



**PENGARUH SUHU TERHADAP LAJU PERPINDAHAN MASSA
PADA PROSES PENDINGINAN DENGAN METODE
TEMPERATUR RENDAH (*LOW TEMPERATURE DRYING*)**

SKRIPSI

**Disusun dalam rangka untuk menyelesaikan Studi Strata I
untuk memperoleh gelar Sarjana Pendidikan Teknik Mesin**

Universitas Negeri Semarang

Disusun Oleh :

Nama : Misbakul Munir

NIM : 5201407020

Prodi : Pendidikan Teknik Mesin S1

Jurusan : Teknik Mesin

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Misbakul Munir
NIM : 5201407020
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin S1
Judul : “Pengaruh Suhu Terhadap Laju Perpindahan Massa pada Proses Pengeringan dengan Metode Temperatur Rendah (*Low Temperature Drying*)”

Telah dipertahankan di depan Dewan penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Panitia Ujian

Ketua : Drs. Wirawan Sumbodo, MT ()
NIP. 196601051990021002
Sekretaris : Wahyudi, S.Pd, M.Eng ()
NIP. 198003192005011001

Dewan Penguji

Pembimbing I : Danang Dwi Saputro, ST, MT ()
NIP. 197811052005011001
Pembimbing II : Rusiyanto, S.Pd, MT. ()
NIP. 197403211999031002
Penguji Utama : Drs. Aris Budiyo, MT ()
NIP. 196704051994021001
Penguji Pendamping I : Danang Dwi Saputro, S.T, M.T ()
NIP. 197811052005011001
Penguji Pendamping II : Rusiyanto, S.Pd, M.T. ()
NIP. 197403211999031002

Ditetapkan di Semarang

Tanggal :

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik

Drs. Abdurrahman, M.Pd
NIP. 196009031985031002

ABSTRAK

Misbakul Munir, 2011. *Pengaruh Suhu Terhadap Laju Perpindahan Massa Pada Proses Pengeringan Dengan Metode Temperatur Rendah (Low Temperature Drying)*. Skripsi. Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang. Pembimbing I, Danang Dwi Saputro, ST,MT, Pembimbing II Rusiyanto, S.Pd, MT.

Proses pengeringan untuk industri bahan pangan terus berkembang hingga dekade terakhir. Bahan makanan dikeringkan dengan tujuan mengurangi kadar air bahan sampai batas tertentu. Low temperature drying adalah proses pengeringan dengan memanfaatkan *Air Conditioning* yang digunakan untuk mengeringkan bahan makanan tertentu dengan menggunakan suhu rendah. Alat tersebut meskipun memiliki banyak keunggulan, namun belum diterapkan secara luas di masyarakat, karena industri belum yakin dengan tingkat keberhasilan alat tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu terhadap laju perpindahan massa pada bahan makanan sehingga dapat diketahui suhu optimal untuk mendapatkan efisiensi pengeringan tertinggi.

Metode yang digunakan adalah penelitian eksperimen. Penelitian ini penulis melakukan variasi suhu sebesar 10 °C, 15 °C dan 20 °C, sedangkan tekanan dibuat tetap yaitu 15 cmHg. Laju perpindahan massa dapat diketahui dengan cara ditimbang dengan menggunakan neraca *Ohaus PA 214* dengan ketelitian 1/10.000 gram.

Penelitian yang dilakukan, didapatkan hasil yang berbeda pada tiap-tiap variasi suhu udara. Berdasarkan tabel hasil pengujian laju perpindahan massa yang paling cepat didapat saat suhu 10 °C selama 5 jam perubahan massanya 11,36 %, sedangkan laju perpindahan massa paling lambat didapat saat tekanan 20 °C selama 5 jam perubahan massanya 5,50 %, hal ini dapat dijelaskan bahwa semakin rendah suhu udara di dalam tabung *Low temperature drying* maka RH udara juga semakin turun, jika RH udara semakin turun maka akan mempercepat proses perpindahan massa air dari bahan ke udara. Pengeringan yang dilakukan mempunyai nilai visual yang lebih bagus dibandingkan dengan pengeringan dengan sinar matahari, pengeringan temperatur rendah tidak merubah warna bahan makanan dan kelihatan lebih segar.

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

Motto :

- ✓ Ikhtiar dan Tawakkal!!!
- ✓ Keberhasilan hidup anda ada dalam tanggung jawab anda, jangan lagi menunggu dibuat berhasil, dan jangan ijinkan orang lain memperlambat keberhasilan anda. Kehidupan ini adalah kehidupan anda, maka keberhasilannya adalah keputusan anda!!! (Mario Teguh).
- ✓ Sesungguhnya sesudah kesulitan adalah kemudahan, berusaha dan bertakwalah kepada-Nya dan jangan berputus asa. (QS. Al-Insyiroh)

Persembahan :

Skripsi ini aku persembahkan untuk:

- Bapak Mahmudi dan (Alm) Ummi Siti Mukminah yang tercinta.
- Mbak ismi, keponakan-keponakan dan keluarga besar dari (Alm) Ummi Siti Mukminah.
- Teman-teman PTM Angkatan 2007, PPL,

KKN, dan Penghuni Kost-kostan Kost.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat, taufiq, hidayah-Nya maka peneliti dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul “ Pengaruh Suhu Terhadap Laju Perpindahan Massa pada Proses Pengeringan dengan Metode Temperatur Rendah (*Low Temperature Drying*)”.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak mungkin tersusun dengan baik tanpa adanya bantuan dari berbagai pihak yang dengan ikhlas telah merelakan sebagian waktu, tenaga, dan materi yang tersita demi membantu penulis dalam menyusun skripsi ini. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih setulus hati kepada :

1. Bp. Drs. Abdurrahman, M.Pd, Dekan Fakultas Teknik Mesin UNNES.
2. Bp. Drs. Wirawan Sumbodo, M.Pd, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin.
3. Bp. Danang Dwi Saputro, ST, MT, selaku dosen pembimbing I, untuk masukan arahan dan bimbingan dalam proses penelitian dan penyusunan laporan skripsi ini.
4. Bp. Rusiyanto, S.Pd, MT, selaku dosen pembimbing II, dalam bimbingan dan masukan terhadap penulisan laporan skripsi ini.
5. Bp. Drs. Aris Budiyono, MT selaku dosen penguji laporan ini.
6. Kedua orang tua “Bapak Mahmudi dan (Alm) Ummi Siti Mukminah” yang tidak henti-hentinya memberikan do’a dan semangatnya.
7. Teman-teman senasib seperjuangan PPL, KKN, dan PTM’07 yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

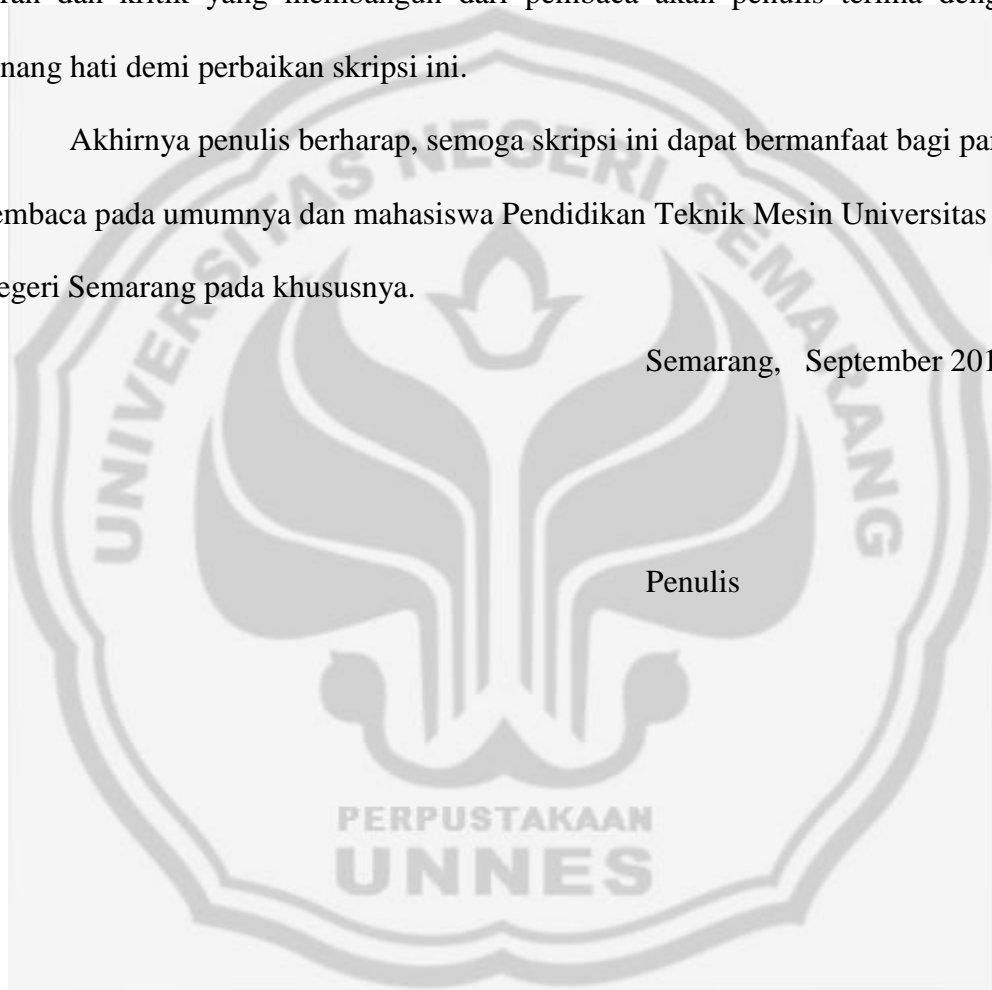
8. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam proses penelitian dan penyusunan laporan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dengan terbatasnya waktu dan masih kurangnya pengetahuan penulis, skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu segala saran dan kritik yang membangun dari pembaca akan penulis terima dengan senang hati demi perbaikan skripsi ini.

Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca pada umumnya dan mahasiswa Pendidikan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang pada khususnya.

Semarang, September 2011

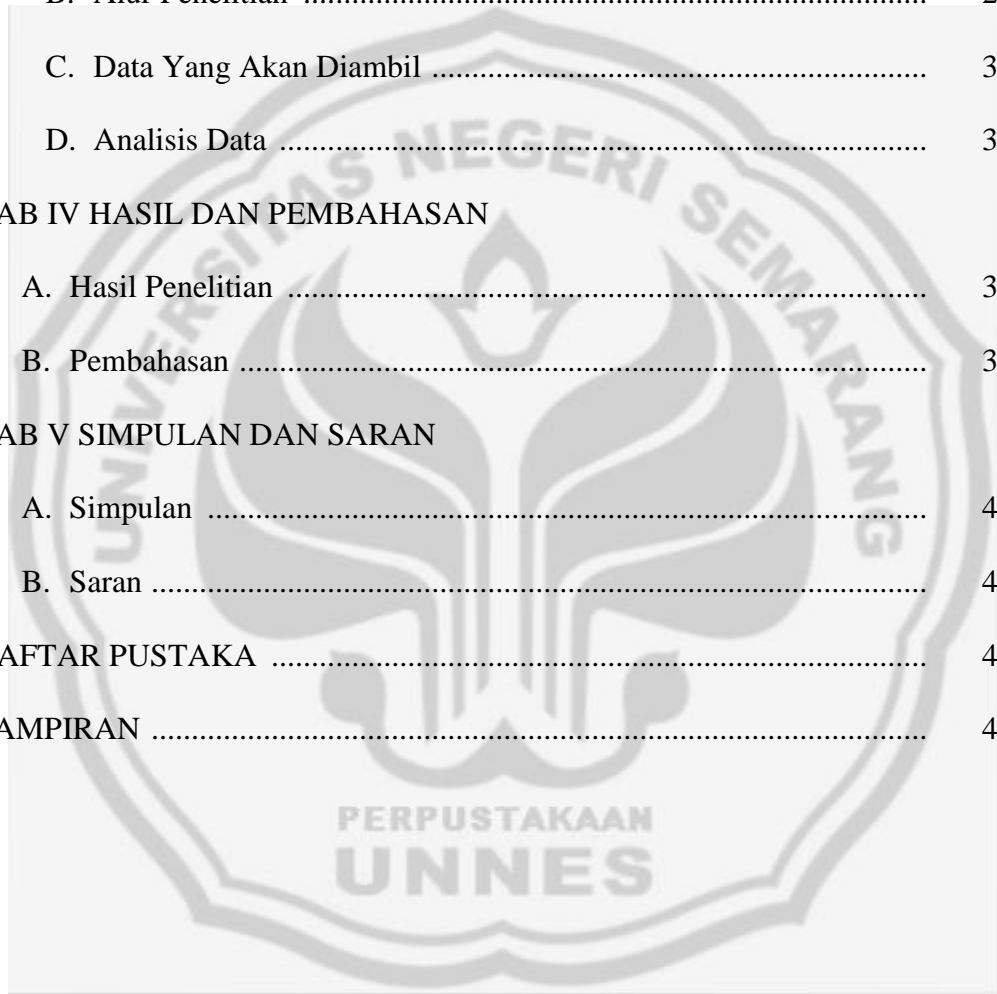
Penulis



DAFTAR ISI

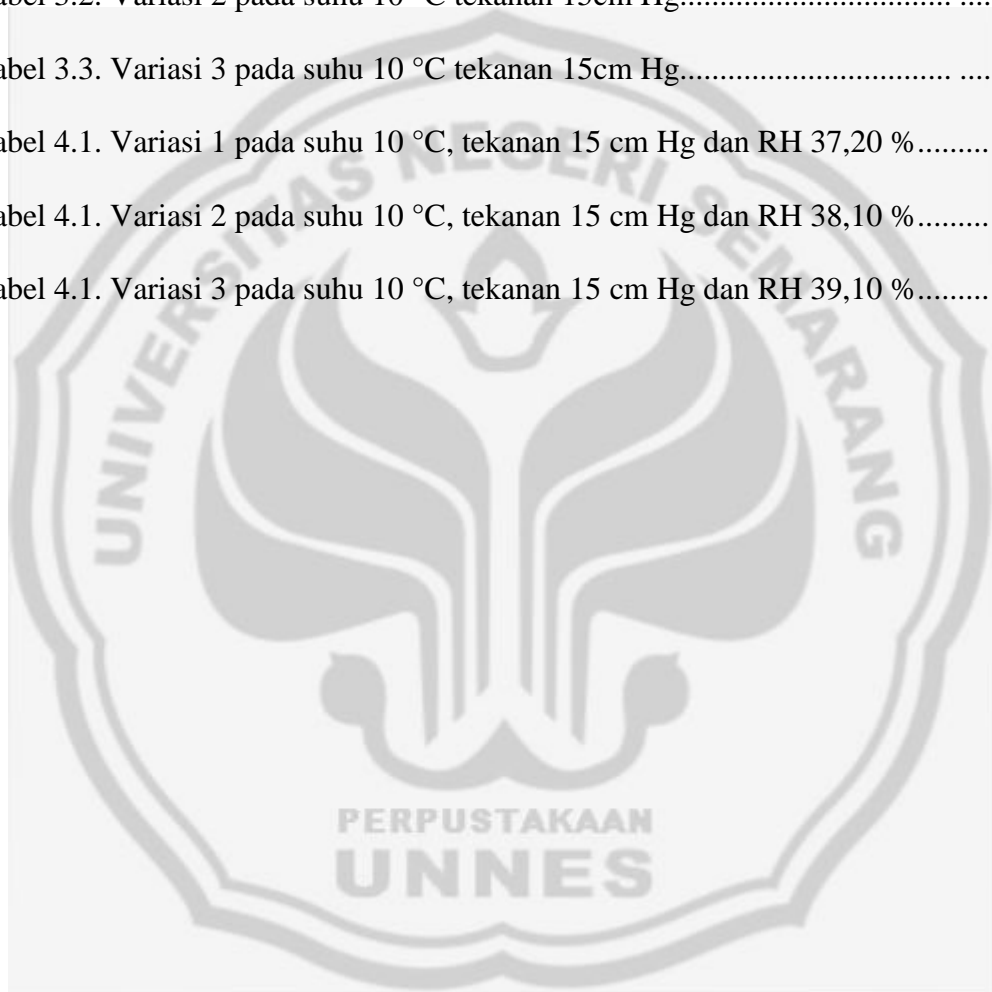
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Batasan Masalah	4
C. Rumusan Masalah	4
D. Tujuan Penelitian	4
E. Manfaat Penelitian	5
F. Penegasan Istilah	5
BAB II LANDASAN TEORI	
A. Macam dan Karakteristik Pengeringan.....	7
B. Proses Dasar AC (<i>Air Conditioning</i>)	8
C. Sifat – Sifat Udara	12
D. Perpindahan Kalor dan Massa	18

E. Proses Pengeringan	20
F. Laju Pengeringan	22
BAB III METODE PENELITIAN	
A. Metode Pengumpulan Data	26
B. Alur Penelitian	29
C. Data Yang Akan Diambil	30
D. Analisis Data	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Hasil Penelitian	31
B. Pembahasan	32
BAB V SIMPULAN DAN SARAN	
A. Simpulan	45
B. Saran	45
DAFTAR PUSTAKA	46
LAMPIRAN	47



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Faktor-faktor yang mempengaruhi mutu produk selama pengeringan..	21
Tabel 3.1. Variasi 1 pada suhu 10 °C tekanan 15cm Hg.....	30
Tabel 3.2. Variasi 2 pada suhu 10 °C tekanan 15cm Hg.....	30
Tabel 3.3. Variasi 3 pada suhu 10 °C tekanan 15cm Hg.....	30
Tabel 4.1. Variasi 1 pada suhu 10 °C, tekanan 15 cm Hg dan RH 37,20 %.....	31
Tabel 4.1. Variasi 2 pada suhu 10 °C, tekanan 15 cm Hg dan RH 38,10 %.....	31
Tabel 4.1. Variasi 3 pada suhu 10 °C, tekanan 15 cm Hg dan RH 39,10 %.....	31



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Basic Psicometric Process</i>	9
Gambar 2.2 Diagram Psikometrik	10
Gambar 2.3 Garis kelembaban relatif	12
Gambar 2.4 Rasio kelembaban	13
Gambar 2.5 <i>Slink Psychrometer</i>	15
Gambar 2.6 Grafik proses perubahan wujud.....	16
Gambar 2.7 Kurva laju pengeringan	24
Gambar 3.1 Skematik alat <i>Low temperature drying</i>	26
Gambar 3.2. Bagan alur penelitian	29
Gambar 4.1 Grafik hubungan antara suhu dengan kelembaban udara	32
Gambar 4.2 <i>Psikometric chart</i> untuk variasi I.....	33
Gambar 4.3 Simulasi <i>Psikometric chart</i> untuk variasi II	33
Gambar 4.4 Simulasi <i>Psikometric chart</i> untuk variasi III	34
Gambar 4.5 Grafik hubungan waktu dengan perubahan massa	35
Gambar 4.6 Grafik hubungan antara waktu dengan prosentase perubahan massa	38
Gambar 4.7 Grafik hubungan antara selang waktu dengan laju perpindahan massa	39
Gambar 4.8 Grafik hubungan waktu dengan perubahan massa pada pengeringan sinar matahari dan <i>low temperature drying</i>	39

Gambar 4.9 Grafik hubungan waktu dengan prosentase perubahan massa
pada pengeringan sinar matahari dan *low temperature drying*.. 40

Gambar 4.10 Grafik hubungan waktu dengan laju perpindahan massa
pada pengeringan sinar matahari dan *low temperature drying* 41

Gambar 4.11. Pengeringan dengan sinar Matahari 42

Gambar 4.12. Pengeringan dengan *low temperature drying*..... 43



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi alur penelitian..

Lampiran 2. Dokumentasi pada saat penimbangan bahan (Cabai Merah) 15 °C.

Lampiran 3. Dokumentasi pada saat penimbangan bahan (Cabai Merah) 20 °C.



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Proses pengeringan untuk industri bahan pangan terus berkembang hingga dekade terakhir. Tujuan pengeringan bahan makanan adalah mengurangi kadar air bahan sampai batas dimana perkembangan mikroorganisme dan kegiatan enzim yang dapat menyebabkan pembusukan terhambat atau terhenti. Bahan yang dikeringkan dapat mempunyai waktu simpan yang lebih lama sehingga bahan pangan menjadi lebih awet dan volume bahan pangan menjadi lebih kecil. Hasil dari proses pengeringan mampu mengubah dimensi bahan sehingga mempermudah dan menghemat ruang pengangkutan, pengepakan, berat bahan menjadi kurang dan mempermudah transportasi.

Proses pengeringan yang dilakukan industri kecil selama ini dengan menjemur di area terbuka dengan memanfaatkan sinar matahari sehingga proses pengeringan tergantung pada cuaca, pada saat musim kemarau intensitas cahaya matahari tinggi sehingga mampu mengeringkan bahan makanan dalam jumlah banyak. Pengusaha merugi dan masalah muncul saat musim penghujan, hasil pertanian sekitar melimpah tetapi cuaca tidak mendukung untuk pengeringan, sehingga terjadi ketimpangan yaitu pertama ketimpangan antara kapasitas produksi yang rendah dan permintaan pelanggan yang tinggi dan yang kedua ketimpangan antara hasil pertanian

sekitar yang melimpah tetapi tidak mendukung untuk mengeringkan bahan makanan tersebut.

Kondisi tersebut mengakibatkan hilangnya kesempatan yang akhirnya tidak dapat diraih oleh pengusaha. Kesempatan tersebut adalah kesempatan untuk mendapatkan nilai keuntungan yang lebih besar jika dapat menggunakan bahan makanan basah hasil pertanian setempat. Pengusaha harus membeli bahan baku kering dari luar daerah yang menjadikan biaya produksinya lebih tinggi. Perbaikan proses produksi terutama pada proses pengeringan perlu dikembangkan, dimana proses pengeringan yang lebih efektif, murah, dan mudah pengoperasiannya untuk meningkatkan kualitas dan kapasitas produksi tanpa tergantung musim.

Keunggulan teknologi pengeringan dengan mengontrol suhu dan kelembapan diantaranya bisa dilakukan setiap saat tanpa pengaruh kondisi cuaca, kualitas produk dan kandungan air lebih konsisten, terhindar dari bahan-bahan pengawet yang berbahaya, dan produk lebih bersih.

Bahan pangan pada umumnya pada saat dikeringkan berubah warna menjadi kecoklatan. Proses pencoklatan bisa terjadi karena reaksi enzimatis atau nonenzimatis. Pencoklatan karena reaksi enzimatis disebabkan enzim felonase kontak dengan oksigen dan udara sehingga mengubah fenolik menjadi metanin yang berwarna coklat. Pencoklatan akibat faktor nonenzimatis merupakan perubahan warna karena pengolahan akibat panas (Apandi, dikutip oleh Astuti S.M. 2008). Perpindahan panas pada proses pengeringan terjadi karena suhu bahan pangan lebih rendah dari pada suhu

udara sekelilingnya. Panas yang diberikan ke dalam bahan pangan akan menaikkan suhu bahan dan menyebabkan tekanan uap dalam bahan lebih tinggi dari pada tekanan uap di udara sehingga terjadi laju perpindahan massa (Toib, dikutip oleh Astuti S.M. 2007).

Proses pengeringan pada umumnya merupakan langkah terakhir dari suatu bahan yang rentan panas, misalnya Vitamin C biasanya diperlukan penanganan secara khusus yaitu pengeringan pada suhu rendah, supaya kerusakan akibat adanya panas dapat ditekan seminimal mungkin (Pawignya, Solisttyo, Supranto. 1998: 542). Cabai merupakan salah satu komoditas sayuran penting yang memiliki peluang bisnis prospektif. Pada buah cabai terkandung beberapa vitamin. Salah satu vitamin dalam buah cabai adalah vitamin C (asam askorbat). Vitamin C berperan sebagai antioksidan yang kuat yang dapat melindungi sel dari penyebab kanker, dan secara khusus mampu meningkatkan daya serap tubuh atas kalsium (mineral untuk pertumbuhan gigi dan tulang) serta zat besi dari bahan makanan lain.

Efisiensi pengeringan dan kualitas hasil pengawetan (kandungan gizi, tekstur, warna dan aroma) menjadi pertimbangan penting dalam proses pengeringan bahan pangan. Pemanfaatan pengeringan dengan temperatur rendah diperlukan alat yang disebut dengan *low temperature drying*. Pengoperasian alat tersebut diperlukan *setting* yang pas antara tekanan dan suhu agar diperoleh pengkondisian udara yang ideal untuk efisiensi pengeringan dan kualitas pengeringan bahan makanan yang baik. Penelitian ini akan mencari suhu optimal yang di pakai pada tekanan yang sudah

ditentukan untuk mengetahui laju perpindahan massa sehingga dapat diketahui efisiensi laju perubahan massa dari alat tersebut, serta tetap menjaga kualitas bahan makanan.

B. Batasan Masalah

Permasalahan dalam penelitian ini supaya menjadi jelas dan tidak menyimpang dari tujuan yang telah ditetapkan maka peneliti perlu membatasi masalah yang akan diangkat dalam penelitian ini yaitu pengaruh suhu terhadap laju perubahan massa pada proses pengeringan dengan temperatur rendah (*Low Temperature Drying*).

C. RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan uraian diatas maka dapat diketahui permasalahan yaitu bagaimanakah pengaruh suhu terhadap laju perubahan massa pada proses pengeringan dengan metode temperatur rendah (*Low Temperature Drying*)?

D. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan yang ingin dicapai atau diharapkan adalah untuk mengetahui pengaruh suhu terhadap laju perubahan massa pada proses pengeringan dengan metode temperatur rendah (*Low Temperature Drying*).

E. MANFAAT

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat kepada pihak lain diantaranya :

1. Bagi peneliti : mendapatkan pengetahuan tentang cara pengeringan yang efektif dan efisien serta mendapatkan pengetahuan tentang cara pengeringan dengan temperature rendah.
2. Bagi pembaca : menambah pengetahuan pembaca tentang sebuah alat yang digunakan untuk pengeringan bahan makanan yang mempunyai teknologi yang lebih maju.
3. Bagi masyarakat : sebagai bisnis baru bagi masyarakat yang ingin mengembangkan kemampuannya di bidang kewirausahaan dengan membuat sebuah *home industri* tempat pengeringan bahan makanan.

F. PENEGASAN ISTILAH

Supaya tidak terjadi salah penafsiran dalam penelitian ini, ada beberapa istilah yang perlu dijelaskan sehingga penulis perlu mempertegas maksud dalam judul “PENGARUH SUHU TERHADAP LAJU PERUBAHAN MASSA PADA PROSES PENGERINGAN DENGAN METODE TEMPERATUR RENDAH (*LOW TEMPERATURE DRYING*)”

1. Pengaruh adalah data yang ada atau timbul dari sesuatu (orang, benda dan sebagainya) yang berkuasa atau berkekuatan. (Poerwadarminta, 1976 : 664). Pengaruh dalam penelitian ini adalah hubungan yang

mempengaruhi antara suhu dengan laju perubahan massa pada proses pengeringan bahan makanan.

2. Suhu adalah besaran yang menyatakan derajat panas dingin suatu benda dan alat yang digunakan untuk mengukur suhu adalah thermometer.
3. Laju pindah massa atau konstanta laju pengeringan adalah merupakan sebuah besaran yang menyatakan tingkat kecepatan air atau massa air untuk terdifusi keluar meninggalkan bahan yang dikeringkan (Wartono 1997).
4. Metode adalah: cara yang teratur dan terpikir baik-baik untuk mencapai maksud atau cara kerja yang bersistem untuk memudahkan pelaksanaan suatu kegiatan dalam mencapai tujuan yang telah ditentukan. (Djajasudarma 1993:1)
5. Pengeringan dengan suhu rendah (*low temperature drying*) adalah Proses pengeringan dengan memanfaatkan *Air Conditioning* yang digunakan untuk mengeringkan bahan makanan tertentu dengan menggunakan suhu rendah.

BAB II

LANDASAN TEORI

A. Macam dan Karakteristik Pengeringan

Menurut Ramelan dikutip oleh Atmaka dan Kawiji (2006), kecepatan udara pengering, suhu dan kelembaban udara merupakan faktor yang menentukan proses pengeringan, demikian juga sifat bahan yang dikeringkan seperti kadar air awal, ukuran produk dan tekanan partial bahan akan mempengaruhi proses pengeringan. Suhu dan kecepatan aliran udara yang tinggi akan mempercepat proses pengeringan. Pengeringan yang sering kita jumpai ada dua macam, yaitu:

1. Pengeringan Temperatur Tinggi

Teknologi pengeringan bahan makanan yang dilakukan adalah dengan memanaskan bahan pada tempat tertentu sehingga kandungan air dalam bahan mampu menguap dan terbunuhnya mikroorganisme pembusuk dalam bahan pangan. Pengeringan dilakukan pada suhu diatas 65 °C (Widyani R, 2008). Menurut Widyani R (2008) bakteri yang berada pada bahan makanan dalam bentuk vegetatifnya akan mati pada suhu 82 °C - 94 °C, tetapi sporan bakteri masih bertahan pada suhu mendidih 100 °C selama 30 menit. Bahan pangan yang dikeringkan dengan metode temperatur tinggi mempunyai nilai gizi yang lebih rendah dibandingkan dengan bahan segarnya. Selama proses pengeringan dapat terjadi perubahan warna, tekstur, dan aroma.

Umumnya bahan pangan yang dikeringkan berubah warna menjadi coklat. Proses pengeringan dilakukan pada temperatur yang terlalu tinggi, maka dapat terjadi *case hardening* yaitu keadaan bagian luar bahan sudah kering, sedangkan bagian dalamnya masih basah, kerusakan bahan pangan dan menyebabkan kerusakan protein, emulsi vitamin dan lemak.

2. Pengeringan Temperatur Rendah

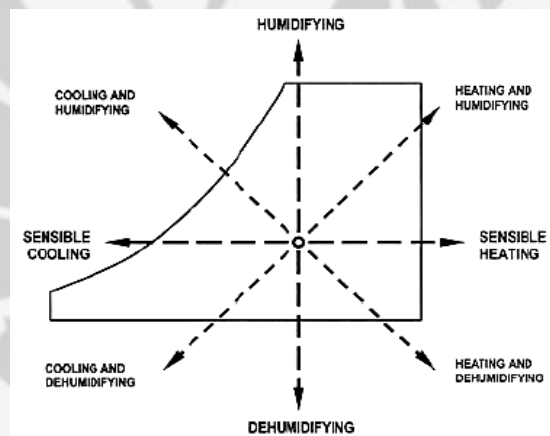
Teknologi pengeringan bahan makanan yang dilakukan adalah dengan menggunakan temperatur rendah dan mengkondisikan udara pada tempat tertentu sehingga kandungan air dalam bahan berpindah ke lingkungan. Pengeringan dilakukan pada suhu diatas 65°C (Widyani R, 2008). Bahan pangan yang dikeringkan dengan metode temperatur rendah mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan dengan menggunakan temperatur tinggi yaitu nilai gizi yang lebih terjaga dan menyerupai dengan bahan segarnya. Warna, tekstur, dan aroma yang lebih menarik, nilai ekonomis yang dihasilkan juga lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan temperatur tinggi.

B. Proses dasar AC (*Air Conditioning*)

1. Sistem AC (*Air Conditioning*)

Air conditioning (pengkondisian udara) adalah pengaturan kondisi udara yang meliputi temperatur, kelembaban, sirkulasi dan kualitas. Pemanfaatan *air conditioning* untuk proses produksi telah

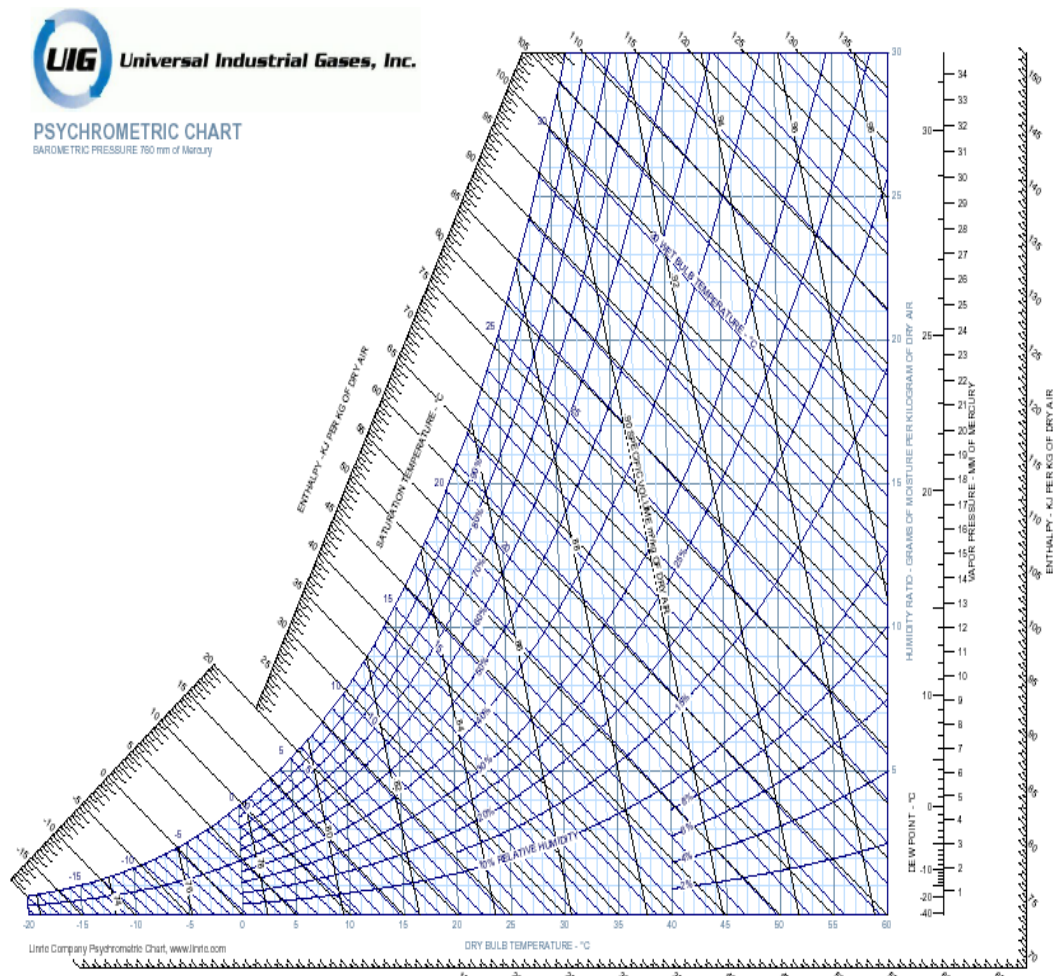
banyak diaplikasikan, yang sering kita jumpai sebagai alat pendingin ruangan. Proses dasar *air conditioning* meliputi *sensible heating, heating and dehumidifying, sensible cooling, cooling and dehumidifying, dehumidifying, heating and dehumidifying, humidifying*. Proses *cooling and dehumidifying* bisa dimanfaatkan untuk proses pengeringan suatu bahan dengan memanfaatkan proses *cooling* dan *dehumidifying*. Laju perpindahan massa pada proses pengeringan tergantung pada koefisien difusifitas, semakin besar angka koefisien difusifitas proses pengeringan semakin cepat.



Gambar 2.1. *Basic psychrometric process*

2. Diagram Psikometrik

Psikometrik adalah ilmu yang mempelajari tentang sifat termodinamika pada variasi temperatur dan tekanan. Diagram psikometrik dapat dipakai sebagai dasar bagaimana cara mengkondisikan udara agar diperoleh sifat udara yang akan digunakan dalam proses pengeringan bahan makanan, pada gambar 2.2 menunjukkan diagram psikometrik:



Gambar 2.2. Diagram Psikometrik

3. Udara Basah

Udara berada di atas permukaan lapisan bumi disebut dengan atmosfer, atau atmosfer udara. Atmosfer bertekanan rendah (*lower atmosfer*) atau homosphere, terdiri dari udara basah (*moist air*), dimana terdiri dari campuran uap air dan udara kering. Psikometrik adalah ilmu yang mempelajari sifat-sifat termodinamika dari udara basah, secara umum digunakan untuk mengilustrasikan ataupun menganalisa perubahan sifat termal dan karakteristik dari proses serta siklus sistem

penyegaran udara (*air conditioning*). Komposisi dari udara kering berbeda-beda tergantung dari letak geografis dan perubahan waktu ke waktu. Komposisi udara kering diperkirakan berdasarkan volumenya terdiri dari 79.08 % Nitrogen, 20.95 % Oksigen, 0.93 % Argon, 0.03 % Karbon Dioksida, 0.01 % lain-lain gas (seperti neon, sulfur dioksida). Kandungan uap air pada udara basah antara temperatur 0 – 100°F tidak lebih dari 0.05 – 3 %. Variasi uap air pada udara basah besar pengaruhnya terhadap karakteristik dari udara basah tersebut. Persamaan keadaan untuk gas ideal digambarkan ada hubungannya dengan sifat-sifat termodinamika yaitu :

$$pv = RT_R$$

atau

$$pV = mRT_R$$

dengan :

p : tekanan gas (psi, atm)

v : volume spesifik (ft³/lb)

R : konstanta gas (ft lbf/lbm oR)

RT: temperatur absolut gas (oR)

V : volume gas (ft³)

m : massa gas (lb)

Perhitungan secara eksak dengan mempergunakan sifat-sifat termodinamika udara basah berdasarkan persamaan gas ideal yang direkomendasikan antara temperatur 0 – 100°F, perhitungan entalpi dan volume spesifik dengan mempergunakan persamaan gas ideal

menunjukkan standar deviasi maksimum sebesar 0.5 % dari hasil perhitungan secara eksak.

Penggunakan hukum Dalton untuk udara basah :

$$p_{at} = p_a + p_w \quad \text{dengan :}$$

p_{at} : tekanan atmosfer dari udara basah (psia)

p_a : tekanan udara kering (psia)

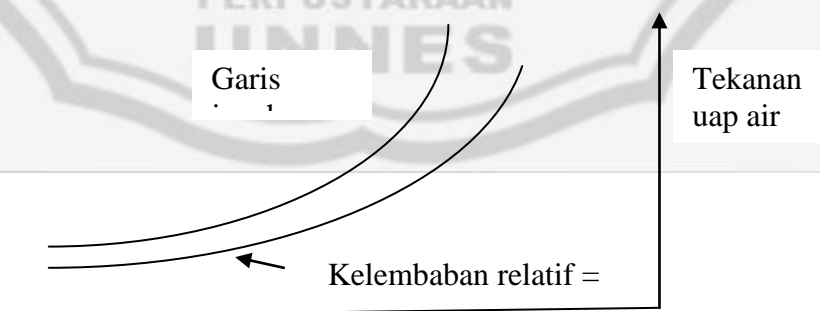
p_w : tekanan uap air (psia)

C. Sifat-Sifat Udara

1. Kelembaban Relatif (*Relative Humidity*)

Kelembaban relatif didefinisikan sebagai perbandingan fraksi molekul uap air didalam udara basah terhadap fraksi molekul uap air jenuh pada suhu dan tekanan yang sama, dari hubungan-hubungan untuk gas ideal dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\text{Kelembaban relatif}(\varphi) = \frac{\text{Tekanan Uap Air Parsial}}{\text{Tekanan Air Murni Pada Suhu yang Sama}}$$



Gambar 2.3. Garis kelembaban relatif

Garis-garis kelembaban relatif konstan digambarkan pada Gambar 2.3, dengan mengukur jarak vertikal antara garis jenuh dan alas

bagan, misal untuk kelembaban 50 % ordinatnya separuh tinggi garis jenuh pada suhu yang sama.

2. Rasio Kelembaban (*Humidity Ratio*)

Rasio kelembaban adalah berat atau massa air yang terkandung dalam setiap kilogram udara kering. Penghitungan rasio kelembaban dapat digunakan persamaan gas ideal dengan anggapan bahwa uap air dan udara dianggap gas ideal. Udara dianggap gas ideal karena suhunya lebih tinggi dibanding dengan suhu jenuhnya dan uap air dianggap gas ideal kerana tekananya cukup rendah dibanding dengan tekanan jenuhnya. Maka persamaanya mengikuti:

$$pv = RT$$

Mensubtitusikan nilai numeris Ra dan Rs kedalam persamaan diatas maka menjadi:

$$W = \frac{\text{Massa Uap Air}}{\text{Massa Udara Kering}}$$

$$W = \frac{p_s V / R_s T}{p_a V / R_a T} = \frac{p_s / R_s}{p_a / R_a}$$

$$W = \frac{287 p_s}{461,5 (p_t - p_s)} = 0.622 \frac{p_s}{p_t - p_s}$$

Keterangan:

W : Rasio kelembaban (kg uap air/kg udara kering)

V : Volume sembarang campuran udara uap, m³

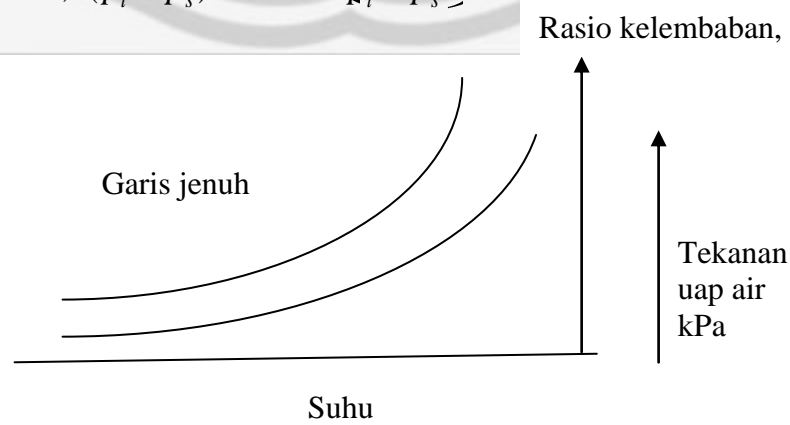
p_t : tekanan atmosferik = p_a + p_s, Pa

p_{ab} : Tekanan parsial udara kering, Pa

R_a : Tetapan gas untuk udara kering = 287 J/kg. K

R_s : tetapan gas untuk uap air = 461,5 J/kg.K

P_s : tekanan parsial uap air dalam keadaan jenuh



Gambar 2.4. rasio kelembaban

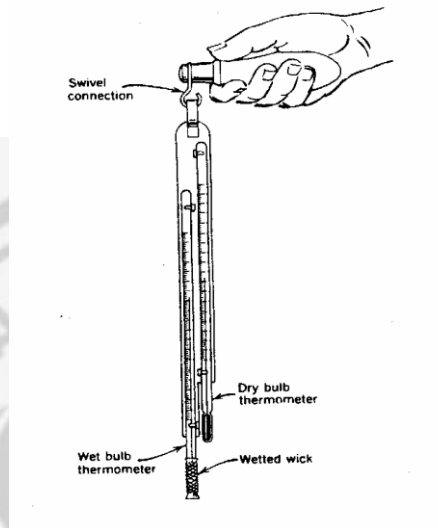
3. Suhu Bola Kering dan Suhu Bola Basah

Termometer yang lazim digunakan untuk mengukur suhu adalah termometer bola kering. Sensor panas (*bulb*) Termometer yang digunakan untuk mengukur suhu dijaga dalam kondisi kering maka termometernya disebut sebagai termometer bola kering.

Hasil pengukuran suhu dengan alat ini disebut sebagai suhu bolakering. Suhu dikatakan pada keadaan biasa apabila ukuran suhu tersebut tidak diberi penjelasan khusus maka dianggap sebagai ukuran bola kering, contoh : 20°C bola kering atau cukup dengan : 20°C , bila sensor panas (*bulb*) termometer yang digunakan sengaja dikondisikan menjadi basah, yaitu sengaja ditutup oleh kain yang higroskopis maka ukuran suhu yang diperoleh disebut sebagai ukuran suhu bola basah. Kondisi biasa maka adanya cairan yang melingkupi sensor panas ini, maka penunjukan skala suhu bola basah akan lebih rendah dengan penunjukan suhu bola kering, tetapi bila kandungan uap air di udara mencapai titik maksimalnya (titik jenuh) maka penunjukkan kedua jenis termometer tersebut menjadi sama.

Bahan dalam keadaan jenuh maka cairan yang ada disekeliling bulb termometer tidak dapat menguap lagi sehingga penunjukkan termometer basah menjadi sama dengan termometer bolakering. Kondisi udara ruang apabila belum mencapai saturasi maka penunjukkan termometer bola basah selalu lebih rendah dari bola kering, akibat adanya efek penguapan cairan yang terjadi pada termometer bola basah.

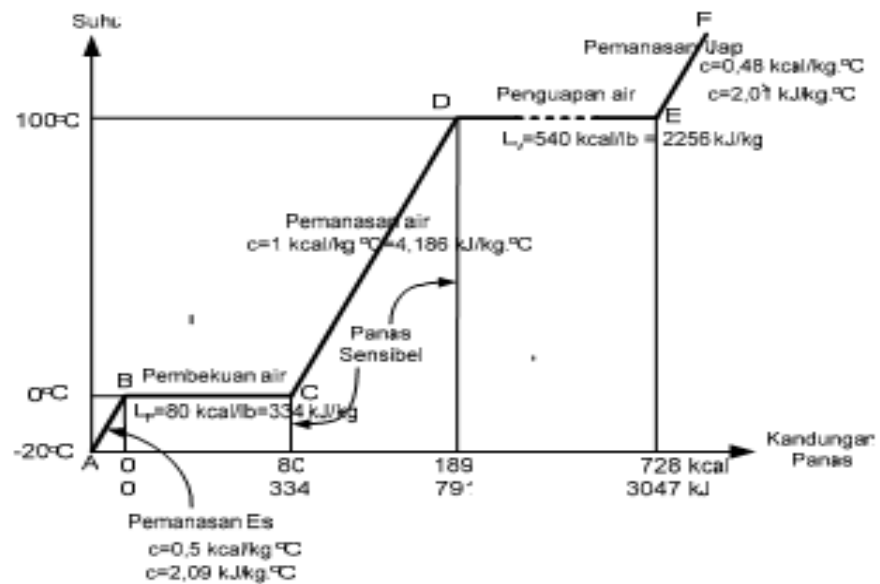
Alat khusus dapat digunakan untuk mengukur bola basah dan bola kering disebut *Slink Psychrometer*.



Gambar 2.5. *Slink Psychrometer*

4. Suhu Saturasi (*Saturation Temperature*)

Suhu di mana suatu fluida (zat cair) merubah dari fase cair menjadi fase uap atau gas, bahkan kebalikannya, yaitu dari fase gas berubah menjadi fase cair, disebut suhu saturasi dan dapat di lihat pada gambar 2.6 grafik proses perubahan wujud berikut ini:



Gambar 2.6. Grafik proses perubahan wujud

Liquid yang berada pada suhu saturasi disebut liquid saturasi dan uap atau gas yang berada pada suhu saturasi disebut uap saturasi, satu hal penting yang perlu diketahui adalah suhu saturasi untuk liquid (suhu dimana liquid akan menguap) dan suhu saturasi uap (suhu dimana uap mulai mengembun) adalah sama pada suatu tekanan tertentu. Suhu saturasi adalah suhu maksimum liquid dan suhu minimum uap yang dapat dicapai. Usaha untuk menaikkan suhu liquid di atas suhu saturasi hanya akan menyebabkan menguapnya beberapa bagian dari liquid. Kejadian yang sama akan terjadi, bila adanya upaya untuk menurunkan suhu uap di bawah suhu saturasi uap, hanya akan menyebabkan beberapa bagian uap mengembun.

5. Volume Jenis

Volume jenis adalah perbandingan antara volume dengan massa zat, dapat dirumuskan:

$$\vartheta = \frac{V}{m}$$

Dimana: ϑ = Volume jenis (m^3/kg)

V = Volume (m^3)

m = massa (kg)

6. Entalphy

Entalphy adalah kandungan panas yang terkandung dalam dalam zat. Setiap zat yang ada di bumi ini pasti mempunyai entalphy atau energi panas yang terkandung. Entalphy memiliki satuan kilojoule/kilogram $^{\circ}\text{K}$.

7. Pengukuran Kelembaban

Kelembaban suatu aliran massa gas didapatkan dengan mengukur titik embun atau temperatur bola basah atau dengan cara absorpsi langsung.

8. Metoda Titik Embun

Sebuah piring mengkilap yang dingin apabila dimasukkan ke dalam gas yang kelembabannya tidak diketahui dan temperatur piringan itu berangsur-angsur diturunkan, sehingga piringan tersebut akan mencapai temperatur dimana terjadi kondensasi kabut pada permukaan mengkilap itu pada waktu kabut itu pertama kali terbentuk, dan titik tersebut adalah titik embun. Temperatur adalah temperatur

kesetimbangan antara uap di dalam fasa gas dan fasa cair. Skala termometer diperiksa sambil menaikkan temperatur piringin itu perlahan-lahan dan mencatat temperatur dimana kabut menghilang. Kelembaban lalu dibaca dari grafik kelembaban pada temperatur rata-rata di mana kabut tersebut mulai terbentuk dan temperatur di mana kabut mulai menghilang.

9. Metoda Psikrometrik

Suatu cara yang umum digunakan untuk mengukur kelembaban adalah dengan menentukan temperatur bola basah dan temperatur bola kering secara bersamaan. Kelembaban didapatkan dengan menentukan garis psikrometrik yang memotong garis jenuh pada temperatur bola basah.

D. Perpindahan Kalor dan Massa

Proses pengeringan pada dasarnya terjadi transfer massa uap air dari udara menuju lingkungannya. $\rho_{H_2O,s}$ adalah densitas uap air pada permukaan zat H_2O,f adalah densitas uap air *free steam*, dimana $\rho_{H_2O,s} \neq \rho_{H_2O,f}$, maka akan terjadi transfer massa uap air antara udara dengan zat tersebut, jika n''_{H_2O} adalah fluks massa dan n_{H_2O} kecepatan transfer massa, maka:

$$n''_{H_2O} = h_m (\rho_{H_2O,s} - \rho_{H_2O,f}) \quad \text{atau}$$

$$n_{H_2O} = \bar{h}_m A_s (\rho_{H_2O,s} - \rho_{H_2O,f})$$

Hubungan antara h_m dan \bar{h}_m adalah

$$\bar{h}_m = A_s^{-1} \int h_m dA_s$$

dimana :

h_m : koefisien transfer massa lokal

\bar{h}_m : koefisien transfer massa rerata

A_s : luas permukaan kontak

Persamaan transfer massa dapat dilihat bahwa kecepatan transfer massa dipengaruhi oleh H_2O,s dimana secara fisis hal tersebut diwakili oleh kondisi H_2O,f . Luas kontak antara zat dan udara angka koefisien transfer massa rerata semakin besar, ini berarti bahwa semakin besar luas permukaan kontak semakin besar pula jumlah uap air yang terbawa. Perpindahan atau perubahan massa yang terjadi dapat diukur dengan menggunakan rumus.

Laju perpindahan massa konveksi adalah:

$$N_a = h_m \cdot A \cdot (C_{AS} - C_{A^\infty})$$

dimana:

N_a = Laju perpindahan massa (Kmol/s)

h_m = Koefisien perpindahan massa konveksi (m/s)

A = Luas permukaan perpindahan massa (m^2)

C_{AS} = Konsentrasi molar uap air di permukaan material ($Kmol/m^3$)

C_{A^∞} = Konsentrasi molar uap air di udara pengeringan ($Kmol/m^3$)

Perhitungan laju pengeringan:

$$M = (M_0 - M_t) / \Delta t$$

dimana:

M = Laju pengeringan (kg/s)

M_0 = Massa awal bahan (kg)

M_t = Massa akhir bahan (kg)

Δt = Selang waktu pengeringan

$$= t_{\text{awal}} - t_{\text{akhir}} \text{ (s)}$$

(Suarnadwipa N. dan Hendra W, 2008: 31)

E. Proses Pengeringan

Proses pengeringan hasil pertanian adalah suatu proses pengeluaran atau menghilangkan sebagian air dari suatu bahan sampai kadar air keseimbangan dengan udara lingkungan atau sampai kadar air tertentu dimana jamur, enzim dan serangga yang bersifat merusak tidak dapat lagi aktif (Hall, dikutip oleh Siallagan B. 2009).

Pengeringan pada dasarnya adalah terjadinya penguapan air dari bahan ke udara karena perbedaan kandungan uap air antara udara dengan bahan yang dikeringkan. Udara dalam hal ini mengandung uap air atau kelembapan nisbi yang lebih rendah sehingga terjadi penguapan (Taib *et al.*, dikutip oleh Siallagan B. 2009).

Pengeringan menyangkut perpindahan massa (uap) dari bahan dan energi panas ke bahan secara simultan. Proses pindah panas yang terjadi dari

lingkungan sekitar bahan akan menguapkan air dipermukaan bahan. Air dapat dipindahkan ke permukaan produk dan kemudian diuapkan, atau secara internal pada sebuah interfasa uap dan cair, kemudian dibawa sebagai uap ke permukaan (Okos *et al.*, dikutip oleh Siallagan B. 2009).

Menurut Canovas dan Mercoda, dikutip oleh Siallagan B. (2009) menyebutkan enam mekanisme fisik untuk penjelasan gerakan air di dalam bahan, yaitu 1) gerakan cairan karena gaya permukaan (aliran kapiler), 2) difusi cairan karena adanya perbedaan konsentrasi, 3) difusi permukaan, 4) difusi uap air di dalam pori-pori yang berisi udara, 5) aliran karena adanya perbedaan tekanan, 6) aliran karena terjadinya penguapan dan kondensasi. Pada proses pengeringan, udara pengering sangat berpengaruh terutama suhu, kelembapan relatif dan kecepatan aliran udara.

Proses pengeringan dapat mempengaruhi mutu produk yang dikeringkan. Pada tabel 1 dapat dilihat bahwa pengeringan dapat merubah sifat-sifat kimiawi, fisik maupun nilai gizi dari bahan yang dikeringkan.

Tabel 2.1. Faktor yang mempengaruhi mutu produk selama pengeringan

Kimiawi	Fisik	Nilai gizi
Reaksi pencoklatan	Rehidrasi	Kehilangan vitamin
Oksidasi lemak	Kelaputan	Kerusakan protein
Kehilangan warna	Tekstur	Kerusakan mikrobiologis
	Kehilangan aroma	

(Okos *et al.*, 1992 dikutip oleh Siallagan B.)

Pengaruh proses pengeringan terhadap mutu produk kering terutama oleh penggunaan suhu yang tinggi dan nilai aktifitas air dari produk yang dikeringkan.

Alat pengering untuk produk pertanian diantaranya adalah oven kabinet, pengering semprot, pengering drum, pengering vakum, dan pengering beku (Aman *et al.* dikutip oleh Astuti S.M. 2007).

Pengeringan dengan tekanan vakum yang tinggi dan suhu beku dapat menghasilkan produk dengan tekstur, warna, rehidrasi, serta parameter lain yang baik (Eshtiaghi *etal.* dikutip oleh Astuti S.M. 2008). Pengeringan beku dapat mempertahankan kandungan tokoferol (Manullang dan Mercylia 1995 dikutip oleh Astuti S.M.).

Pengeringan vakum merupakan salah satu cara pengeringan bahan dalam suatu ruangan yang tekanannya lebih rendah dibanding tekanan udara atmosfer. Pengeringan dapat berlangsung walaupun pada suhu yang lebih rendah, dengan tekanan uap air dalam udara yang lebih rendah, air pada bahan akan menguap pada suhu rendah (Aman *et al.* dikutip oleh Astuti S.M. 2008).

Pengeringan cabai dengan tekanan vakum dan suhu rendah akan memberikan manfaat kepada petani atau pengusaha, dan dapat menghasilkan cabai kering bermutu tinggi sehingga menambah nilai ekonomi, serta cabai dapat disimpan lebih lama dibandingkan pengeringan dengan dijemur diterik matahari.

F. Laju Pengeringan

Laju pengeringan dalam proses pengeringan suatu bahan mempunyai arti penting, dimana laju pengeringan akan menggambarkan bagaimana kecepatan pengeringan itu berlangsung. Laju pengeringan dinyatakan dengan berat air yang diuapkan per satuan berat kering per jam (Muljoharjo, dikutip oleh Siallagan B. 2009).

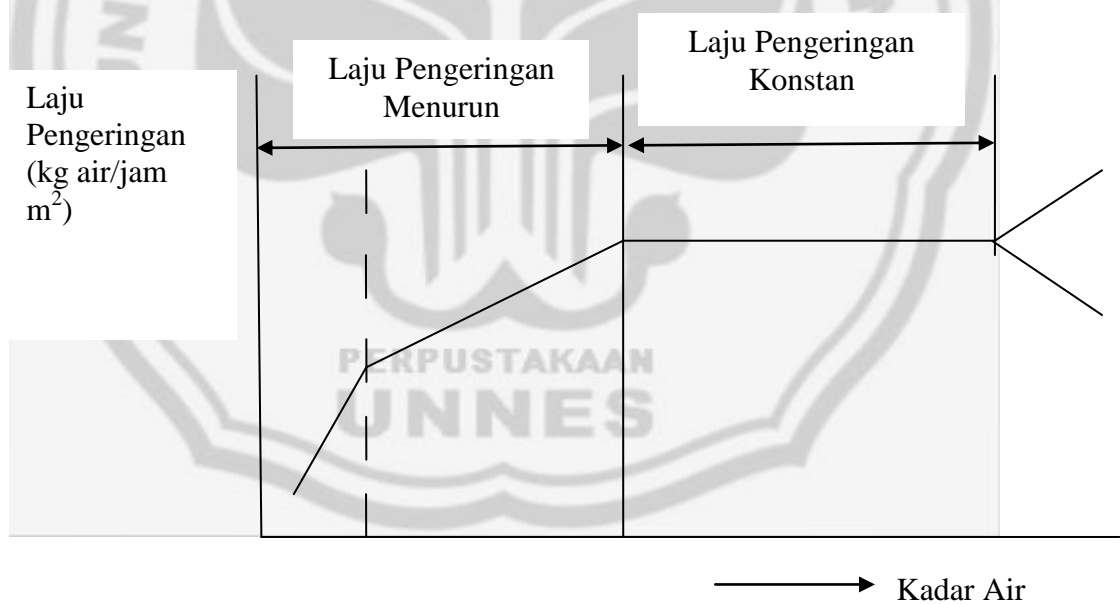
Air yang dapat diuapkan dari bahan yang akan dikeringkan terdiri dari air bebas dan air terikat. Air bebas berada di permukaan dan yang pertama kali mengalami penguapan. Laju penguapan air bebas sebanding dengan perbedaan tekanan uap pada permukaan air terhadap uap air pengering (Henderson dan Pabis, dikutip oleh Siallagan B. 2009).

Setelah air permukaan habis, maka selanjutnya difusi air dan uap air dari bagian dalam bahan terjadi karena perbedaan konsentrasi atau tekanan uap antara bagian dalam dan bagian luar bahan (Henderson dan Perry, dikutip oleh Siallagan B. 2009). Laju pengeringan pada periode ini sebanding dengan perbedaan tekanan uap antara bagian dalam dan luar biji. Laju pengeringan konstan terjadi perbedaan tekanan uapnya konstan juga, tetapi dengan adanya penguapan maka tekanan uap di dalam bahan semakin rendah, oleh karena itu laju pengeringannya semakin menurun .

Kurva laju pengeringan dapat dilihat pada gambar 2.7, periode antara A (atau A') dan B biasanya singkat dan sering diabaikan dalam analisa waktu pengeringan. Periode B-C disebut juga laju pengeringan konstan yang mewakili proses pengeluaran air tidak terikat dari produk yaitu air yang

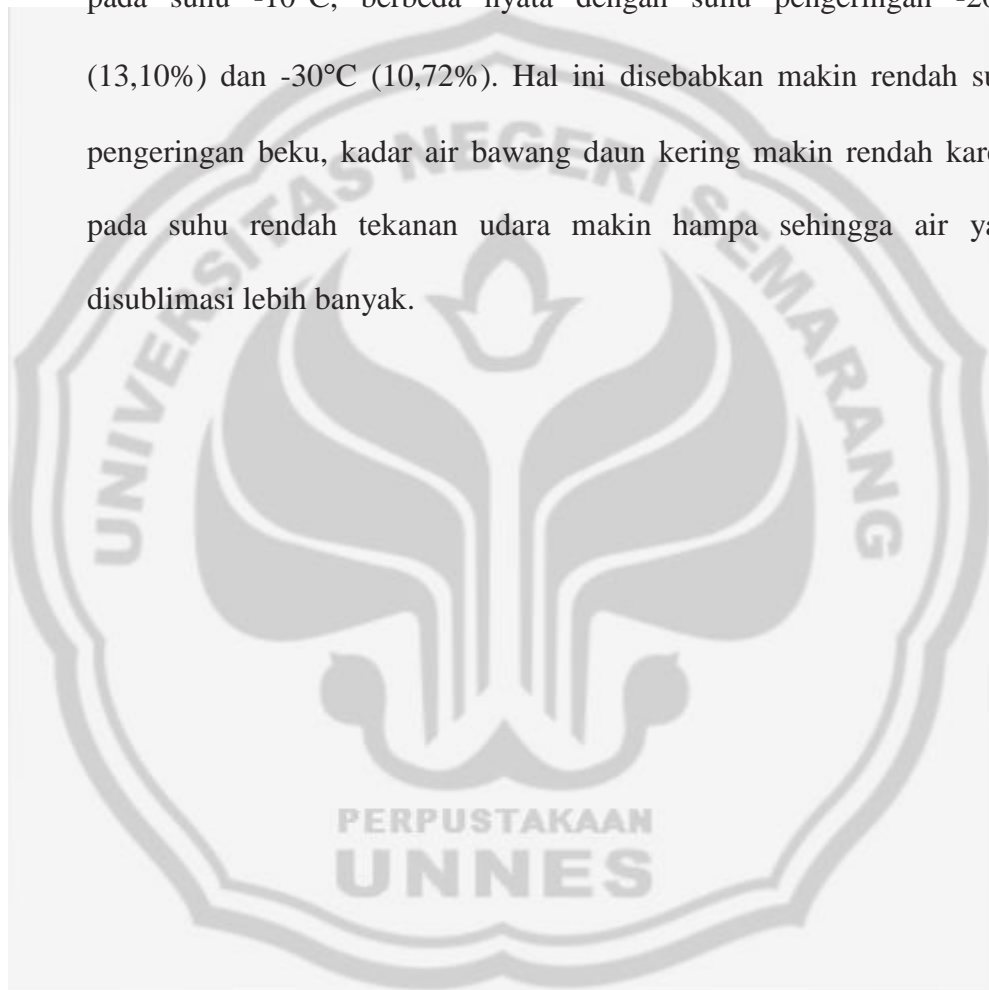
terdapat di permukaan produk. Laju pengeringan konstan terjadi awal proses pengeringan yang kemudian diikuti oleh pengeringan menurun (titik C), kedua periode laju pengering ini dibatasi oleh kadar air kritis (M_c). Periode laju pengeringan menurun dibagi atas dua subperiode yaitu: 1) laju pengeringan menurun I, yang terjadi jika air di permukaan produk sudah habis dan permukaan mulai mengering, 2) laju pengeringan II, dimulai dari titik D ketika permukaan sudah kering sempurna (Geankoplis, dikutip oleh Siallagan B. 2009).

Waktu yang dibutuhkan oleh bahan untuk melewati keempat periode pengeringan ini berbeda-beda tergantung dari kadar air awal bahan dan kondisi pengeringan.



Gambar 2.7. Kurva laju pengeringan

Astuti S.M (2009) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa hasil analisis kadar air menunjukkan terdapat perbedaan nyata antara perlakuan suhu, lama pengeringan, dan interaksi suhu dan lama pengeringan. Kadar air tertinggi (15,82%) dihasilkan pengeringan beku pada suhu -10°C , berbeda nyata dengan suhu pengeringan -20°C (13,10%) dan -30°C (10,72%). Hal ini disebabkan makin rendah suhu pengeringan beku, kadar air bawang daun kering makin rendah karena pada suhu rendah tekanan udara makin hampa sehingga air yang disublimasi lebih banyak.



BAB III

METODE PENELITIAN

A. Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan dengan eksperimen yaitu melakukan pengujian dengan cara melakukan variasi suhu terhadap alat *Low Temperature Drying* sehingga didapat hasil laju pengeringan yang berbeda pada tiap variasinya.

1. Waktu dan tempat Penelitian

Bulan : Juli - Agustus 2011

Tempat : Laboratorium Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Negeri Semarang

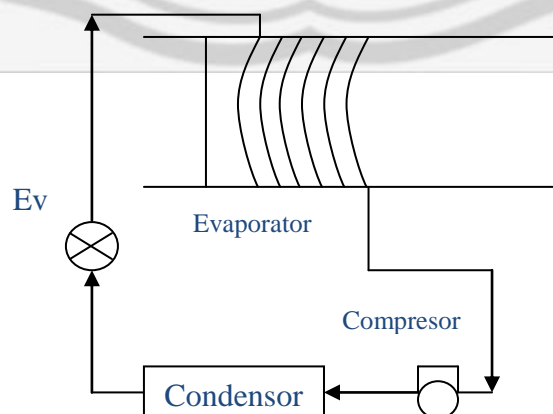
2. Alat dan Bahan

Alat :

a. *Low Temperature Drying*

Spesikasi: 0,25 hp, temperatur min -15°C dan max 30°C

Skema alat dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Skematik alat *Low temperature drying*

- b. Pencatat waktu atau stopwatch (jam tangan)
- c. Timbangan digital (Neraca *digital Ohaus PA 214* dengan ketelitian 1/10.000 gr)
 - a. *Vacum pump* (0,5 hp, 110-115 V/220-250 V, Amp: 5,8-2,3/2,9-2,7)
 - b. *Thermocopel reader* (temperatur: -50°C s/d 70°C , RH: 25-95%)
 - c. *Vacum gauge* (min 0 atm, max 10 atm)

Bahan : Cabai merah (cabai merah jawa)

3. Proses Validasi Alat

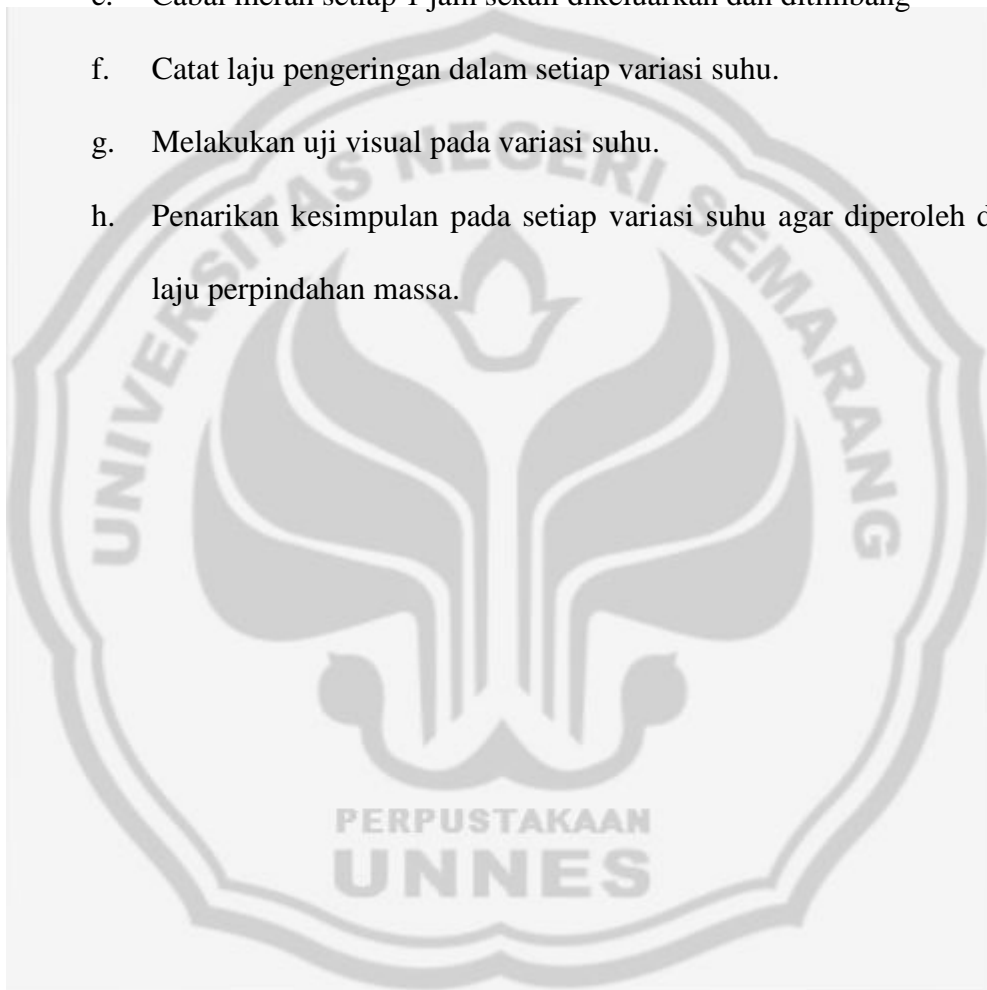
- a. *Thermocopel reader* disiapkan dan sensornya dimasukkan ke dalam alat *Low Temperature Drying*.
- b. Alat *Low Temperature Drying* dihidupkan
- c. Mulai mengatur suhu yang diinginkan (10°C , 15°C , 20°C) dengan menyetel temperature yang ada di alat *Low Temperature Drying*
- d. Tunggu sampai *Thermocopel reader* juga menunjukkan suhu yang sama pada temperature pada alat *Low Temperature Drying*, yaitu kurang lebih 20 menit.
- e. Setelah sudah mencapai suhu yang diinginkan pem vakuman mulai dilakukan.

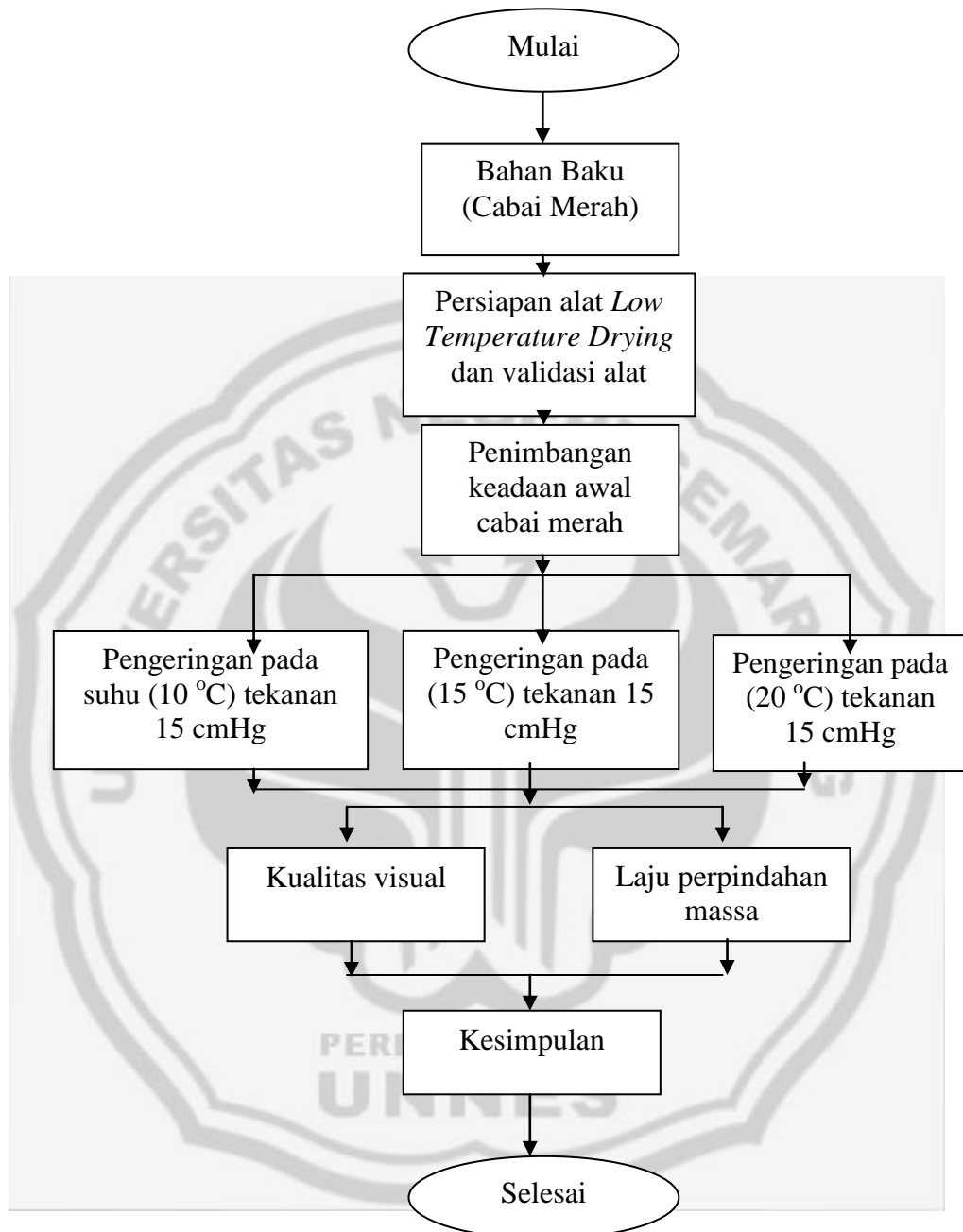
4. Prosedur Penelitian

Langkah-langkah penelitiannya adalah sebagai berikut :

- a. Menyiapkan alat *Low Temperature Drying*
- b. Melakukan penimbangan awal cabai merah dan memasukkannya ke dalam *Low Temperature Drying*.

- c. Menyalakan alat *Low temperature drying*
- d. Atur *variasi* suhu (10°C , 15°C , 20°C) dan setelah sudah mencapai suhu yang diinginkan pem vakuman mulai dilakukan hingga mencapai tekanan 15 atm.
- e. Cabai merah setiap 1 jam sekali dikeluarkan dan ditimbang
- f. Catat laju pengeringan dalam setiap variasi suhu.
- g. Melakukan uji visual pada variasi suhu.
- h. Penarikan kesimpulan pada setiap variasi suhu agar diperoleh data laju perpindahan massa.



B. Alur Penelitian

Gambar 3.2. Bagan alur penelitian

C. Data Yang Akan Diambil

Tabel 3.1. Variasi 1 pada suhu 10 °C tekanan 15cm Hg dan RH%

Keadaan Awal Cabai (gr)	Penimbangan jam ke			
	I	II	III	IV
.....
Perubahan Massa (%)
Rata-rata perubahan massa (gr)			

Tabel 3.2. Variasi 2 pada suhu 15 °C tekanan 15cm Hg dan RH%

Keadaan Awal Cabai (gr)	Penimbangan jam ke			
	I	II	III	IV
.....
Perubahan Massa (%)
Rata-rata perubahan massa (gr)			

Tabel 3.2. Variasi 3 pada suhu 20 °C, tekanan 15cm Hg dan RH%

Keadaan Awal Cabai (gr)	Penimbangan jam ke			
	I	II	III	IV
.....
Perubahan Massa (%)
Rata-rata perubahan massa (gr)			

D. Analisis Data

Data yang didapat dari hasil eksperimen nantinya akan berupa angka-angka dan kemudian akan dianalisis dengan bantuan *software microsoft office excel* dan kemudian data tersebut digambarkan dalam bentuk tabel dan grafik yang menunjukkan hubungan antara suhu dengan kelembaban udara, suhu dengan laju perpindahan massa.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

Data hasil pengujian analisis perpindahan massa dengan menggunakan *low temperature drying* di Laboratorium Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang:

Tabel 4.1. Variasi 1 pada suhu 10 °C, tekanan 15 cm Hg dan RH 37,20 %

Keadaan Awal Cabai (gram)	Penimbangan jam ke			
	I	II	III	IV
3,772	3,673	3,5992	3,5225	3,3434
Perubahan Massa (%)	2,62 %	4,58 %	6,61 %	11,36 %
Rata-rata perubahan massa (gr)	0,10715			

Tabel 4.2. Variasi 2 pada suhu 15 °C, tekanan 15 cm Hg dan RH 38,10 %

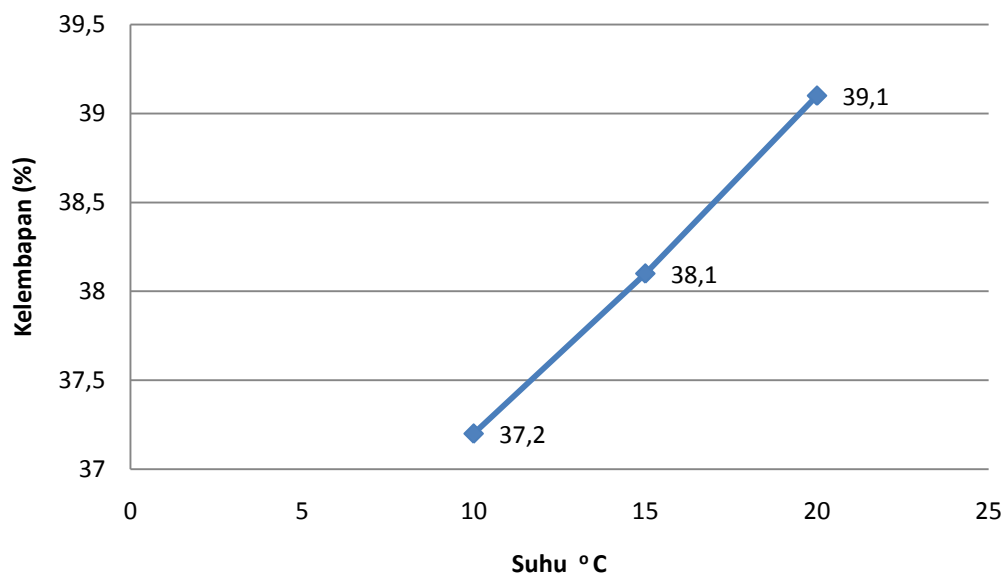
Keadaan Awal Cabai (gram)	Penimbangan jam ke			
	I	II	III	IV
3,7726	3,6921	3,6194	3,5403	3,4838
Perubahan Massa (%)	2,13 %	4,14 %	6,41 %	8,15 %
Rata-rata perubahan massa (gr)	0,0722			

Tabel 4.3. Variasi 3 pada suhu 20 °C, tekanan 15 cm Hg dan RH 39,10 %

Keadaan Awal Cabai (gram)	Penimbangan jam ke			
	I	II	III	IV
3,7710	3,7041	3,6547	3,6004	3,5725
Perubahan Massa (%)	1,77 %	3,13 %	4,66 %	5,50 %
Rata-rata perubahan massa (gr)	0,0279			

B. Pembahasan

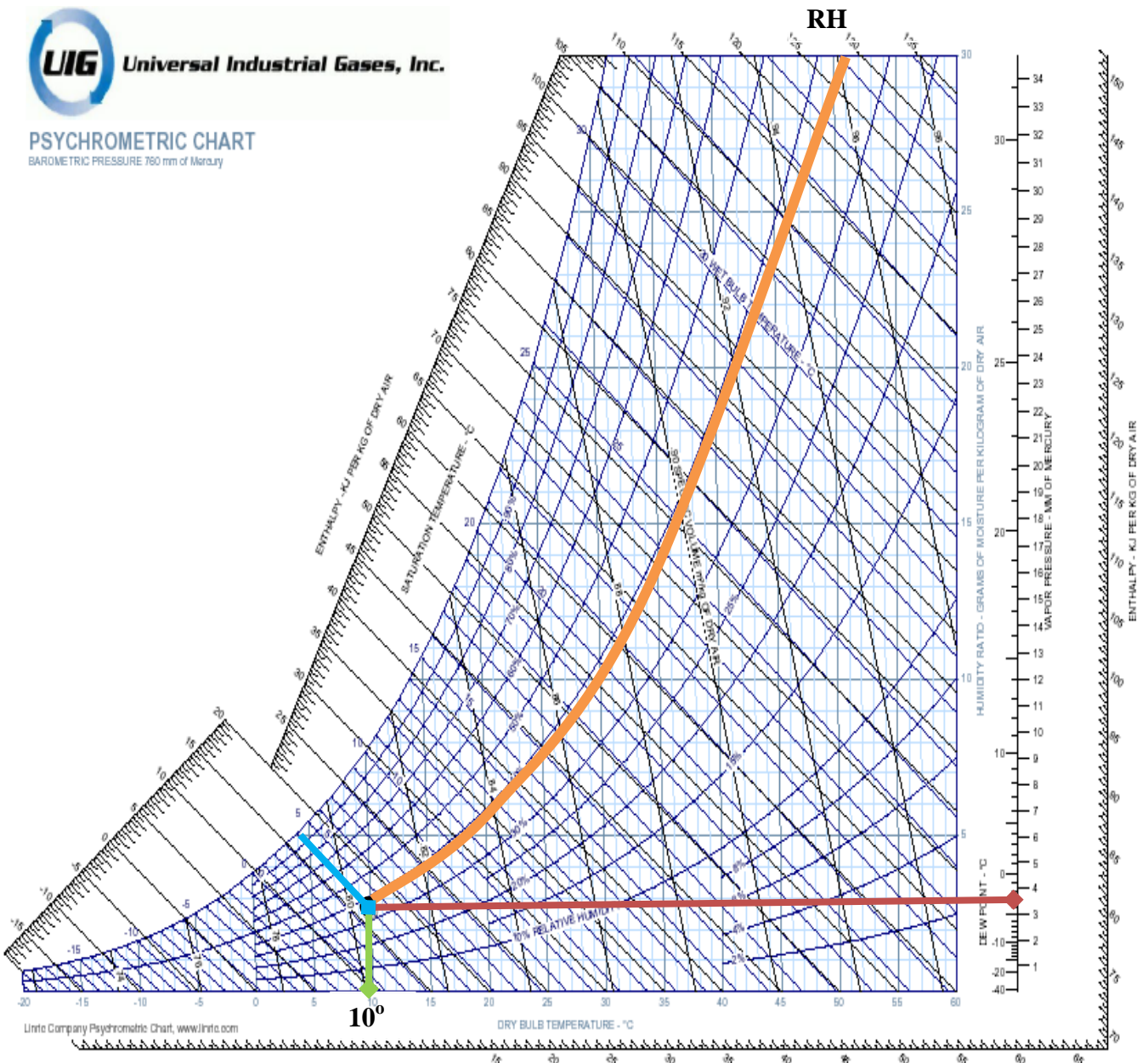
1. Hubungan antara suhu udara dengan kelembapan (RH)



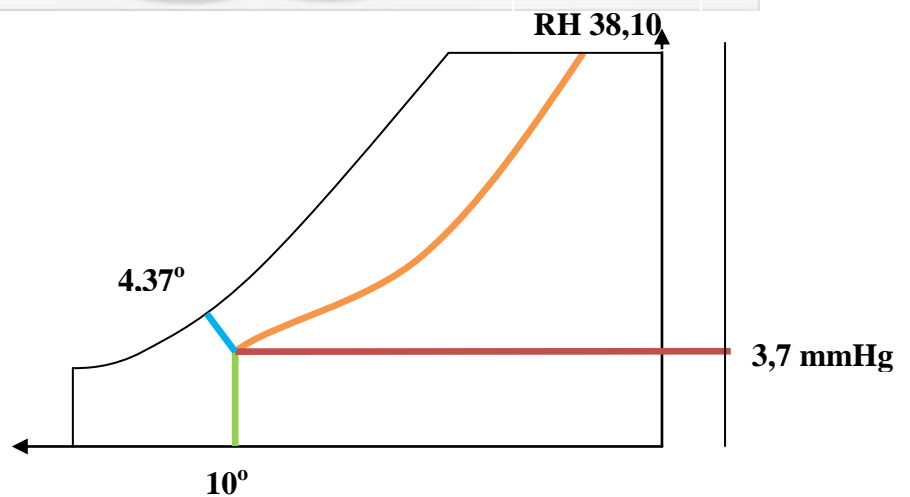
Gambar 4.1. Grafik hubungan antara suhu dengan kelembapan udara

Gambar 4.1. terlihat bahwa pada suhu 10 °C, kelembapan menunjukkan nilai 37,2 %, sedangkan pada suhu 15 °C kelembapan udaranya 38,10 % dan pada suhu 20 °C kelembapan udaranya menunjukkan nilai 39,10%. Gambar 4.1. menunjukkan bahwa pada suhu yang berbeda maka kelembapan (RH) udara di dalam *low temperature drying* juga menunjukkan perbedaan, ditarik kesimpulan bahwa besarnya suhu berbanding lurus dengan kelembapan udara di dalam alat tersebut.

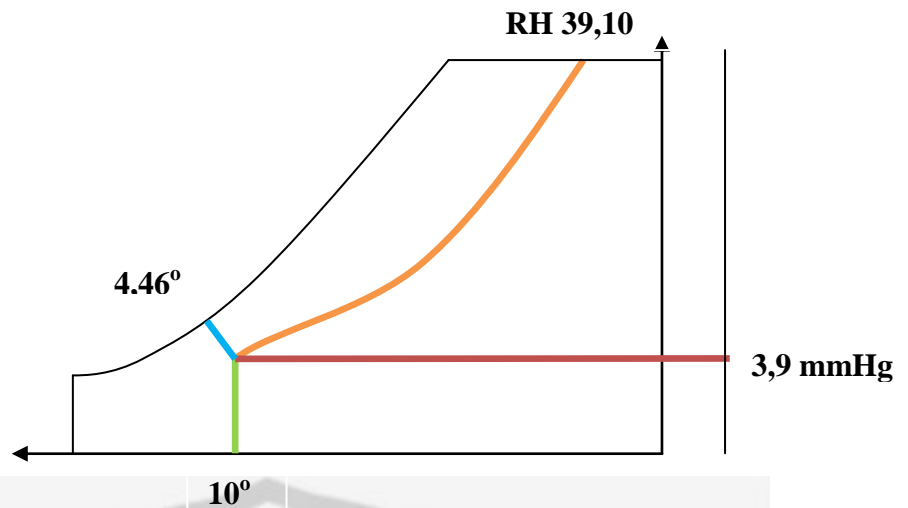
Semakin kecil suhu udara di dalam alat tersebut maka kelembapan udaranya juga semakin kecil. Besarnya suhu berbanding lurus dengan kelembapan udara di dalam alat *low temperature drying*, semakin kecil suhu udara di dalam alat tersebut maka kelembapan udaranya juga semakin kecil, hal ini dapat dijelaskan melalui gambar 4.2:



Gambar 4.2. Psikometric chart untuk variasi I



Gambar 4.3. Simulasi psikometric chart untuk variasi II



Gambar 4.4. Simulasi *psikometric chart* untuk variasi III

Rumus hubungan antara tekanan parsial uap air f dan temperatur bola basah t' :

$$f \leq f' - 0,5 (t - t')$$

$\frac{\text{tekanan atmosfer, mmHg}}{755}$

Keterangan: t = temperatur bola kering ($^{\circ}\text{C}$)

t' = temperatur bola basah ($^{\circ}\text{C}$)

f' = tekanan uap jenuh pada t' (mmHg)

f = Tekanan parsial uap air (mmHg)

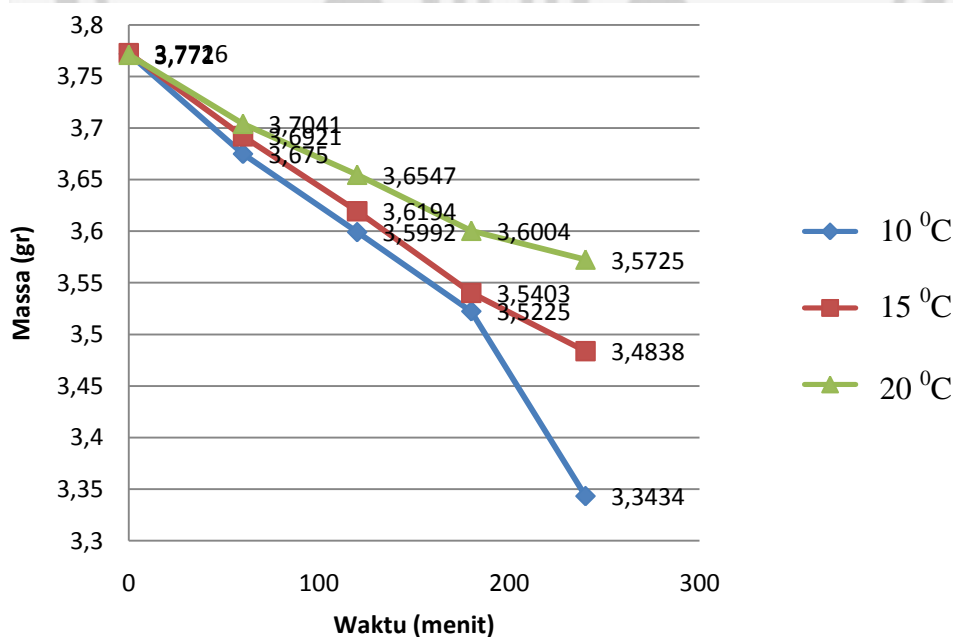
(Arismunandar W. dan Saito H., 1995: 9-10)

Rumus hubungan antara tekanan parsial uap air dan temperatur bola basah dapat ditarik kesimpulan bahwa suhu dan tekanan udara semakin rendah maka tekanan parsial uap air juga semakin kecil, apabila tekanan parsial uap air rendah maka secara otomatis RH dalam udara juga ikut turun. Melalui grafik psikometrik dapat dicari berapa RH dari penarikan garis yang menghubungkan antara perpotongan garis yang melalui garis tekanan parsial dan temperatur bola kering. Tekanan parsial uap air juga dapat dicari dengan cara menghubungkan perpotongan dan menarik garis lurus ke kanan dari titik perpotongan antara garis RH dengan temperatur bola kering. Grafik dapat menjelaskan ketika tekanan

dan suhu udara turun maka tekanan parsial uap air juga turun sehingga RH juga semakin kecil.

Udara bebas terdiri dari beberapa komponen udara di dalamnya seperti gas Nitrogen, Hidrogen, Oksigen, Argon, Karbon dioksida dan juga terdapat senyawa air (H_2O). Alat *low temperature drying* apabila diberi suhu yang rendah ($10\text{ }^{\circ}C$) membuat kandungan air di udara dalam alat tersebut menjadi mengembun dan menempel pada dinding-dinding tabung alat tersebut. Tekanan vakum yang kurang dari tekanan 1 atmosfer (76 cmHg) maka kandungan atau unsur-unsur yang terkandung dalam udara akan terhisap oleh vakum termasuk juga kandungan air yang ada di dalam udara tersebut dan membuat kandungan air atau RH udara dalam tabung menjadi semakin kecil dan laju perpindahan massanya pun juga semakin cepat.

2. Hubungan waktu dengan perubahan massa



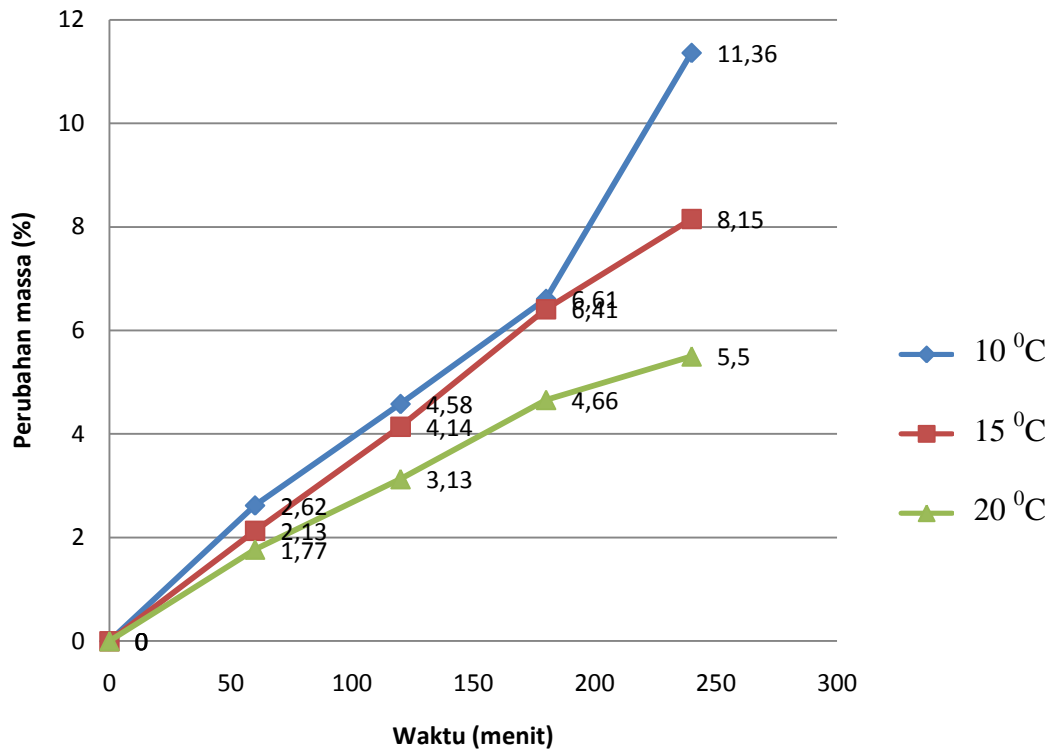
Gambar 4.5. Grafik hubungan waktu dengan perubahan massa.

Gambar 4.5. menunjukkan hubungan antara waktu dengan perubahan massa pada proses pengeringan. Massa turun seiring dengan perubahan waktu, semakin lama waktu pengeringan maka massa air yang diuapkan juga semakin besar.

Proses pengeringan hasil pertanian adalah suatu proses pengeluaran atau menghilangkan sebagian air dari suatu bahan sampai kadar air keseimbangan dengan udara lingkungan atau sampai kadar air tertentu. Pengeringan menyangkut perpindahan massa (uap) dari bahan dan energi panas ke bahan secara simultan. Proses pindah panas yang terjadi dari lingkungan sekitar bahan akan menguapkan air dipermukaan bahan. Air dapat dipindahkan ke permukaan produk dan kemudian diuapkan, atau secara internal pada sebuah antarmuka uap dan cair, kemudian dibawa sebagai uap ke permukaan (Okos *et al.*, dikutip oleh Siallagan B. 2009). Menurut Canovas dan Mercoda dikutip oleh Siallagan B. (2009) menyebutkan enam mekanisme fisik untuk penjelasan gerakan air di dalam bahan, yaitu 1) gerakan cairan karena gaya permukaan (aliran kapiler), 2) difusi cairan karena adanya perbedaan konsentrasi, 3) difusi permukaan, 4) difusi uap air di dalam pori-pori yang berisi udara, 5) aliran karena adanya perbedaan tekanan, 6) aliran karena terjadinya penguapan dan kondensasi. Proses pengeringan, udara pengering sangat berpengaruh terutama suhu, kelembapan relatif dan kecepatan aliran udara.

Penelitian tersebut dapat dijelaskan bahwa pada udara bebas terdiri dari beberapa komponen udara di dalamnya seperti senyawa air (H_2O) dan gas pembentuk lainnya, apabila di dalam tabung alat *low temperature drying* diberi tekanan vakum yang kurang dari tekanan 1 atmosfer (76 cmHg) maka unsur-unsur yang terkandung dalam udara akan terhisap oleh vakum termasuk juga kandungan air yang ada di dalam udara tersebut, selain ada penghisapan dari vakum, suhu yang rendah ($10\text{ }^{\circ}C$) dari alat *low temperature drying* membuat kandungan air di udara dalam alat tersebut menjadi mengembun dan menempel pada dinding-dinding tabung alat tersebut, membuat kandungan air atau RH udara dalam tabung menjadi semakin kecil, semakin kecil RH maka konsentrasi zat cair antara udara yang terkondisikan dalam alat menjadi jauh berbeda dengan konsentrasi zat cair di dalam cabai yang akan dikeringkan. Udara dalam tabung ketika diberi tekanan vakum maka tekanan parsial uap air dalam udara menjadi lebih rendah sehingga RH pada udara dalam tabung juga ikut turun. Kandungan air di dalam cabai akan terdifusi ke udara yang telah dikondisikan sehingga terjadi proses pindah massa (pengerinan), kemudian air yang terdifusi ke udara akan diembunkan ke dinding-dinding tabung alat, jadi semakin rendah suhu udara maka proses pindah massa atau pengerinan menjadi semakin singkat.

3. Hubungan antara waktu dengan prosentase perubahan massa

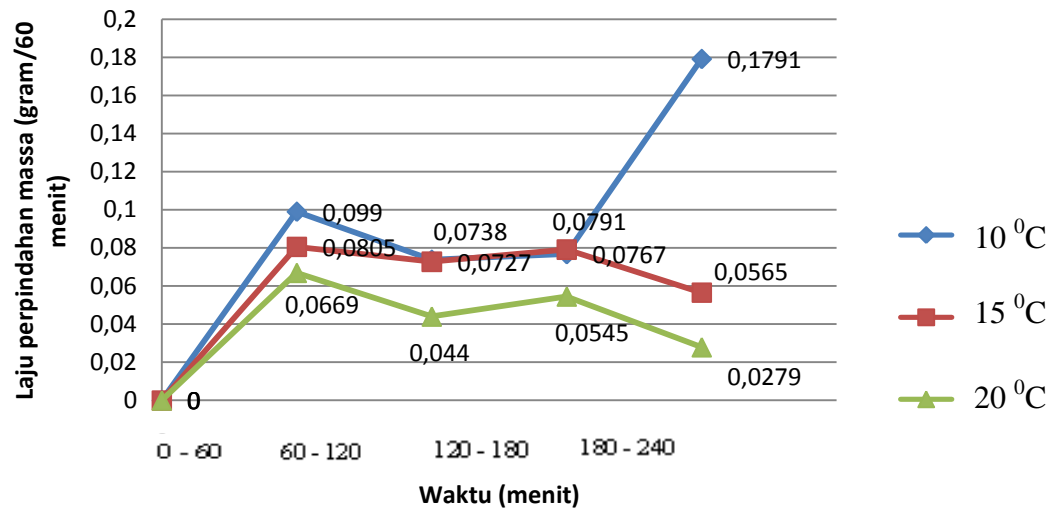


Gambar 4.6. Grafik hubungan antara waktu dengan prosentase perubahan massa.

Gambar 4.6. menerangkan hubungan antara waktu dengan prosentase perubahan massa pada suhu tertentu. Prosentase pengeringan besarnya seiring dengan bertambahnya waktu, semakin lama waktu maka prosentase pengeringan pada cabai semakin meningkat.

4. Hubungan antara suhu dengan laju perpindahan massa

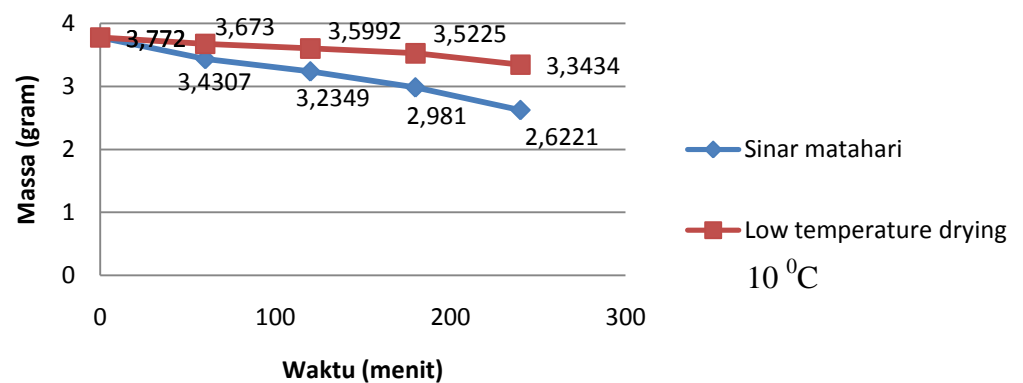
Hubungan suhu dengan laju perpindahan massa dapat dijelaskan melalui hasil perhitungan laju perpindahan massa selang waktu tiap 60 menit yang digambarkan dengan grafik seperti pada gambar 4.7.



Gambar 4.7. Grafik hubungan antara selang waktu dengan laju perpindahan massa.

Gambar 4.7. menunjukkan bahwa pada suhu 10⁰ C laju perubahan massanya paling besar dibanding dengan variasi suhu lainnya.

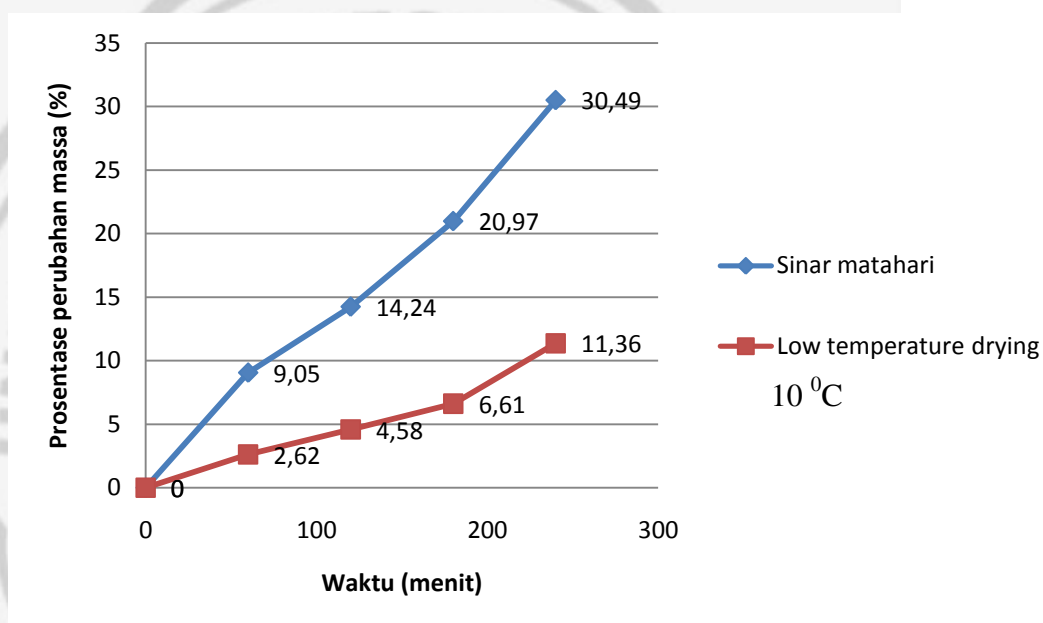
5. Perbedaan antara pengeringan matahari dengan *low temperature drying*
 - a. Perbandingan perpindahan massa antara pengeringan sinar matahari dengan *low temperature drying*.



Gambar 4.8. Grafik hubungan waktu dengan perubahan massa pada pengeringan sinar matahari dan *low temperature drying*.

Gambar 4.8. menunjukkan besarnya perubahan massa pada pengeringan dengan menggunakan sinar matahari dan *low temperature drying*, apabila dilihat perubahannya lebih besar dengan menggunakan sinar matahari.

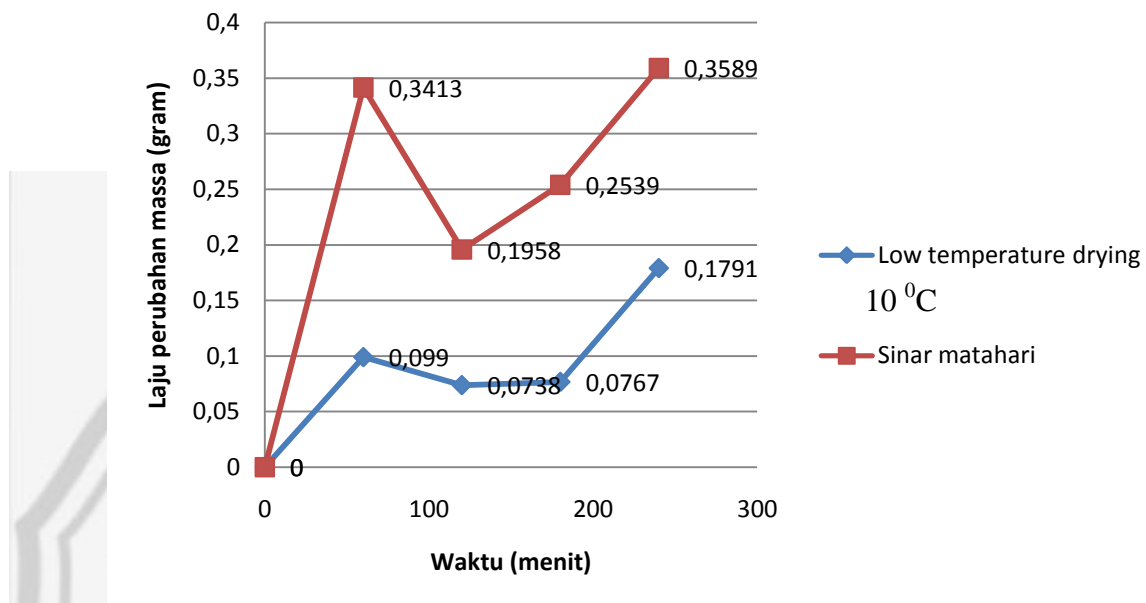
b. Perbandingan prosentase perpidahan massa antara pengeringan sinar matahari dengan *low temperature drying*.



Gambar 4.9. Grafik hubungan waktu dengan prosentase perubahan massa pada pengeringan sinar matahari dan *low temperature drying*.

Gambar 4.9. menunjukkan besarnya prosentase perubahan massa pada pengeringan dengan menggunakan sinar matahari dan *low temperature drying*, apabila dilihat perubahannya, prosentase perubahan massa lebih besar dengan menggunakan pengeringan sinar matahari.

- c. Perbandingan laju perubahan massa antara pengeringan sinar matahari dengan *low temperature drying*



Gambar 4.10. Grafik hubungan waktu dengan laju perpindahan.

massa pada pengeringan sinar matahari dan *low temperature drying*.

Gambar 4.10. menunjukkan besarnya laju perubahan massa pada pengeringan dengan menggunakan sinar matahari dan *low temperature drying*, apabila dilihat perubahannya, laju perubahan massa lebih besar dengan menggunakan pengeringan sinar matahari.

d. Kualitas visual antara pengeringan sinar matahari dengan *low temperature drying*.



Gambar 4.11. Pengeringan dengan sinar matahari

Keterangan:

- a) Keadaan awal cabai
- b) Penimbangan setelah 60 menit pertama
- c) Penimbangan setelah 60 menit ke-2
- d) Penimbangan setelah 60 menit ke-3
- e) Penimbangan setelah 60 menit ke-4



(a)

(b)



(c)

(d)



(e) PERPUSTAKAAN

Gambar 4.12 Pengeringan dengan *low temperature drying*.

Keterangan:

- a) Keadaan awal cabai
- b) Penimbangan setelah 60 menit pertama
- c) Penimbangan setelah 60 menit ke-2
- d) Penimbangan setelah 60 menit ke-3
- e) Penimbangan setelah 60 menit ke-4

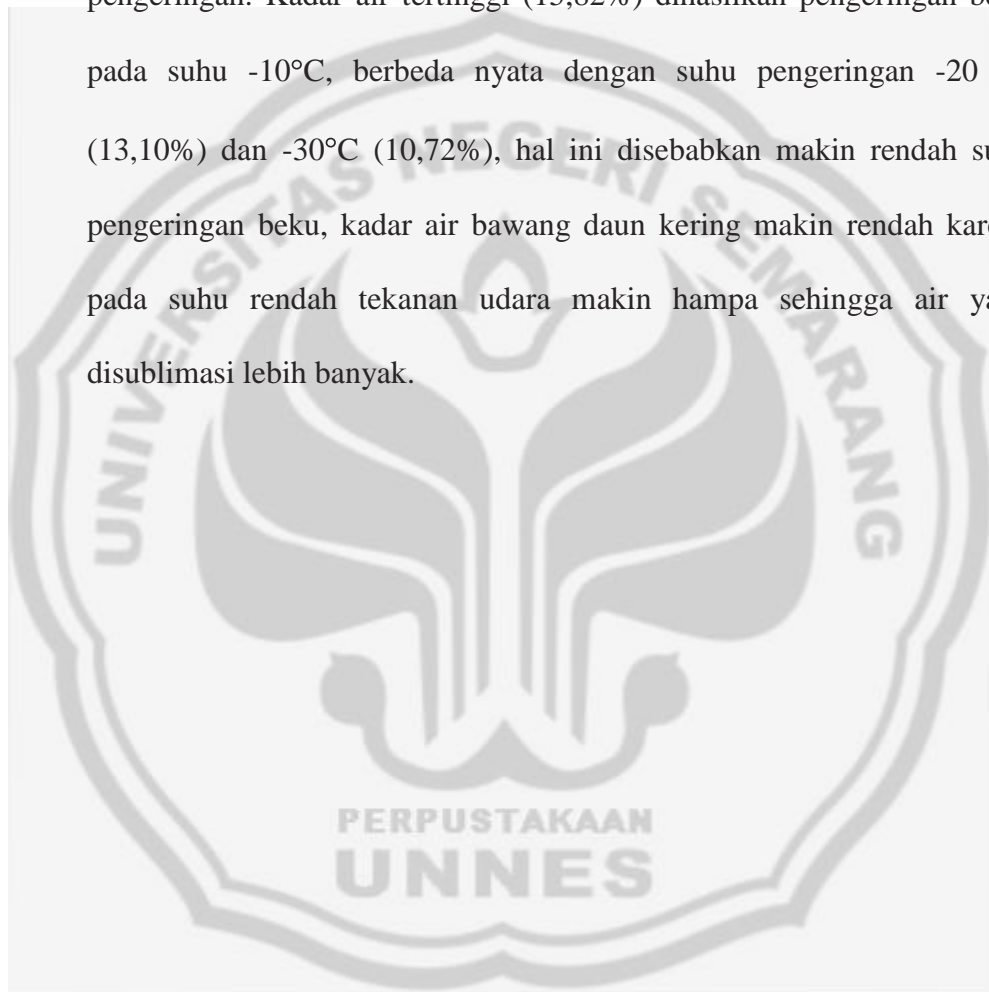
Gambar 4.11 dan gambar 4.12 dapat dilihat bahwa kualitas visual pada pengeringan *low temperature drying* lebih segar dibandingkan dengan pengeringan dengan menggunakan sinar matahari. Pengeringan dengan menggunakan sinar matahari cenderung mengkerut dan berwarna kecoklatan sementara dengan *low temperature drying* warnanya masih merah segar.

Pengeringan dengan tekanan vakum yang tinggi dan suhu beku dapat menghasilkan produk dengan tekstur, warna, rehidrasi, serta parameter lain yang baik (Eshtiaghi *etal.* dikutip oleh Astuti S.M. 2008). Pengeringan beku dapat mempertahankan kandungan tokoferol (Manullang dan Mercylia, dikutip oleh Astuti S.M. 2007).

Pengeringan vakum merupakan salah satu cara pengeringan bahan dalam suatu ruangan yang tekanannya lebih rendah dibanding tekanan udara atmosfer. Pengeringan dapat berlangsung walaupun pada suhu yang lebih rendah, dengan tekanan uap air dalam udara yang lebih rendah, air pada bahan akan menguap pada suhu rendah (Aman *et al.* dikutip oleh Astuti S.M. 2007).

Bahan pangan pada umumnya pada saat dikeringkan berubah warna menjadi kecoklatan. Proses pencoklatan bisa terjadi karena reaksi enzimatik atau nonenzimatik. Pencoklatan karena reaksi enzimatik disebabkan enzim polifenolase kontak dengan oksigen dan udara sehingga mengubah fenolik menjadi metanin yang berwarna coklat (Apandi, dikutip oleh Astuti S.M. 2008)

Astuti S.M (2009) dalam penelitiannya yang berjudul teknik pengaturan suhu dan waktu pengeringan beku bawang daun menjelaskan bahwa hasil analisis kadar air menunjukkan terdapat perbedaan nyata antara perlakuan suhu, lama pengeringan, dan interaksi suhu dan lama pengeringan. Kadar air tertinggi (15,82%) dihasilkan pengeringan beku pada suhu -10°C , berbeda nyata dengan suhu pengeringan -20°C (13,10%) dan -30°C (10,72%), hal ini disebabkan makin rendah suhu pengeringan beku, kadar air bawang daun kering makin rendah karena pada suhu rendah tekanan udara makin hampa sehingga air yang disublimasi lebih banyak.



BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

1. Alat *low temperature drying* pada suhu 10 °C dan tekanan 15 cmHg terjadi laju perubahan massa paling besar dibanding variasi suhu yang lainnya.
2. Semakin rendah suhu (10 °C) di dalam tabung *low temperature drying* maka kelembapan udara di dalamnya juga semakin rendah, yang dapat mempercepat laju pengeringan.
3. Pengeringan dengan *low temperature drying* dapat menjaga keadaan visual bahan makanan sehingga tetap tampak baik dan segar.

B. Saran

1. Alat *Low Temperature Dryign* dalam penggunaannya sebaiknya menggunakan suhu 10 °C dan tekanan 15 cmHg sesuai dengan hasil penelitian yang sudah dilakukan agar laju perpindahan massa (pengeringan) semakin cepat.
2. Pengeringan ini sangat cocok untuk produk makanan karena dapat mempertahankan warna dan kandungan gizi.

DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar W. dan Saito H., 1995. *Penyegaran Udara*. PT. Pradya Paramitha. Jakarta.
- Astuti, S.M. 2009. *Teknik pengaturan suhu dan waktu pengeringan beku Bawang daun (*Allium fistulosum* L.)*. Jurnal ilmiah Buletin Teknik Pertanian Vol. 14 No. 1, hal 17-22
- Astuti, S.M. 2008. *Teknik Pengeringan Bawang Merah Dengan Cara Perlakuan Suhu dan Tekanan Vakum*. Jurnal ilmiah Buletin Teknik Pertanian Vol. 13 No. 2, hal 78-82
- Astuti, S.M. 2007. *Teknik Mempertahankan Mutu Lobak (*Raphanus sativus*) dengan Menggunakan Alat Pengering Vakum*. Jurnal ilmiah Buletin Teknik Pertanian Vol. 12 No. 1, hal 30-34
- Atmaka W. dan Kawiji. 2008. *Pengaruh suhu dan lama pengeringan Terhadap kualitas tiga varietas Jagung (*zea mays l.*)*. Jurnal Ilmiah Staf Pengajar Fakultas Pertanian UNS, hal 59-65
- Djajasudarma T. Fatimah. 1993. *Metode Linguistik: Rancangan Metode Penelitian dan Kajian*. Bandung: PT Eresco.
- Pawignya, Solisttyo, Supranto. 1998. *Koefesien pindah massa dan difusivitas efektif pada proses pengeringan dalam kolom fixed bed pada suhu rendah*. Jurnal ilmiah FT Industri UGM. Yogyakarta. Forum Teknik Jilid 22 No. 3, hal 541-551
- Poerwadarminta, 1994, Jakarta, Balai Pustaka : Kamus Besar Bahasa Indonesia.
- Suarnadwipa N, W. Hendra. 2008. *Pengeringan jamur dengan dehumidifier*. Jurnal ilmiah Teknik Mesin Universitas Udayana Bali. Vol. 2 No. 1, hal 30-33
- Siallagan. B. 2009. *Kajian Proses Pengeringan Kemoreaksi Jahe Dengan Kapur Api (*CaO*)*. Jurnal ilmiah Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara.
- Wartono. 1997. *Peningkatan Laju Pengeringan Umbi-Umbian Dengan Puffing Gas CO₂ dan Udara*. Jurnal ilmiah Jurusan Teknik Pertanian. FTP. UGM. Yogyakarta.
- Widyani R., Suciaty T. 2008. *Prinsip Pengawetan Pangan*. Cirebon: Swagati Press.

Lampiran 1. Dokumentasi Alur Penelitian



1. Penimbangan awal bahan



2. memasukkan bahan



3. menyetel temperatur



4. mulai divakum



5. melihat RH yang ada didalam



6. penimbangan akhir bahan

**Lampiran 2. Dokumentasi pada saat Penimbangan Bahan
(Cabai Merah) 15 °C**



(1)

(2)



(3)

(4)



(5)

Keterangan:

- 1) Keadaan awal cabai
- 2) Penimbangan setelah 60 menit pertama
- 3) Penimbangan setelah 60 menit ke-2
- 4) Penimbangan setelah 60 menit ke-3
- 5) Penimbangan setelah 60 menit ke-4

Lampiran 3. Dokumentasi pada saat Penimbangan Bahan 20 °C



(1)



(2)



(3)



(4)



(5)

Keterangan:

- 1) Keadaan awal cabai
- 2) Penimbangan setelah 60 menit pertama
- 3) Penimbangan setelah 60 menit ke-2
- 4) Penimbangan setelah 60 menit ke-3
- 5) Penimbangan setelah 60 menit ke-4