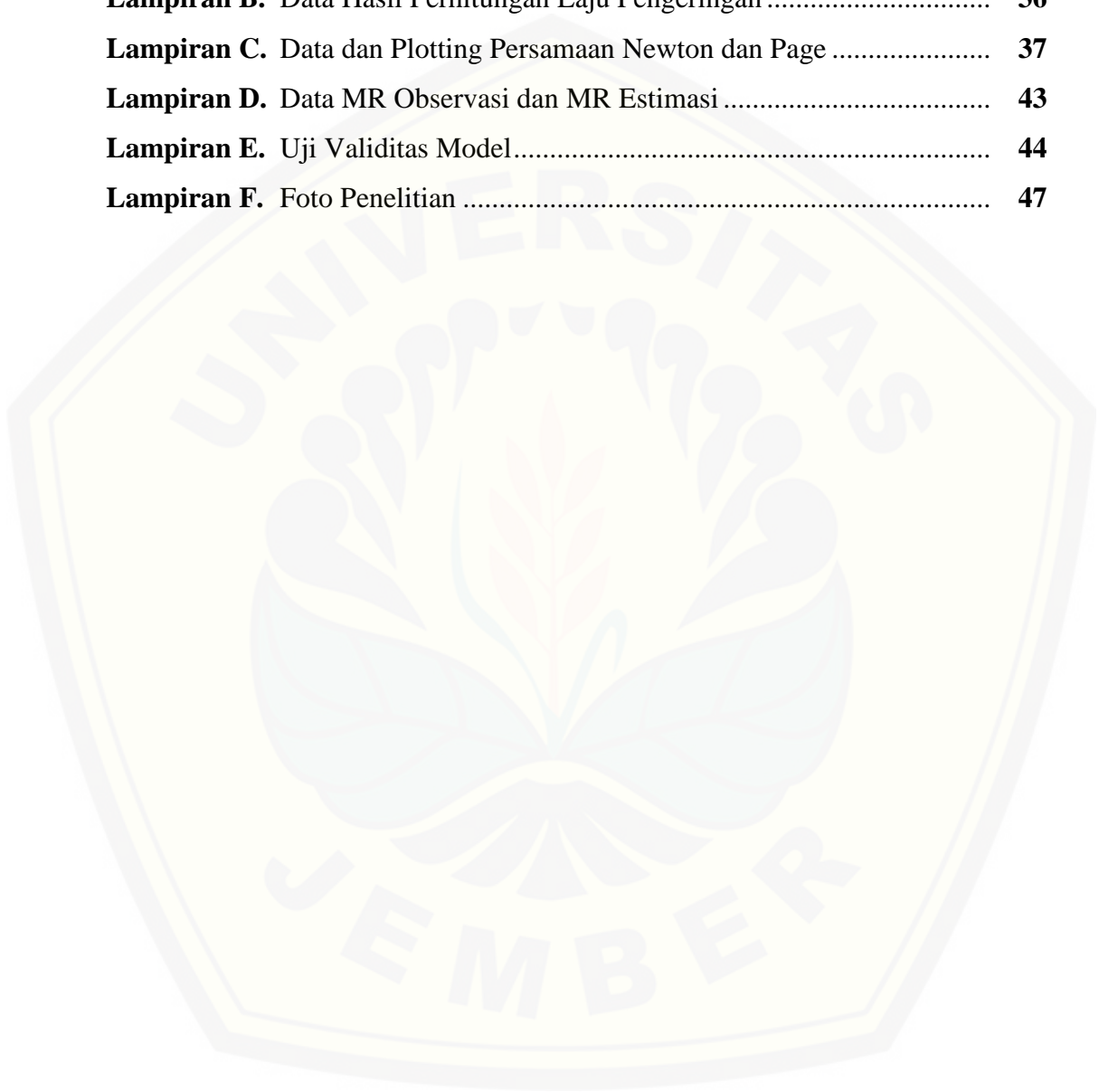
	Halaman
Tabel 3.1 Variabel dan Parameter Penelitian	16
Tabel 4.1 Kadar Air dan Durasi Pengeringan Rimpang Jahe pada Berbagai Perlakuan.....	24
Tabel 4.2 Kadar Air Keseimbangan Rimpang Jahe Berbagai Suhu Pengeringan.....	26
Tabel 4.3 Konstanta Pengeringan dan Nilai Koefisien Determinasi (R^2) pada Berbagai Perlakuan	29
Tabel 4.4 Model Pengeringan Rimpang Jahe.....	29
Tabel 4.5 Nilai <i>RMSE</i> pada Berbagai Perlakuan.....	31

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Kurva Hubungan Laju Pengeringan dengan Waktu.....	21
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	17
Gambar 4.1 Hubungan Laju Pengeringan dengan Lama Pengeringan pada Kecepatan Udara 121,46 m ³ /jam.....	27
Gambar 4.2 Hubungan MR prediksi dengan MR observasi pada Perlakuan T ₁ Q ₁	30
Gambar 4.3 Hubungan MR prediksi dengan MR observasi pada Perlakuan T ₂ Q ₁	30
Gambar 4.4 Hubungan MR prediksi dengan MR observasi pada Perlakuan T ₃ Q ₁	30

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A. Data Hasil Perhitungan Kadar Air Selama Pengeringan.....	35
Lampiran B. Data Hasil Perhitungan Laju Pengeringan	36
Lampiran C. Data dan Plotting Persamaan Newton dan Page	37
Lampiran D. Data MR Observasi dan MR Estimasi	43
Lampiran E. Uji Validitas Model.....	44
Lampiran F. Foto Penelitian	47



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jahe (*Zingiber officinale* Rosc.) merupakan salah satu jenis rempah-rempah yang berasal dari daerah Asia Tropik. Famili Zingiberaceae ini terdiri dari 47 genera dan 1400 spesies yang tersebar di sepanjang daerah tropik dan subtropik. Sementara genus *zingiber* meliputi sekitar 80 spesies, di antaranya jahe yang merupakan jenis tanaman paling penting dan memiliki banyak manfaat. Nama botani *zingiber* berasal dari bahasa Sansekerta: *Singaberi*, dari bahasa Arab: *Zanzabil*, dan dari bahasa Yunani: *Zingiberi*. Tanaman ini merupakan tanaman tahunan dengan batang semu yang tumbuh tegak. Tingginya berkisar 0,3 – 0,75 meter dengan akar rimpang yang bisa bertahan lama di dalam tanah. Akar rimpang itu mampu mengeluarkan tunas baru untuk mengganti daun dan batang yang sudah mati (Murhananto, 1999).

Komponen yang terkandung di dalam jahe ini sangat banyak kegunaannya. Terutama sebagai rempah, industri farmasi dan obat tradisional, industry parfum, dan industri lainnya. Pemanfaatan jahe tersebut dapat dalam keadaan segar maupun jahe kering. Jahe mengandung komponen minyak menguap (*volatile oil*), minyak tak menguap (*non volatile oil*), dan pati. Minyak menguap yang biasa disebut minyak atsiri merupakan komponen pemberi bau yang khas, sedangkan minyak tak menguap yang biasa disebut oleoresin merupakan komponen pemberi rasa pedas dan pahit.

Bahan makanan yang berasal dari tumbuh-tumbuhan (nabati) merupakan bahan yang mudah rusak (*perishable*). Kerusakan ini terjadi karena kadar air yang berada dalam bahan makanan. Kadar air dalam bahan harus diturunkan sampai batas tertentu agar tidak terjadi kerusakan. Untuk memperpanjang umur simpan maka perlu adanya perlakuan terhadap bahan makanan. Salah satu cara untuk mengawetkan bahan makanan adalah dengan pengeringan.

Salah satu metode pengeringan yang digunakan adalah metode pengeringan menggunakan *fluidized bed*. Metode pengeringan fluidisasi digunakan untuk

mempercepat proses pengeringan dan mempertahankan mutu bahan kering. Prinsip kerja pengering sistem fluidisasi adalah penghambusan udara panas oleh kipas peniup (blower) melalui suatu saluran ke atas bak pengering. Kelebihan alat pengering *fluidized bed* yaitu aliran bahan berupa fluida yang dapat mengalirkan bahan secara terus-menerus, pengering tipe fluidisasi dapat digunakan untuk skala besar, alat pengering *fluidized bed* dapat digunakan mulai suhu rendah hingga suhu tinggi sesuai dengan kebutuhan, dan lebih cepat dalam proses pengeringan.

Alat pengering *fluidized bed* belum pernah digunakan penelitian untuk mengeringkan rimpang jahe. Dengan demikian, perlu diadakan kajian tentang pengeringan jahe. Selama proses pengeringan dapat dianalisis karakteristik laju pengeringan jahe. Parameter yang berpengaruh terhadap produk pengeringan adalah kadar air bahan. Semakin rendah kadar air bahan maka daya simpan bahan semakin tinggi. Pengeringan ini dapat memperpanjang daya simpan jahe. Penelitian ini akan mengamati karakteristik jahe selama proses pengeringan menggunakan unit *fluidized bed*.

1.2 Rumusan Masalah

Pengeringan yang sesuai untuk menurunkan kadar air pada batas yang ditentukan untuk dilakukan penyimpanan dan pengolahan lebih lanjut sangat diperlukan. Oleh karena itu diperlukan metode pengeringan yang sesuai untuk mengurangi kadar air pada batas yang ditentukan. Dalam penelitian pengeringan jahe perlu dianalisis laju pengeringan tipe *fluidized bed* dan mengevaluasi pengaruh penggunaan mesin pengering *fluidized bed* terhadap karakteristik laju pengeringan jahe.

1.3 Tujuan Penelitian

1.4.1 Tujuan Umum

Tujuan umum penelitian untuk mempelajari dan menghasilkan informasi tentang karakteristik laju pengeringan rimpang jahe menggunakan mesin pengering tipe *fluidized bed* TG 200.

1.4.2 Tujuan Khusus

Tujuan khusus dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Menentukan laju pengeringan rimpang jahe menggunakan *fluidized bed* pada berbagai kecepatan aliran panas;
- 2) Mengevaluasi pengaruh perubahan suhu terhadap karakteristik pengeringan yang terdiri dari laju pengeringan;

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Memberi informasi tentang karakteristik pengeringan rimpang jahe menggunakan alat pengering *fluidized bed*;
- 2) Mengetahui perubahan kadar air selama proses pengeringan rimpang jahe menggunakan pengering tipe *fluidized bed*.
- 3) Sebagai dasar penelitian lebih lanjut mengenai proses pengolahan rimpang jahe.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jahe

2.1.1 Karakteristik Jahe

Jahe (*Zingiber officinale* Rosc.) merupakan rempah-rempah Indonesia yang sangat penting dalam kehidupan sehari-hari, terutama dalam bidang kesehatan. Jahe merupakan tanaman obat berupa tumbuhan rumpun berbatang semu dan termasuk dalam suku temu-temuan (*Zingiberaceae*). Jahe berasal dari Asia Pasifik yang tersebar dari India sampai Cina (Paimin dan Murhananto, 1999).

Jahe merupakan tanaman yang berasal dari daerah Asia Tropika. Kedudukan tanaman jahe dalam taksonomi tumbuhan adalah sebagai berikut :

- Kingdom : Plantae
- Divisi : Spermatophyta
- Kelas : Monocotyledonae
- Ordo : Zingiberales
- Famili : Zingiberaceae
- Genus : Zingiber
- Spesies : *Zingiber officinale* Roxb.

Rimpang jahe memiliki bentuk yang bervariasi, mulai dari yang berbentuk agak pipih sampai gemuk(bulat panjang), dengan warna putih kekuning-kuningan hingga kuning kemerah-merahan. Rimpang jahe mengandung minyak atsiri. Minyak atsiri adalah minyak yang mudah menguap dan menimbulkan aroma yang khas pada jahe. Minyak atsiri mengandung komponen utama yang berupa senyawa *zingiberen* ($C_{12}H_{24}$) dan *zingiberol* ($C_{12}M_{26}O_2$). Senyawa yang menyebabkan rimpang jahe berasa pedas dan agak pahit adalah *oleoresin (fexed oil)*. Senyawa oleoresin yang terdapat dalam rimpang jahe adalah sebanyak 3% - 4%. Minyak atsiri dan oleoresin terdapat dalam semua jaringan rimpang, tetapi paling banyak terdapat di bawah jaringan epidermis. Oleh karena itu penanganan rimpang jahe, terutama saat pengupasan, harus dilakukan secara hati-hati, sehingga kulit yang terkelupas bisa setipis mungkin (Rukmana, 2000).

Waktu pemanenan jahe tergantung dari tujuan penggunaannya. Jahe yang digunakan sebagai bahan baku permen, manisan dan selai dipanen pada saat muda agar tidak terlalu keras, umumnya berumur 3-4 bulan (Farrel, 1985).

Rimpang yang akan digunakan sebagai bumbu atau ekstraksi minyak atsiri dan oleoresin dipanen setelah tua karena kandungan minyak atsiri dan oleoresinnya lebih tinggi, biasanya berumur 8–10 bulan. Jahe mengandung zat zingeron, zingiberin, zingiberol, borneo, sineol, felandren, kamfer, karbohidrat, damar, vitamin A, B, C, oleoresin dan asam organik (Purseglove, 1981).

Berdasarkan ukuran, bentuk, dan warna rimpang dikenal 3 jenis jahe, yaitu jahe putih besar, jahe putih kecil, dan jahe merah. Jahe putih besar biasanya disebut jahe gajah atau badak. Jenis jahe ini memiliki rimpang yang besar dan gemuk, potongan melintangnya berwarna putih-kekuningan, serat sedikit, aroma kurang tajam dan rasa kurang pedas. Jahe gajah biasanya dikonsumsi saat berumur muda maupun tua sebagai jahe segar atau jahe olahan. Jahe putih kecil memiliki potongan melintang berwarna putihkekuningan, aroma agak tajam dan rasanya pedas. Jahe merah memiliki ukuran terkecil, warna rimpangnya jingga muda hingga merah, aroma sangat tajam dan rasanya sangat pedas. Jenis jahe putih kecil dan jahe merah mempunyai kandungan serat yang lebih tinggi dibandingkan jahe gajah. Kedua jenis jahe ini cocok untuk ramuan obat-obatan atau untuk diekstrak oleoresin dan minyak atsirinya (Santosa, 1994).

2.2 Pengolahan dan Pemanfaatan Jahe

Jahe segar dan jahe kering banyak digunakan sebagai bumbu masak atau pemberi aroma pada makanan kecil dan sebagainya. Jahe muda bahkan dapat dimakan mentah sebagai lalab atau diolah menjadi jahe awet yang berupa jahe asin, jahe dalam sirup, atau jahe kristal. Jahe tua pun bisa diawetkan sebagai jahe kering dan jahe bubuk. Jahe segar juga bisa digunakan sebagai minuman penghangat badan yang biasa dikenal dengan *bandrek*. Penggunaan jahe sebagai obat tradisional telah lama dilakukan orang. Jahe segar dapat digunakan langsung sebagai obat. Irisan jahe yang diisap dapat melapangkan tenggorokan. Bahkan masyarakat Tiongkok yang terkenal memiliki banyak ramuan tradisional berkasiat

pun telah lama menggunakan jahe sebagai deretan obat tradisionalnya. Selain berkasiat menghalau serangan angin dan menghangatkan tubuh, ramuan jahe juga mengaktifkan sirkulasi darah dalam tubuh (Paimin dan Murhananto, 1999).

Penelitian modern telah membuktikan secara ilmiah berbagai manfaat jahe, antara lain: menurunkan tekanan darah. Hal ini karena jahe merangsang pelepasan hormon adrenalin dan memperlebar pembuluh darah, akibatnya darah mengalir lebih cepat dan lancar dan memperingan kerja jantung memompa darah, membantu pencernaan, karena jahe mengandung enzim pencernaan yaitu protease dan lipase, yang masing-masing mencerna protein dan lemak, gingerol pada jahe bersifat antikoagulan, yaitu mencegah penggumpalan darah. Jadi mencegah tersumbatnya pembuluh darah, penyebab utama stroke, dan serangan jantung. Gingerol juga diduga membantu menurunkan kadar kolesterol, mencegah mual, karena jahe mampu memblok serotonin, yaitu senyawa kimia yang dapat menyebabkan perut berkontraksi, sehingga timbul rasa mual. Termasuk mual akibat mabok perjalanan, membuat lambung menjadi nyaman, meringankan kram perut dan membantu mengeluarkan angin, dan jahe juga mengandung antioksidan yang membantu menetralkan efek merusak yang disebabkan oleh radikal bebas di dalam tubuh. Peneliti-peneliti modern ternyata member dukungan terhadap penggunaan 'ramuan tradisional' jahe ini. Dari hasil penelitian, ekstrak jahe, baik dari jahe segar maupun jahe kering, berkhasiat dalam mengatasi infeksi bakteri, infeksi jamur, kejang, nyeri, luka serta gangguan lambung, tumor, kram dan reaksi alergi. Ekstrak jahe yang diteliti adalah sesuai standard gingerol, yaitu ekstrak yang tidak kehilangan rasa dan aroma jahe yang tajam (Febrianto, 2013).

2.3 Teori Pengeringan

2.3.1 Pengertian Pengeringan

Pengeringan adalah suatu metode untuk mengeluarkan atau menghilangkan sebagian air dari suatu bahan dengan menguapkan air menggunakan energi panas. Kandungan air bahan dikurangi sampai batas tertentu agar mikroba tidak dapat tumbuh dalam bahan (Winarno, 1980:45). Selama pengeringan, bahan pangan kehilangan kadar air yang menyebabkan kadar zat gizi meningkat dalam massa

yang tertinggal. Jumlah karbohidrat, protein, dan lemak per satuan berat dalam bahan pangan kering lebih besar dibandingkan bahan pangan segar. Sebagian besar bahan pangan kering bila direkonstitusi atau rehidrasi tetap berbeda dengan bahan pangan segar. Kualitas bahan pangan akan lebih baik bila dikeringkan (Desrosier, 1988).

Perpindahan panas terjadi karena suhu bahan lebih rendah dari pada suhu udara yang dialirkan di sekitarnya. Panas yang diberikan akan meningkatkan suhu bahan dan menyebabkan tekanan uap air dalam bahan lebih tinggi daripada tekanan uap air udara, sehingga terjadi perpindahan uap air dari bahan ke udara sebagai perpindahan massa (Taib dan Said, 1988:29-31).

Kecepatan pengeringan dan kadar air dari produk akhir sangat penting dalam proses pengeringan, faktor-faktor utama yang memengaruhi kecepatan pengeringan bahan pangan adalah:

1. Sifat fisik dan kimia dari produk (bentuk, ukuran, komposisi, kadar air).
2. Pengaturan geometris produk sehubungan dengan permukaan alat atau media perantara pindah panas (cara penumpukan bahan, frekuensi pembalikan dan lain-lain).
3. Tipe alat pengering (efisiensi pemindahan panas).
4. Kondisi lingkungan (suhu, kelembaban dan kecepatan aliran udara)

(Wirakartakusumah, 1989).

2.3.2 Jenis Pengeringan

Pemilihan jenis pengeringan yang sesuai untuk produk pangan ditentukan oleh suatu produk pangan ditentukan oleh kualitas produk akhir yang diinginkan, dan biaya produksi atau pertimbangan ekonomi. Beberapa jenis pengeringan telah digunakan secara komersial, dan jenis pengeringan jenis tertentu cocok untuk suatu produk pangan tertentu, tetapi belum tentu cocok untuk produk pangan yang lain. Jenis-jenis pengeringan antara lain:

1. Penjemuran (*Sun Drying*)
2. Pengeringan Matahari (*Solar Drying*)
3. Pengeringan Udara Panas (*Hot-Air Drying*)
4. Pengeringan Kabinet (*Cabinet Drying*)

5. Pengerinan Terowongan (*Tunnel Drying*)
6. Pengerinan Ban Berjalan (*Conveyor Drying*)
7. Pengerinan Semprot (*Spray Drying*)
8. Pengerinan Drum (*Drum Drying*)
9. Pengerinan Vakum (*Vacuum Drying*)
10. Pengerinan Beku (*Freeze Drying*)
11. Pengerinan Gelombang Mikro (*Microwave Dying*) dan Pengerinan Vakum Gelombang Mikro (*Microwave Vacuum Drying*)
12. Pengerinan Pembekuan (*Dehydrofreezing*) (Estiasih, 2009).

2.3.3 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Pengerinan

Faktor-faktor yang mempengaruhi pengerinan ada dua golongan yaitu faktor yang berhubungan dengan udara pengering dan faktor yang berhubungan dengan sifat bahan yang dikeringkan. Faktor-faktor yang termasuk golongan pertama adalah suhu, kecepatan volumetrik aliran udara pengering dan kelembaban udara. Faktor-faktor yang termasuk golongan kedua adalah ukuran bahan, kadar air awal dan tekanan parsial di dalam bahan. Kelembaban udara berpengaruh terhadap proses pemindahan uap air. Apabila kelembaban udara tinggi, maka perbedaan tekanan uap air di dalam dan di luar bahan menjadi kecil sehingga menghambat pemindahan uap air dari dalam bahan ke luar. Pengontrolan suhu serta waktu pengerinan dilakukan dengan mengatur kotak alat pengering dengan alat pemanas, seperti udara panas yang dialirkan ataupun alat pemanas lainnya. Suhu pengerinan akan mempengaruhi kelembaban udara di dalam alat pengering dan laju pengerinan untuk bahan tersebut. Pada kelembaban udara yang tinggi, laju penguapan air bahan akan lebih lambat dibandingkan dengan pengerinan pada kelembaban yang rendah (Taufiq, 2004).

2.4 Pengerinan Metode *Fluidized Bed*

2.4.1 Pengertian Metode *Fluidized Bed*

Mesin pengering *Fluidized Bed Dryer* merupakan mesin pengering yang memiliki dua komponen utama yaitu ruang pengering dan blower. Mesin pengering dapat mengatur suhu udara, interval pengerinan, dan kecepatan aliran udara panas. Metode pengerinan fluidisasi digunakan untuk mempercepat proses

pengeringan dan mempertahankan mutu bahan kering. Pengeringan ini banyak digunakan untuk pengeringan bahan berbentuk partikel atau butiran, baik untuk industri kimia, pangan, keramik, farmasi, pertanian, polimer dan limbah (Mujumdar, 2000).

2.4.2 Bagian Pengereng *Fluidized Bed*

Berikut ini adalah bagian-bagian mesin pengereng *fluidized bed* antara lain:

1. Kipas (*Blower*)

Kipas (*blower*) berfungsi untuk menghasilkan aliran udara, yang akan digunakan pada proses fluidisasi. Kipas juga berfungsi sebagai penghembus udara panas ke dalam ruang pengereng juga untuk mengangkat bahan agar proses fluidisasi terjadi.

2. Elemen Pemanas (*heater*)

Elemen Pemanas (*heater*) berfungsi untuk memanaskan udara sehingga kelembaban relatif udara pengereng turun, dimana kalor yang dihasilkan dibawa oleh aliran udara yang melewati elemen pemanas sehingga proses penguapan air dari dalam bahan dapat berlangsung.

3. *Plenum*

Plenum dalam mesin pengereng tipe fluidisasi merupakan saluran pemasukan udara panas yang dihembuskan kipas ke ruang pengeringan. Bagian saluran udara ini dapat berpengaruh terhadap kecepatan aliran udara yang dialirkan, dimana arah aliran udara tersebut dibelokkan menuju ke ruang pengereng dengan bantuan sekat-sekat yang juga berfungsi untuk membagi rata aliran udara tersebut.

4. Ruang Pengereng.

Ruang pengereng berfungsi sebagai tempat dimana bahan yang akan dikeringkan ditempatkan. Perpindahan kalor dan massa uap air yang paling optimal terjadi diruang ini. Menurut Mujumdar (2000), tinggi tumpukan bahan yang optimal untuk pengereng dengan menggunakan *fluidized bed dryer* adalah 2/3 dari tinggi ruang pengereng.

5. *Hopper*.

Hopper berfungsi sebagai tempat memasukkan bahan yang akan dikeringkan ke ruang pengereng (Winarno, 1980).

2.4.3 Keunggulan *Fluidized Bed*

Pengeringan unggun terfluidakan (*fluidized bed*) memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan metode pengeringan lain yaitu laju pengeringan yang tinggi di antara padatan dan udara panas sehingga waktu pengeringan lebih cepat, efisiensi termal yang tinggi, perpindahan panas bahan lebih mudah, pengendalian dan penanganan murah, dan biaya perawatan murah (Sujud, 2013).

Kelebihan lainnya dari pengering sistem fluidisasi, antara lain:

1. Aliran bahan yang menyerupai fluida mengakibatkan bahan mengalir secara kontinyu sehingga otomatis memudahkan operasinya.
2. Pencampuran atau pengadukan bahan menyebabkan kondisi bahan hampir mendekati isothermal.
3. Sirkulasi bahan diantara dua *fluidized bed* membuatnya memungkinkan untuk mengalirkan sejumlah besar kalor yang diperlukan ke dalam ruang pengering yang besar.
4. Pengering tipe fluidisasi cocok untuk skala besar.
5. Laju perpindahan kalor dan laju perpindahan massa uap air antara udara pengering dan bahan sangat tinggi dibandingkan dengan pengering metode kontak yang lain.
6. Pindah kalor dengan menggunakan pengering tipe fluidisasi membutuhkan area permukaan yang relatif kecil.
7. Sangat ideal untuk produk panas sensitif dan non-panas sensitif (Indriani, 2009).

2.4.4 Prinsip Kerja *Fluidized Bed*

Pengering sistem fluidisasi (*fluidized bed dryer*, FBD) adalah pengering yang menggunakan prinsip fluidisasi. Prinsip kerja mesin pengering sistem fluidisasi adalah penghembusan udara panas oleh kipas peniup (*blower*) melalui suatu saluran ke atas bak pengering (Indriani, 2009).

Selama proses pengeringan apabila kecepatan aliran udara ditingkatkan, tekanan statik udara pengering meningkat dan bahan yang dikeringkan akan terangkat sampai ketinggian tertentu dan menyebabkan bahan terfluidisasi. Pada kondisi ini bahan teraduk secara merata dan bantalan udara yang menyangga

bahan pada ketinggian tertentu disebut dalam keadaan fluidisasi minimum. Setelah batas minimum fluidisasi terlampaui akan membentuk bantalan gelembung udara yang mengakibatkan terjadinya letupan-letupan udara pada permukaan lapisan, hal ini terjadi terus menerus (Ariadi, 2009).

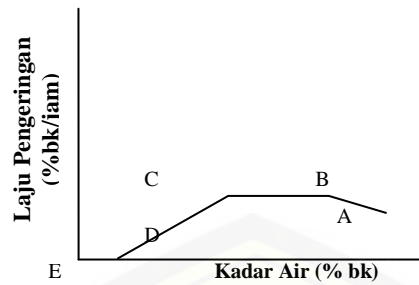
2.4.5 Hasil-hasil Penelitian Sebelumnya

Pengaruh asal benih dan cara penyimpanan terhadap mutu rimpang jahe memperlihatkan bahwa rimpang jahe asal petani binaan mempunyai kadar pati lebih tinggi (47,42%) dan serat lebih rendah (7,15%) dibandingkan dengan rimpang yang dihasilkan petani nonbinaan dengan kandungan pati yang lebih rendah (42,40%) dan serat lebih tinggi (9,47%). Benih dari petani binaan mempunyai susut bobot rimpang lebih rendah (32,02%) dibandingkan dengan benih dari petani nonbinaan (37,07%). Setelah 4 bulan penyimpanan, kadar air rimpang jahe masih 86%, rimpang dalam keadaan segar, tidak keriput dan bertunas. Berbagai cara penyimpanan, seperti menghamparkan benih di atas tanah dengan alas bata merah, pemberian paklobutrazol 500 ppm, penyusunan benih pada rak bambu, dan penutupan benih dengan jerami, tidak berpengaruh terhadap viabilitas benih jahe (Melati, 2005).

2.5 Laju Pengeringan

Pada periode ini, bahan mengandung air cukup banyak. Laju penguapan pada permukaan bahan hampir sama dengan laju penguapan pada permukaan air bebas. Jika bahan yang dikeringkan tidak berpori maka air yang dikeluarkan selama laju pengeringan tetap adalah air yang terdapat pada permukaan bahan sedangkan bila bahan tersebut berpori maka kebanyakan air yang dikeluarkan adalah yang berasal dari bagian dalam jaringan bahan. Laju pengeringan tergantung pada empat hal yaitu: luas permukaan pengeringan, perbedaan kelembaban antara aliran udara pengeringan dengan permukaan bahan, koefisien pindah panas, dan kecepatan aliran udara.

Berdasarkan Gambar 2.1 di bawah, dapat dilihat bahwa proses pengeringan suatu bahan pangan akan menurunkan kadar air sampai mencapai kadar air minimum dalam jangka waktu yang lama.



Gambar 2.1 Kurva Pengeringan

Berdasarkan kurva pengeringan di atas, dapat dibagi menjadi beberapa segmen atau periode sejalan dengan berkurangnya kadar air, yaitu:

1. A - B : periode permulaan / pemanasan
2. B - C : periode laju pengeringan konstan
3. C : kadar air kritis
4. C - D : periode laju pengeringan menurun pertama
5. D - E : periode laju pengeringan menurun kedua (Taib, 1988).

2.6 Kadar Air Bahan

Bahan pangan terdiri dari bahan kering ditambah dengan sejumlah air. Air dalam bahan pangan merupakan bagian seutuhnya dari bahan pangan itu sendiri. Air tersebut terdapat air bebas dan air terikat. Air bebas terdapat di bagian permukaan bahan atau benda padat, di antara sel-sel maupun dalam pori-pori, air ini mudah teruapkan pada pengeringan. Air terikat yaitu air yang terikat secara fisik menurut sistem kapiler atau absorpsi karena adanya tenaga penyerapan. Air terikat secara kimia, yaitu air yang berada dalam bahan dalam bentuk kristal dan air yang terikat dalam sistem dispersi koloid. Air terikat di atas dapat berikatan dengan protein, selulosa, zat tepung, pektin, dan sebagian zat-zat yang terkandung dalam bahan pangan. Air tersebut memang sulit untuk dihilangkan, karena harus memerlukan beberapa perlakuan seperti halnya terhadap beberapa faktor-faktor yang berpengaruh dalam pengeringan antara lain suhu, kelembaban dan kegiatan membalik-balik bahan seperti pengeringan ikan, gabah, kopi dan lain-lain.

Kandungan air suatu bahan yang dikeringkan mempengaruhi beberapa hal yaitu seberapa jauh penguapan dapat berlangsung, lamanya proses pengeringan

dan jalannya proses pengeringan. Kandungan air dalam suatu bahan pangan dinyatakan atas dasar basah (% berat) atau atas dasar kering, yaitu perbandingan jumlah air dengan jumlah bahan kering. Kadar air secara basis kering adalah perbandingan antara berat air di dalam bahan tersebut dengan berat bahan keringnya. Berat bahan kering adalah berat bahan asal setelah dikurangi dengan berat airnya. Kadar air secara basis basah adalah perbandingan berat air di dalam bahan tersebut dengan berat bahan mentah.

$$\text{Kadar air basah : } X = \frac{\text{Kg H}_2\text{O}}{\text{Kg H}_2\text{O} + \text{Kg Bahan}} \times 100\%$$

$$\text{Kadar air basah : } X = \frac{\text{Kg H}_2\text{O}}{\text{Kg Bahan}} \times 100\%$$

(Effendi, 2009).

Perhitungan kadar air secara basis basah (*wet basis*) dapat diketahui dengan rumus sebagai berikut:

$$M_{bb} = \frac{W_a}{W_b} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana: M_{bb} = kadar air bahan basis basah (% bb)

W_a = berat air dalam bahan (kg)

W_b = berat bahan awal (kg)

Untuk analisis bahan, biasanya kadar air bahan ditentukan berdasarkan sistem basis kering. Ini disebabkan karena perhitungan berdasarkan basis basah mempunyai kelemahan yaitu berat basah bahan selalu berubah-ubah setiap saat. Jika berdasarkan berat kering bahan hal ini tidak akan terjadi karena berat kering bahan selalu tetap. Dalam perhitungan kadar air berdasarkan basis kering (*dry basis*) dapat diketahui berdasarkan persamaan:

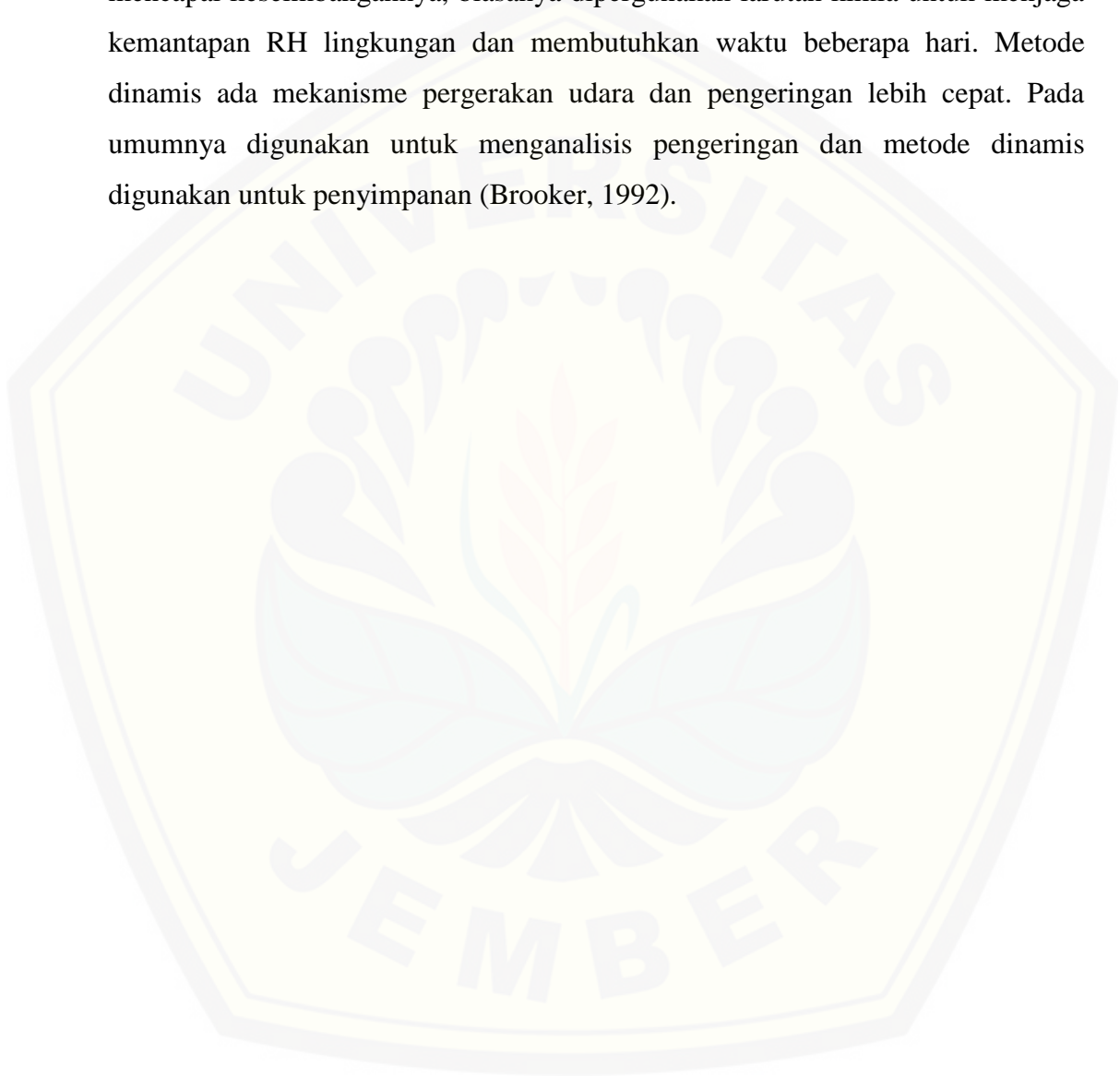
$$M_{bk} = \frac{W_a}{W_k} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana: M_{bk} = kadar air bahan basis kering (% bk)

W_a = berat air dalam bahan (kg)

W_k = berat kering bahan (kg)

Kadar air kesetimbangan (M_e) merupakan kadar air pada saat tekanan uap air bahan seimbang dengan tekanan parsial uap air yang berada di lingkungan. Ada dua metode untuk menentukan kadar air kesetimbangan yaitu metode statis dan dinamis. Pada metode statis bahan dibiarkan dalam keadaan diam untuk mencapai keseimbangannya, biasanya dipergunakan larutan kimia untuk menjaga kemantapan RH lingkungan dan membutuhkan waktu beberapa hari. Metode dinamis ada mekanisme pergerakan udara dan pengeringan lebih cepat. Pada umumnya digunakan untuk menganalisis pengeringan dan metode dinamis digunakan untuk penyimpanan (Brooker, 1992).



BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada 20 Februari 2018 sampai 30 April 2018, di Laboratorium Enjiniring Hasil Pertanian, Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember.

3.2 Bahan dan Alat Penelitian

3.2.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam kegiatan penelitian ini adalah rimpang jahe segar dan sehat. Bahan didapat dari penjual jahe di daerah pasar Jember. Jahe yang akan diteliti akan dibentuk kotak dan diiris kecil.

3.2.2 Alat

Alat yang digunakan dalam kegiatan penelitian ini meliputi cawan alumunium, 1 set *fluidized bed dryer Tipe TG 200*, stopwatch, timbangan digital (ketelitian $\pm 0,001$ gram), kamera digital, pisau, hygrometer, kantong plastic, label penanda, penjepit, dan oven.

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Rancangan Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik pengeringan rimpang jahe yang meliputi berat bahan, kadar air dan laju pengeringan selama proses pengeringan. Penelitian dilakukan dengan 2 kali ulangan pada masing-masing perlakuan percobaan. Variabel yang diamati merupakan suhu. Parameter dan variabel penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Variabel dan Parameter Penelitian

No.	Variabel Percobaan	Skala	Kode	Variabel Respon
1.	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	50	T_1	- Kadar Air Bahan
		65	T_2	- Konstanta
		80	T_3	Pengeringan
2.	Kecepatan Udara Pengeringan (m^3/jam)	121,46		- Laju Pengeringan

Penelitian dilakukan dengan 2 kali ulangan pada masing – masing kombinasi perlakuan dengan kecepatan udara pengeringan $121,46 \text{ m}^3/\text{jam}$.

3.3.2. Parameter yang diukur

Pada penelitian ini, parameter-parameter yang diukur dan diamati untuk memudahkan proses analisis dan perhitungan antara lain:

a. Berat bahan (rimpang jahe)

Berat bahan rimpang jahe diukur dengan menggunakan timbangan digital. Berat bahan yang diukur adalah berat bahan awal, berat bahan selama proses pengeringan, dan berat bahan akhir.

b. Kadar air

Kadar air rimpang jahe yang diukur adalah kadar air awal, kadar air bahan selama proses pengeringan, kadar air akhir, dan kadar air kesetimbangan.

c. Kecepatan udara

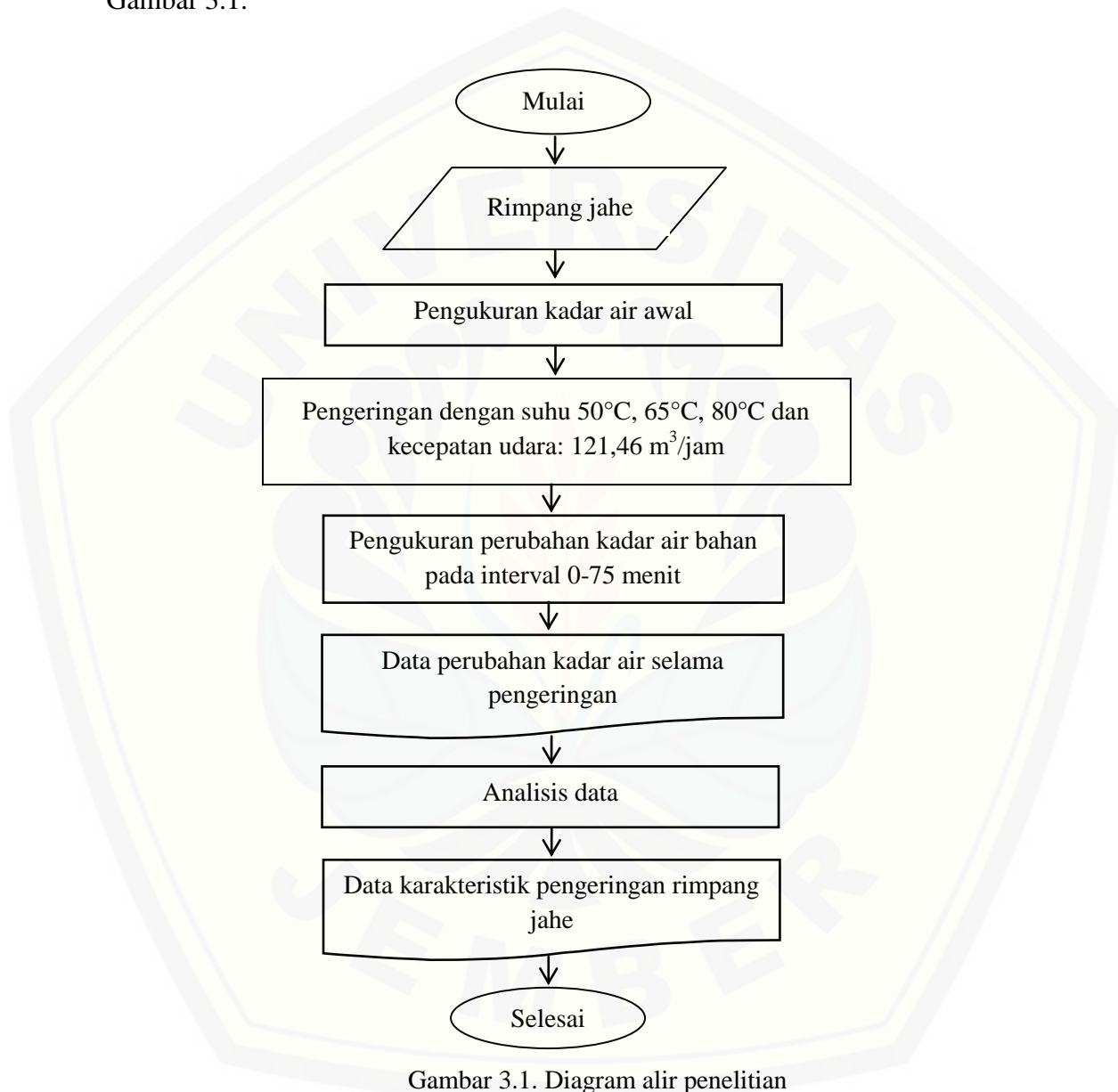
Udara panas dihembuskan ke dalam ruang pengering dari level 10 dan di ubah-ubah dengan kelipatan 5 sampai mencapai level kecepatan udara minimum bahan terfluidisasi atau bergerak.

d. Waktu pengeringan

Waktu pengeringan ditentukan sampai sampel mencapai kadar air yang diinginkan $\pm 8\%$ bb dan aman untuk disimpan.

3.3.3 Diagram Alir Penelitian

Prosedur penelitian yang telah dilakukan, ditampilkan dalam diagram alir pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian

3.4 Pelaksanaan Penelitian

Pengeringan adalah metode untuk mengurangi kadar air rimpang jahe. Sebelum proses pengeringan dilakukan, maka perlu adanya penyiapan bahan. Pencucian adalah tahap awal dari penyiapan bahan. Rimpang jahe dicuci dengan tujuan untuk membersihkan kotoran yang melekat pada kulit. Kotoran biasanya berupa tanah yang menempel maupun kotoran lainnya yang mudah melekat. Jahe yang telah dicuci, selanjutnya ditiriskan untuk menghilangkan air dari proses pencucian. Proses penirisan ini berlangsung maksimal 10 menit. Selanjutnya pengecilan ukuran jahe dengan cara dipotong dadu. Tujuan dari pengecilan ukuran ini adalah untuk mempercepat proses pengeringan pada jahe.

Hasil dari pemotongan jahe, selanjutnya masuk ke proses pengeringan. Pengeringan adalah proses pemindahan panas dan uap air yang dipindahkan dari permukaan bahan yang dikeringkan oleh media pengering yang biasanya berupa panas. Tujuan dari pengeringan adalah mengurangi kadar air bahan sampai batas dimana perkembangan mikroorganisme dan kegiatan enzim yang dapat menyebabkan pembusukan terhambat atau terhenti. Dengan demikian bahan yang dikeringkan dapat mempunyai waktu simpan yang lama (Taufiq, 2004:21)

Pengukuran kadar air awal pada jahe dilakukan terlebih dahulu sebelum proses pengeringan dengan menggunakan *fluidized bed*. Nilai kadar air awal bahan basis basah (%bb) dapat dihitung dengan Persamaan:

$$m(\%bb) = \frac{(b-a) - (c-a)}{(b-a)} \times 100\% \dots\dots\dots (3.3)$$

Sedangkan dalam basis kering (%bk), kadar air bahan dapat dihitung dengan Persamaan 3.4:

$$M(\%db) = \frac{(m)}{(100-m)} \times 100\% \dots\dots\dots (3.4)$$

Hasil dari pengukuran kadar air awal ini digunakan untuk memudahkan perhitungan kadar air akhir. Pada penelitian ini jahe dikeringkan menggunakan suhu 50, 65, dan 80°C. Jahe dikeringkan hingga mencapai kadar air $\pm 8\%$ bb. Kecepatan udara pengeringan yang digunakan 121,46 m³/jam. Pada setiap kombinasi perlakuan antara suhu dan kecepatan udara yang digunakan adalah 150 gram jahe. Pengeringan tiap perlakuan dibagi menjadi 6 titik waktu. Lama waktu yang dibutuhkan pada setiap perlakuan berkisar antara 45 - 75 menit. Berikut prosedur pengukuran kadar air bahan dan kadar air kesetimbangan (M_e) selama pengeringan, antara lain:

a. Pengukuran perubahan kadar air bahan selama pengeringan

Perubahan kadar air selama pengeringan dapat dilakukan setelah mengetahui kadar air awal bahan melalui metode gravimetri. Kemudian ditimbang bahan berupa jahe (± 150 gram) dan dimasukkan ke dalam *fluidized bed* dengan kombinasi suhu dan kecepatan udara. Setelah 5 menit pertama, bahan dikeluarkan dari *fluidized bed*, dimasukkan dalam eksikator selama 5-15 menit atau hingga suhu bahan normal (sesuai dengan suhu ruangan laboratorium, yaitu 25-27°C, kemudian ditimbang beratnya. Pengamatan tersebut diulang kembali pada 6 titik interval waktu sampai mencapai kadar air yang diinginkan (kurang dari 8% bb) dan dilakukan dua kali ulangan pada masing – masing perlakuan yang telah ditentukan. Kadar air bahan basis basah dapat dihitung dengan Persamaan 3.5:

$$m(\%bb) = \frac{W_t - W_d}{W_t} \times 100\% = \frac{W_m}{W_t} \times 100\% \dots\dots\dots(3.5)$$

dimana: m = Kadar air basis basah (%bb)
 W_m = Berat air dalam bahan (gram)
 W_d = Berat padatan (gram)
 W_t = Berat total (gram)

b. Pengukuran Kadar Air Kesetimbangan (M_e)

Langkah awal pengukuran kadar air kesetimbangan adalah menyiapkan dan menimbang wadah kosong yang akan digunakan. Setelah itu, bahan berupa jahe ditimbang sebanyak ± 5 gram. Bahan yang telah ditimbang, kemudian dimasukkan ke dalam oven bersuhu 50°C dan dioven selama 2 hari. Selanjutnya, bahan dimasukkan ke dalam eksikator hingga suhu bahan setara dengan suhu ruang ($25-27^\circ\text{C}$). Kemudian, berat bahan ditimbang dan dioven kembali selama 2 jam. Bahan kemudian dimasukkan kembali ke eksikator, setelah suhu bahan setara dengan suhu ruang maka jahe ditimbang kembali untuk mengetahui berat akhirnya. Prosedur yang sama juga berlaku pada suhu 65°C dan 80°C . Sisa sampel dari tiga variasi suhu kemudian ditimbang untuk dikeringkan secara bersamaan dengan suhu oven 105°C . Bahan kemudian dimasukkan ke dalam eksikator hingga suhu bahan setara dengan suhu ruang ($25-27^\circ\text{C}$) dan ditimbang beratnya. Selanjutnya nilai kadar air kesetimbangan (M_e) dapat dihitung dengan persamaan 3.5.

3.5 Metode Analisis Data

3.5.1 Analisis Teknis

a. Perubahan kadar air selama pengeringan

Perubahan kadar air selama pengeringan diamati berdasarkan interval waktu yang telah ditentukan untuk masing-masing perlakuan. Menurut Brooker *et al.* (1992:195) perubahan kadar air bahan selama pengeringan dapat dihitung dengan persamaan eksponensial (Newton) sebagai berikut:

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} = \exp(-k.t) \dots\dots\dots (3.6)$$

Koefisien pengeringan k dan n diperoleh dari hasil regresi linier antara $(-\ln(MR))$ dan t , sebagai berikut :

$$(-\ln(MR)) = kt \dots\dots\dots (3.7)$$

Persamaan di atas dapat diuraikan menjadi suatu persamaan regresi yaitu :

$$y = ax$$

dengan: $y = (-\ln MR)$

$$a = k$$

$$x = t$$

Sedangkan untuk perbandingan, digunakan persamaan Page:

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} = \exp(-k.t^n) \dots\dots\dots (3.8)$$

dimana :

MR : Rasio Kadar Air (% b.k)

Mt : Kadar Air pada saat t (% b.k)

Me : Kadar Air Kesetimbangan (% b.k)

M₀ : Kadar Air Awal (% b.k)

Koefisien pengeringan *k* dan *n* diperoleh dari hasil regresi linier antara $\ln(-\ln(MR))$

dan $\ln t$, sebagai berikut :

$$\ln(-\ln(MR)) = \ln k + n \ln t \dots\dots\dots (3.9)$$

Persamaan diatas dapat diuraikan menjadi suatu persamaan regresi yaitu :

$$y = a + bx$$

dengan: $y = \ln(-\ln MR)$

$$a = \ln k$$

$$b = n$$

$$x = \ln t$$

Dengan regresi linier antara koefisien *k* dan *n* dengan daya pengeringan, akan diperoleh persamaan *k* dan *n* sebagai fungsi daya :

$$k(t) = f(P) \dots\dots\dots (3.10)$$

$$n(t) = f(P) \dots\dots\dots (3.11)$$

b. Laju pengeringan

Menurut Brooker *et al.* (1992:296) profil laju pengeringan selama pengeringan berlangsung ditentukan dengan persamaan :

$$\frac{dM}{dt} = \frac{Mt_1 - Mt_2}{\Delta t} \dots\dots\dots(3.12)$$

Keterangan : $\frac{dM}{dt}$ = Laju pengeringan (%bk/menit)

Mt_1 = Kadar air bahan saat waktu ke- t_1

Mt_2 = Kadar air bahan saat waktu ke- t_2

Δt = selisih t_1 dan t_2 (menit)

3.5.2 Analisis Data

Data yang diperoleh dalam penelitian berupa data hasil percobaan (data observasi) akan dianalisis menggunakan *software Microsoft Excel 2010* dan disajikan dalam bentuk grafik. Selain itu, dilakukan uji validitas untuk mengetahui tingkat kebenaran/kepercayaan data yang dihasilkan. Uji validitas dilakukan dengan menggunakan kriteria *Coefficient of Determination* (COD atau R^2) dan *Root Mean Square Error* (RMSE). Menurut Manalu (2011:12), nilai R^2 menunjukkan kemampuan model dengan nilai tertinggi 1, sedangkan RMSE menunjukkan deviasi antara hasil hitung terhadap data pengukuran, nilai yang diinginkan mendekati nol. Semakin besar nilai R^2 dan semakin kecil nilai RMSE maka metode yang digunakan semakin baik. Nilai R^2 dan RMSE, dihitung dengan persamaan berikut (Nawari, 2010:240):

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (M \text{ Re } xp_i - MRpre_i)^2}{\sum_{i=1}^N (M \text{ Re } xp_i - \overline{MRexp})^2}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (M \text{ Re } xp - MRpre)_i^2}{N}}$$

dimana $MR_{exp,i}$ adalah rasio kadar air percobaan ke- i , $MR_{pre,i}$ adalah rasio kadar air hitung ke- i , N adalah jumlah pengamatan, dan \overline{MR}_{exp} adalah nilai rata-rata rasio kadar air percobaan.



BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Proses pengeringan rimpang jahe menggunakan *fluidized bed* mampu menurunkan kadar air dari rentang 83,13 % bb – 83,47 % bb menjadi 6,98 %bb – 11,40 % bb.
2. Penurunan kadar air tercepat terjadi pada pengeringan suhu 80°C dan kecepatan udara 121,46 m³/jam, yaitu 83,43 % bb menjadi 7,14 % bb dalam waktu 45 menit.
3. Perlakuan pengeringan menggunakan *fluidized bed* pada berbagai suhu yang memiliki laju pengeringan terendah pada pengeringan dengan kecepatan aliran udara 121,46 m³/jam dan suhu 50°C.
4. suhu pada *fluidized bed* mempengaruhi durasi dan konstanta pengeringan rimpang jahe. Semakin tinggi suhu dan kecepatan udara yang digunakan, maka semakin besar nilai kemampuan bahan dalam menguapkan air.
5. hasil perhitungan pemodelan newton dan page menunjukkan bahwa pemodelan yang sesuai untuk memprediksi karakteristik pengeringan rimpang jahe menggunakan *fluidized bed* adalah model Persamaan Page.

5.2 Saran

Perlu diadakan penelitian lanjutan mengenai pengeringan rimpang jahe menggunakan unit pengering yang berbeda sehingga didapatkan rimpang jahe dengan kualitas tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariadi, D. R. 2009. *Bagian Mesin Pengering Sistem Fluidisasi*. <http://derryariadi.blogspot.com/2009/04/bagian-mesin-pengering-sistem.html>. [30 Oktober 2013].
- Brooker, D. B., Barker, A. F. W., dan Hall, C. W. 1992. *Drying and Storage of Grain and Oilseeds*. The AVI Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut.
- Desrosier dan Norman, W. *Teknologi Pengawetan Pangan*. Edisi 3. Terjemahan oleh Muchji Muljohardjo, 1988. Jakarta: UI-Press.
- Effendi, S. 2009. *Teknologi Pengolahan dan Pengawetan Pangan*. Bandung: Alfabeta.
- Estiasih, T. 2009. *Teknologi Pengolahan Pangan*. Jakarta: PT Bumi Aksara.
- Farrell, K. T. 1985. *Spices, Condiments, and Seasonings*. The AVI Publishing Company, Inc. Westport, Connecticut.
- Febrianto, A. 2013. *Pemanfaatan Tanaman Jahe*. <http://antonius-febrianto.blogspot.com/2013/05/makalah-pemanfaatan-tanaman-jahe.html>. [22 Desember 2013].
- Indriani, Hanifah, Sarosa, dan Aini. 2009. *Pembuatan Fluidized Bed Dryer untuk Pengeringan Benih Pertanian Secara Semi Batch*. Tidak Diterbitkan. Tugas Akhir. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Melati, Sukarman, Rusmin, dan Hasanah. 2005. Pengaruh asal benih dan cara penyimpanan terhadap mutu rimpang jahe. *Jurnal Ilmiah Pertanian Gakuryoku Persada XI(2)*: 186–189.
- Mujumdar dan Arun, S. 2004. *Guide to Industrial Drying Principles, Equipment and New Developments*. Mumbai India: IWSID2004.
- Paimin dan Murhananto. 1999. *Budidaya, Pengolahan, Perdagangan Jahe*. Jakarta: PT Penebar Swadaya.

Purseglove, Brown, Green, dan Robbins. 1981. *Spices Vol 2*. Longman. London.

Rukmana, R. 2000. *Usaha Tani Jahe*. Yogyakarta : Kasinius.

Santosa, H. H. 1994. *Jahe Gajah*. Kanisius, Jakarta.

Sujud, A. 2013. *Karakteristik Pengeringan Jamur Tiram Putih (Pleurotus Asteatus) Menggunakan Mesin Pengering Tipe Fluidized Bed*. Tidak Diterbitkan. Skripsi. Jember: Universitas Jember.

Taib, G., Said, G., dan Wiraatmadja, S. 1988. *Operasi Pengeringan Pada Pengolahan Hasil Pertanian*. Jakarta: PT. Rineka Cipta.

Taufiq, M. 2004. *Pengaruh Temperatur Terhadap Laju Pengeringan Jagung Pada Pengering Konvensional Dan Fluidized Bed*. Tidak Diterbitkan. Skripsi. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.

Winarno, F. 1980. *Pengantar Teknologi Pangan*. Jakarta : PT Gramedia.

Wirakartakusumah, A. dan Hermanianto, D. 1989. *Prinsip Teknik Pangan*. Bogor : IPB.

Lampiran A. Data Hasil Perhitungan Kadar Air Bahan Selama Pengeringan1. Data Hasil Perhitungan Kadar Air Bahan pada Perlakuan T₁Q₁

t (menit)	m (%bb)			M (% bk)		
	1	2	Rata-rata	1	2	Rata-rata
0	83,47	83,47	83,47	504,96	504,96	504,96
5	80,56	80,72	80,64	414,42	418,69	416,56
15	72,12	71,77	71,95	258,74	254,26	256,50
30	56,04	56,35	56,20	127,47	129,12	128,29
45	44,29	43,31	43,80	79,51	76,41	77,96
60	28,97	28,28	28,63	40,79	39,42	40,11
75	11,32	11,48	11,40	12,76	12,97	12,87

2. Data Hasil Perhitungan Kadar Air Bahan pada Perlakuan T₂Q₁

t (menit)	m (%bb)			M (% bk)		
	1	2	Rata-rata	1	2	Rata-rata
0	83,13	83,13	83,13	493,01	493,01	493,01
5	77,68	77,71	77,69	348,01	348,57	348,29
10	71,06	71,09	71,08	245,54	245,90	245,72
15	63,64	63,24	63,44	175,04	172,00	173,52
30	48,09	46,96	47,53	92,65	88,54	90,60
45	31,57	30,12	30,84	46,14	43,09	44,62
60	6,83	7,14	6,98	7,33	7,69	7,51

3. Data Hasil Perhitungan Kadar Air Bahan pada Perlakuan T₃Q₁

t (menit)	m (%bb)			M (% bk)		
	1	2	Rata-rata	1	2	Rata-rata
0	83,43	83,43	83,43	503,50	503,50	503,50
5	77,26	77,43	77,35	339,83	343,05	341,44
10	69,95	70,14	70,04	232,73	234,94	233,84
15	62,09	61,88	61,99	163,81	162,36	163,09
25	49,61	50,64	50,13	98,47	102,57	100,52
35	33,95	31,19	32,57	51,40	45,32	48,36
45	7,26	7,01	7,14	7,83	7,54	7,68

Lampiran B. Data Hasil Perhitungan Laju Pengeringan Jahe**1. Data Hasil Perhitungan Laju Pengeringan Jahe pada Perlakuan T_1Q_1**

t (menit)	M (% bk)	dM (%bk)	dt (menit)	dM/dt (%bk/menit)
0	504,96	0	0	0
5	416,56	88,40	5	17,68
15	256,50	160,05	10	16,01
30	128,29	128,21	15	8,55
44	77,96	50,33	15	3,36
60	40,11	37,85	15	2,52
75	12,87	27,24	15	1,82

2. Data Hasil Perhitungan Laju Pengeringan Jahe pada Perlakuan T_2Q_1

t (menit)	M (% bk)	dM (%bk)	dt (menit)	dM/dt (%bk/menit)
0	493,01	0	0	0
5	348,29	144,72	5	28,94
10	245,72	102,57	5	20,51
15	173,52	72,20	5	14,44
30	90,60	82,93	15	5,53
45	44,62	45,98	15	3,07
60	7,51	37,11	15	2,47

3. Data Hasil Perhitungan Laju Pengeringan Jahe pada Perlakuan T_3Q_1

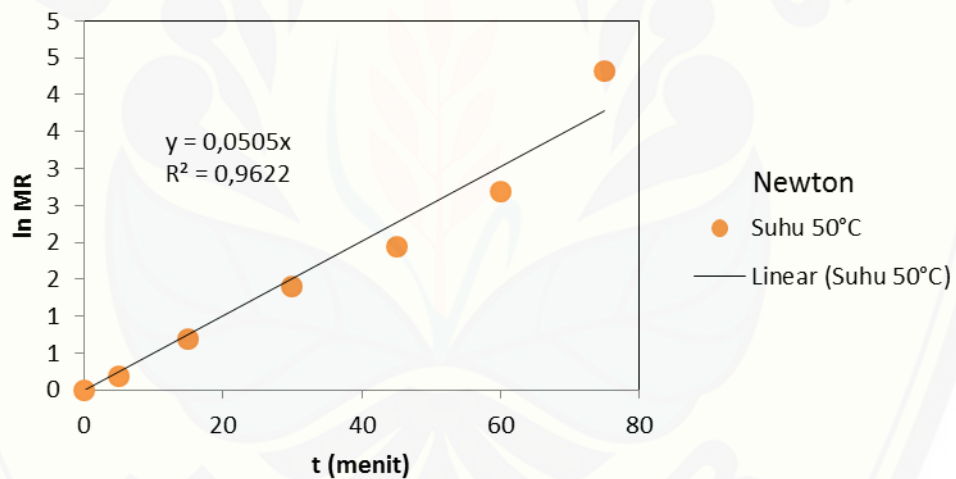
t (menit)	M (% bk)	dM (%bk)	dt (menit)	dM/dt (%bk/menit)
0	503,50	0	0	0
5	341,44	162,06	5	32,41
10	233,84	107,60	5	21,52
15	163,09	70,75	5	14,15
25	100,52	62,56	10	6,26
35	48,36	52,16	10	5,22
45	7,68	40,68	10	4,07

Lampiran C. Data dan Ploting Persamaan Newton dan Persamaan Page

1. Persamaan Newton

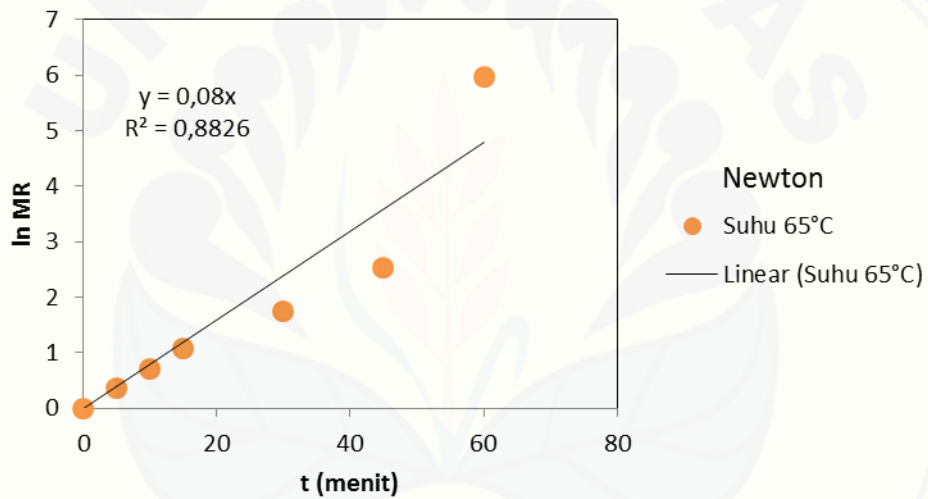
1.1 Perlakuan Pengeringan T_1Q_1

t(menit)	Ln t	Mo (%bk)	Me (%bk)	Mt (%bk)	MR	-Ln (MR)	k
0	#NUM!	504,96	6,26	504,96	1,000	0	0,0505
5	1,61	504,96	6,26	416,56	0,823	0,1951	
15	2,71	504,96	6,26	256,50	0,502	0,6896	
30	3,40	504,96	6,26	128,29	0,245	1,4077	
45	3,81	504,96	6,26	77,96	0,144	1,9396	
60	4,09	504,96	6,26	40,11	0,068	2,6902	
75	4,32	504,96	6,26	12,87	0,013	4,3245	



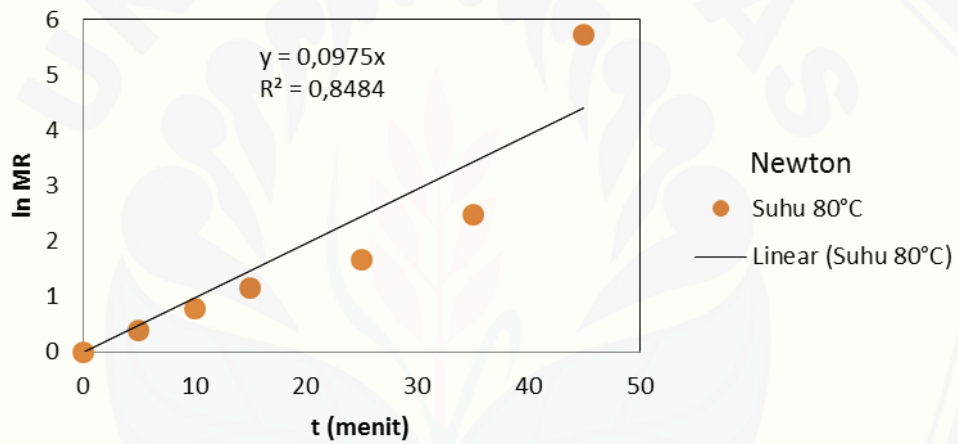
1.2 Perlakuan Pengeringan T₂Q₁

t(menit)	Ln t	Mo (%bk)	Me (%bk)	Mt (%bk)	MR	-Ln (MR)	k
0	#NUM!	493,01	6,26	493,01	1,000	0	0,0800
5	1,61	493,01	6,26	348,29	0,703	0,3529	
10	2,30	493,01	6,26	245,72	0,492	0,7094	
15	2,71	493,01	6,26	173,52	0,344	1,0682	
30	3,40	493,01	6,26	90,60	0,173	1,7530	
45	3,81	493,01	6,26	44,62	0,079	2,5409	
60	4,09	493,01	6,26	7,51	0,003	5,9680	



1.3 Perlakuan Pengeringan T₁Q₃

t(menit)	Ln t	Mo (%bk)	Me (%bk)	Mt (%bk)	MR	-Ln (MR)	k
0	#NUM!	503,50	6,04	503,50	1,000	0	0,1308
5	1,61	503,50	6,04	341,44	0,674	0,3942	
10	2,30	503,50	6,04	233,84	0,458	0,7811	
15	2,71	503,50	6,04	163,09	0,316	1,1530	
25	3,22	503,50	6,04	100,52	0,190	1,6611	
35	3,56	503,50	6,04	48,36	0,085	2,4642	
45	3,81	503,50	6,04	7,68	0,003	6,2312	

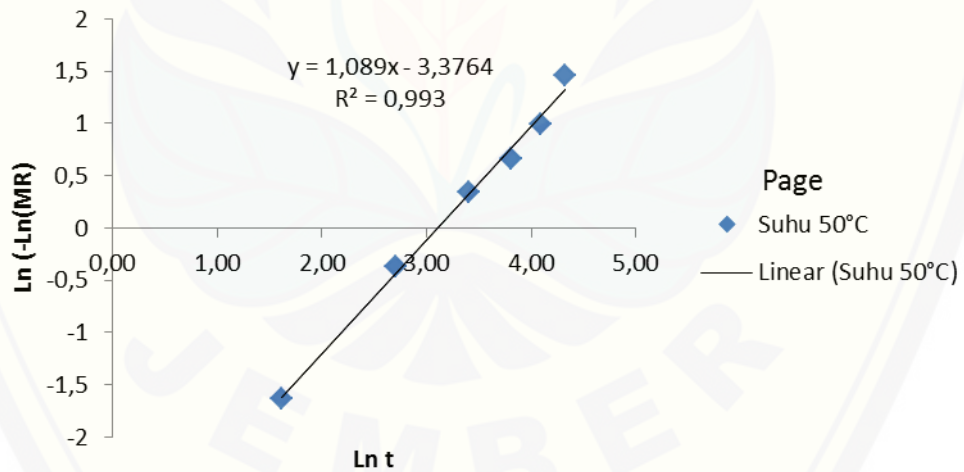


2. Persamaan Page

2.1 Perlakuan Pengeringan T₁Q₁

t(menit)	Ln t	Mo (%bk)	Me (%bk)	Mt (%bk)	MR	Ln (-Ln MR)
0	#NUM!	504,96	6,26	504,96	1,000	#NUM!
5	1,61	504,96	6,26	416,56	0,823	-1,634
15	2,71	504,96	6,26	256,50	0,502	-0,371
30	3,40	504,96	6,26	128,29	0,245	0,342
45	3,81	504,96	6,26	77,96	0,144	0,662
60	4,09	504,96	6,26	40,11	0,068	0,990
75	4,32	504,96	6,26	12,87	0,013	1,464

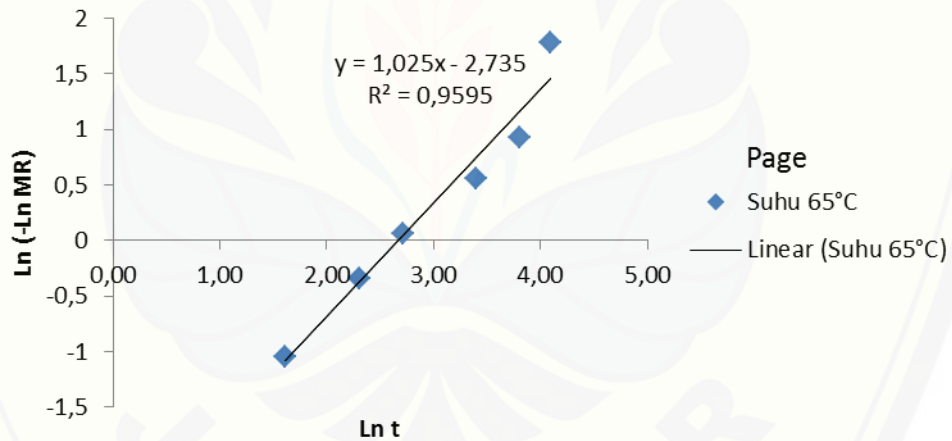
n	Ln K	K
1,089	-3,3764	0,03417



Perlakuan Pengeringan T₁Q₂

t(menit)	Ln t	Mo (%bk)	Me (%bk)	Mt (%bk)	MR	Ln (-Ln MR)
0	#NUM!	493,01	6,26	493,01	1,000	#NUM!
5	1,61	493,01	6,26	348,29	0,703	-1,042
10	2,30	493,01	6,26	245,72	0,492	-0,343
15	2,71	493,01	6,26	173,52	0,344	0,066
30	3,40	493,01	6,26	90,60	0,173	0,561
45	3,81	493,01	6,26	44,62	0,079	0,933
60	4,09	493,01	6,26	7,51	0,003	1,786

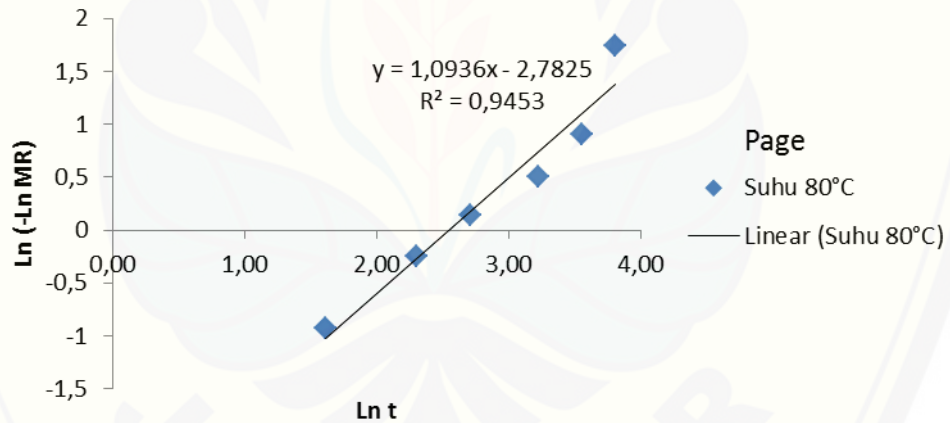
n	Ln K	K
1,025	-2,735	0,06489



2.2 Perlakuan Pengeringan T₁Q₃

t(menit)	Ln t	Mo (%bk)	Me (%bk)	Mt (%bk)	MR	Ln (-Ln MR)
0	#NUM!	503,50	6,04	503,50	1,000	#NUM!
5	1,61	503,50	6,04	341,44	0,674	-0,931
10	2,30	503,50	6,04	233,84	0,458	-0,247
15	2,71	503,50	6,04	163,09	0,316	0,142
25	3,22	503,50	6,04	100,52	0,190	0,507
35	3,56	503,50	6,04	48,36	0,085	0,902
45	3,81	503,50	6,04	7,68	0,003	1,743

n	Ln K	K
1,0936	-2,7825	0,06188



Lampiran D. Data MR Observasi dan MR Estimasi1. MR Observasi dan MR Estimasi pada Perlakuan T_1Q_1

t (menit)	MR Observasi	MR Estimasi	
		Newton	Page
0	1,000	1,000	1,000
5	0,823	0,777	0,821
15	0,502	0,469	0,521
30	0,245	0,220	0,249
45	0,144	0,103	0,115
60	0,068	0,048	0,052
75	0,013	0,023	0,023

2. MR Observasi dan MR Estimasi pada Perlakuan T_2Q_1

t (menit)	MR Observasi	MR Estimasi	
		Newton	Page
0	1,000	1,000	1,000
5	0,703	0,670	0,713
10	0,492	0,449	0,503
15	0,344	0,301	0,353
30	0,173	0,091	0,120
45	0,079	0,027	0,040
60	0,003	0,008	0,013

3. MR Observasi dan MR Estimasi pada Perlakuan T_3Q_1

t (menit)	MR Observasi	MR Estimasi	
		Newton	Page
0	1,000	1,000	1,000
5	0,674	0,614	0,698
10	0,458	0,377	0,464
15	0,316	0,232	0,302
25	0,190	0,087	0,123
35	0,085	0,033	0,049
45	0,003	0,012	0,019

Lampiran E. Uji Validitas Model

1. Persamaan Newton

1.1 Perlakuan T₁Q₁

t (menit)	MR exp (y_i) Y	MR est (\hat{y}) y est	$(y_i - \hat{y})^2$	$(y_i - \bar{y})^2$	RMSE	R ²
0	1,000	1,000	0,000	0,361	0,029	0,993
5	0,823	0,777	0,002	0,180		
15	0,502	0,469	0,001	0,011		
30	0,245	0,220	0,001	0,024		
45	0,144	0,103	0,002	0,065		
60	0,068	0,048	0,000	0,110		
75	0,013	0,023	0,000	0,149		
Jumlah			0,006	0,899		
\bar{y}	0,399					

1.2 Perlakuan T₂Q₁

t (menit)	MR exp (y_i) Y	MR est (\hat{y}) y est	$(y_i - \hat{y})^2$	$(y_i - \bar{y})^2$	RMSE	R ²
0	1,000	1,000	0,000	0,361	0,045	0,982
5	0,703	0,670	0,001	0,092		
10	0,492	0,449	0,002	0,009		
15	0,344	0,301	0,002	0,003		
30	0,173	0,091	0,007	0,051		
45	0,079	0,027	0,003	0,103		
60	0,003	0,008	0,000	0,157		
Jumlah			0,014	0,776		
\bar{y}	0,399					

1.3 Perlakuan T₃Q₁

t (menit)	MR exp (y _i) Y	MR est (ŷ) y est	(y _i - ŷ) ²	(y _i - ȳ) ²	RMSE	R ²
0	1,000	1,000	0,000	0,373	0,066	0,959
5	0,674	0,614	0,004	0,081		
10	0,458	0,377	0,007	0,005		
15	0,316	0,232	0,007	0,005		
25	0,190	0,087	0,011	0,040		
35	0,085	0,033	0,003	0,092		
45	0,003	0,012	0,000	0,149		
Jumlah			0,031	0,746		
ȳ	0,389					

2. Persamaan Page

2.1 Perlakuan T₁Q₁

t (menit)	MR exp (y _i) y	MR pre (ŷ) ypre	(y _i - ŷ) ²	(y _i - ȳ) ²	RMSE	R ²
0	1,000	1,000	0,000	0,361	0,015	0,998
5	0,823	0,821	0,000	0,180		
15	0,502	0,521	0,000	0,011		
30	0,245	0,249	0,000	0,024		
44	0,144	0,115	0,001	0,065		
60	0,068	0,052	0,000	0,110		
75	0,013	0,023	0,000	0,149		
Jumlah			0,002	0,899		
ȳ	0,399					

2.2 Perlakuan T₂Q₁

t (menit)	MR exp	MR pre	$(y_i - \hat{y})^2$	$(y_i - \bar{y})^2$	RMSE	R ²
	(y_i)	(\hat{y})				
	y	y _{pre}				
0	1,000	1,000	0,000	0,361	0,026	0,994
5	0,703	0,713	0,000	0,092		
10	0,492	0,503	0,000	0,009		
15	0,344	0,353	0,000	0,003		
30	0,173	0,120	0,003	0,051		
45	0,079	0,040	0,001	0,103		
60	0,003	0,013	0,000	0,157		
Jumlah			0,005	0,776		
\bar{y}	0,399					

2.3 Perlakuan T₃Q₁

t (menit)	MR exp	MR pre	$(y_i - \hat{y})^2$	$(y_i - \bar{y})^2$	RMSE	R ²
	(y_i)	(\hat{y})				
	y	y _{pre}				
0	1,000	1,000	0,000	0,373	0,031	0,991
5	0,674	0,698	0,001	0,081		
10	0,458	0,464	0,000	0,005		
15	0,316	0,302	0,000	0,005		
25	0,190	0,123	0,004	0,040		
35	0,085	0,049	0,001	0,092		
45	0,003	0,019	0,000	0,149		
Jumlah			0,007	0,746		
\bar{y}	0,389					

Lampiran F. Foto Penelitian

1. Alat Penelitian



Oven Memmert UNB-400



Petri dish



Fluidized Bed



Neraca digital Ohaus Pioneer 0,01 gram

2. Hasil Penelitian



T₁Q₁



T₂Q₁



T₃Q₁