



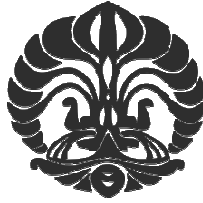
**Universitas Indonesia**

**Analisa Laju Aliran Produk dalam Pembuatan Susu Kedelai  
Bubuk dengan Pengeringan Semprot**

**SKRIPSI**

**Thomas Aquino Wijanarka  
0906605164**

**Universitas Indonesia  
Fakultas Teknik  
Program Studi Teknik Mesin  
Depok  
Juli 2012**



**Universitas Indonesia**

**Analisa Laju Aliran Produk dalam Pembuatan Susu Kedelai  
Bubuk dengan Pengeringan Semprot**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik**

**Thomas Aquino Wijanarka  
0906605164**

**Universitas Indonesia  
Fakultas Teknik  
Program Studi Teknik Mesin  
Depok  
Juli 2012**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Thomas Aquino Wijanarka

NPM : 0906605164

Tanda Tangan : 

Tanggal : 3 Juli 2012


## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh


Nama : Thomas Aquino Wijanarka  
NPM : 0906605164  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : Analisa Laju Aliran Produk dalam Pembuatan Susu Kedelai  
Bubuk dengan Pengeringan Semprot

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Engkos A. Kosasih, M.T. (  )

Penguji : Dr. Ir. Imansyah Ibnu Hakim, MEng. (  )

Penguji : Dr. Ir. Warjito, MEng. (  )

Penguji : Dr. Ir. Ahmad Indra Siswantara (  )

Ditetapkan di : Departemen Teknik Mesin  
Tanggal : 3 Juli 2012



## KATA PENGANTAR

Puji syukur setinggi – tingginya bagi Allah Bapa, Putra dan Roh Kudus, karena perlindungan, pencerahan, dan semangat yang telah diberikan sehingga proses pembuatan skripsi dapat berjalan baik dan selesai pada waktunya.

Dalam kesempatan ini penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada orang-orang yang telah mendukung penulis, antara lain:

1. Dr. Ir. Engkos A. Kosasih, MT selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi arahan, bimbingan dan persetujuan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
2. Orang tua penulis, Alfonsus Saptara (alm) dan Maria Magdalena (alm) atas doa, penyertaan dan dampungannya dari alam yang berbeda.
3. Keluarga penulis yang terus mendukung dalam hal material, mental dan semangat.
4. Pasanganku, Cicilia Fania Nurmaningtyas yang selalu mengejar untuk selesainya skripsi ini.
5. Seluruh dosen pengajar dan staff laboratorium Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia yang telah memberikan dan mengajarkan ilmunya, sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini dengan bermacam ilmu yang telah didapat;
6. Teman-teman angkatan 2010, dan rekan satu lab. yang telah membantu waktu dan tenaga dalam penyelesaian mesin pengering semprot.
7. Teman-teman seperjuangan PPSE Teknik Mesin UI angkatan 2009 atas kebersamaan dan bantuannya.

Kesempurnaan hanyalah milik Tuhan, penulis hanya dapat melakukan yang terbaik. Penulis tetap terbuka terhadap kritik dan saran untuk semakin menyempurnakan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat memberikan banyak manfaat dan wawasan khususnya bagi penulis dan pembaca pada umumnya.

Jakarta, 3 Juli 2012

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai civitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Thomas Aquino Wijanarka  
NPM : 0906605164  
Program Studi : Teknik Mesin  
Departemen : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

demikian demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**Analisa Laju Aliran Produk dalam Pembuatan Susu Kedelai  
Bubuk dengan Pengeringan Semprot**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 3 Juli 2012

Yang menyatakan,



(Thomas Aquino Wijanarka)

## ABSTRAK

Nama : Thomas Aquino Wijanarka  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : Analisa Laju Aliran Produk dalam Pembuatan Susu Kedelai  
Bubuk dengan Pengeringan Semprot

Skripsi ini adalah tentang proses pengeringan semprot susu kedelai cair menjadi susu kedelai bubuk. Yang diamati dalam penelitian ini adalah laju aliran produk maksimal sehingga produk tetap kering dan biaya proses pada kondisi tertentu. Kondisi yang ditetapkan adalah tekanan udara kompressor 2 bar, divariasikan dengan laju aliran udara pengering, rasio kelembaban udara pengering, dan temperatur udara pengering. Variasi laju aliran udara pengering yaitu 0,014 m<sup>3</sup>/s, 0,017 m<sup>3</sup>/s, dan 0,019 m<sup>3</sup>/s. Variasi rasio kelembaban udara pengering yaitu 0,01 dan 0,012. Variasi temperatur udara pengering adalah 60°C, 72°C, dan 90°C. Hasil dari percobaan ini adalah pembuktian bahwa susu kedelai dapat dikeringkan pada temperatur 60°C. Laju aliran produk tertinggi ada pada kondisi rasio kelembaban 0,01, laju aliran udara 0,014, temperatur udara pengering 90°C. Biaya proses yang paling murah adalah Rp 1.247,- / 250 gr susu cair atau 125,7% dari harga susu bubuk yang dijual secara umum.

Kata kunci : pengering semprot, susu kedelai bubuk, laju aliran produk.

## ***ABSTRACT***

*Name : Thomas Aquino Wijanarka  
Study Program : Mechanical Engineering  
Title : Analysis of Flow Rate Product in Process to Make Soy Milk Powder by Spray Drying*

*This skripsi is about the process of spray drying liquid soy milk liquid become soy milk powder. Observed in this experiment are the maximum product flow rate to keep that product remains dry and cost from process in particular condition. The specified conditions are pressure of compressor at 2 bar, combined with variation of air dryer flow rate, humidity ratio, and air dryer temperature. Variation of air dryer are 0.014 m<sup>3</sup>/s, 0.017 m<sup>3</sup>/s, dan 0.019 m<sup>3</sup>/s. Variation of humidity ratio are 0.010 dan 0.012. Variation of air dryer temperature are 60°C, 72°C, dan 90°C. Result from this experiment are verification about spray dryer can drying soy milk in 60°C, condition the highest product flow rate are ratio humidity in 0.01, air dryer flow rate in 0.014, and air dryer temperature in 90°C. Cost from process that cheapest is Rp1,247.- / 250 gr of soy milk liquid or 125.7% from soy milk powder that sell generally.*

*Keywords: spray dryer, soy milk, flow rate product.*



## DAFTAR ISI

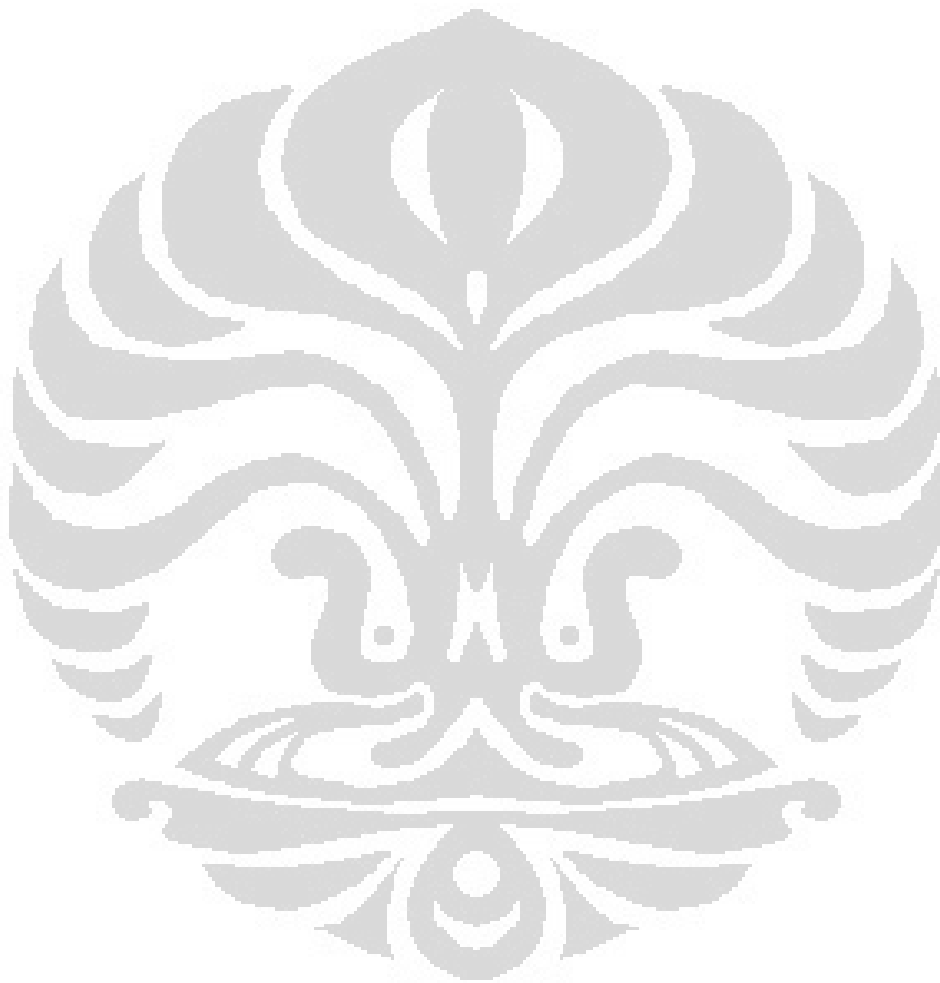
HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	iv
ABSTRAK .....	v
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
<b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan Penelitian .....	2
1.4. Batasan Masalah.....	2
1.5. Metodologi Penelitian.....	3
1.6. Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1. Produk yang Dikeringkan .....	5
2.1.1. Sifat Protein .....	6
2.1.2. Sifat Karbohidrat .....	7
2.1.3. Sifat Lemak.....	8
2.1.4. Sifat Vitamin A,B1, B2 .....	8
2.2. Proses Pemanasan Susu .....	9
2.3. Mesin Pengering Semprot.....	10
2.4. Pengertian Pengeringan.....	16
2.5. Jenis Jenis Air yang Terkandung pada Material .....	17
2.5.1. Air terikat secara kimia atau air hidratisi .....	17
2.5.2. Air terikat secara fisik .....	17
2.5.3. Air bebas .....	17
2.6. Diagram Psikrometrik .....	18
2.6.1. Garis jenuh ( <i>saturation line</i> ).....	19
2.6.2. Temperatur bola kering ( <i>dry bulb</i> ).....	19
2.6.3. Temperatur bola basah ( <i>wet bulb</i> ).....	20
2.6.4. Kelembaban relatif.....	20
2.6.5. Rasio kelembaban .....	21
2.7. Perubahan Bentuk Zat .....	21
2.8. Kandungan Air ( <i>Moisture of content</i> ).....	25
2.9. Aktifitas Air .....	26
2.10. Dehumidifikasi.....	27
2.11. Perhitungan Laju Aliran Udara dengan Menggunakan Pipa <i>Orifice</i> .....	28
2.12. <i>Droplet</i> .....	30

2.13. Laju Penguapan .....	30
2.14. Waktu Pengeringan .....	32
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>33</b>
3.1. Alur Penelitian .....	33
3.2. Objek, Waktu, dan Tempat Penelitian .....	34
3.3. Langkah Pengambilan Data .....	34
3.4. Rangkaian Pengering Semprot dan Alat Ukur yang Dipergunakan .....	35
3.5. Variabel Tetap .....	41
3.6. Variabel Berubah .....	41
3.7. Properti Udara Pemanas Selama Proses .....	43
3.8. Laju Aliran Udara Pemanas .....	45
3.9. Kalibrasi Pompa .....	46
3.10. Perhitungan Energi yang Dipergunakan oleh Sistem .....	47
<b>BAB 4. HASIL DAN ANALISA .....</b>	<b>50</b>
4.1. Hasil Pengujian Flow Maksimal Produk Kering .....	50
4.2. Hasil Perhitungan Daya yang Dibutuhkan .....	51
4.3. Hasil Perhitungan Biaya yang Dibutuhkan .....	53
<b>BAB 5. PENUTUP .....</b>	<b>56</b>
5.1. Kesimpulan .....	56
5.2. Saran .....	56
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>57</b>
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skema pengering semprot .....	10
Gambar 2.2	Skema <i>wheel atomizer</i> .....	12
Gambar 2.3	Skema <i>pressure nozzle</i> .....	13
Gambar 2.4	Skema <i>pneumatic nozzle</i> .....	13
Gambar 2.5	Kurva efisiensi <i>cyclon</i> secara teori dan aktual .....	15
Gambar 2.6	Lokasi air bebas, air terikat fisik secara fisika dan air hidrasi terhadap material .....	18
Gambar 2.7	Diagram Psikrometrik .....	18
Gambar 2.8	Garis Jenuh .....	19
Gambar 2.9	Sling Psikrometrik .....	20
Gambar 2.10	Diagram 3 dimensi P-v-T berhubungan dengan bentuk zat .....	21
Gambar 2.11	Diagram P-T berhubungan dengan bentuk zat .....	21
Gambar 2.12	Diagram P-v berhubungan dengan bentuk zat .....	22
Gambar 2.13	Diagram T-v berhubungan dengan bentuk zat .....	23
Gambar 2.14	Diagram perubahan bentuk air terhadap perubahan temperatur dan energi .....	24
Gambar 2.15	Aktivitas air terhadap <i>dry basis moisture content</i> makanan .....	27
Gambar 2.16	Psikrometri pada proses pendinginan dehumidifikasi .....	27
Gambar 2.17	Rangkaian refrigerasi .....	28
Gambar 2.18	Karakter beberapa variabel dalam proses pengeringan .....	31
Gambar 3.1	Diagram alur penelitian .....	33
Gambar 3.2	Skema rangkaian pengering semprot yang dipergunakan .....	35
Gambar 3.3	(a) pompa penekan dan (b) adaptor DC .....	36
Gambar 3.4	Pompa <i>peristaltik</i> .....	36
Gambar 3.5	Penyaring dan pengatur tekanan udara .....	37
Gambar 3.6	<i>Pneumatic nozzle</i> .....	37
Gambar 3.7	(a) <i>Blower</i> dan (b) katup pengatur laju aliran udara .....	38
Gambar 3.8	Sistem pendingin (a) <i>compressor refrigerant</i> , (b) kondenser, (c), katup ekspansi dan <i>evaporator</i> .....	38
Gambar 3.9	<i>Orifice</i> dan <i>manometer</i> .....	39
Gambar 3.10	(a) <i>heating element</i> , (b) set pemanas, (c) kontrol panel .....	39
Gambar 3.11	Ruang pengering, <i>cyclon</i> , dan wadah produk bubuk .....	40
Gambar 3.12	Termometer batang .....	41
Gambar 3.13	Properti udara luar .....	42
Gambar 3.14	Temperatur udara luar dan temperatur udara keluar <i>evaporator</i> .....	42
Gambar 3.15	Properti udara keluar <i>evaporator</i> 17°C .....	43
Gambar 3.16	Properti udara keluar <i>evaporator</i> 17°C, pemanasan 60°C .....	43
Gambar 3.17	Properti udara keluar <i>evaporator</i> 17°C, pemanasan 72°C .....	44
Gambar 3.18	Properti udara keluar <i>evaporator</i> 17°C, pemanasan 90°C .....	44
Gambar 3.19	Properti udara keluar <i>evaporator</i> 14°C .....	44
Gambar 3.20	Properti udara keluar <i>evaporator</i> 14°C, pemanasan 60°C .....	44
Gambar 3.21	Properti udara keluar <i>evaporator</i> 14°C, pemanasan 72°C .....	45
Gambar 3.22	Properti udara keluar <i>evaporator</i> 14°C, pemanasan 90°C .....	45
Gambar 3.23	Kalibrasi laju aliran pompa produk per rotasi .....	47

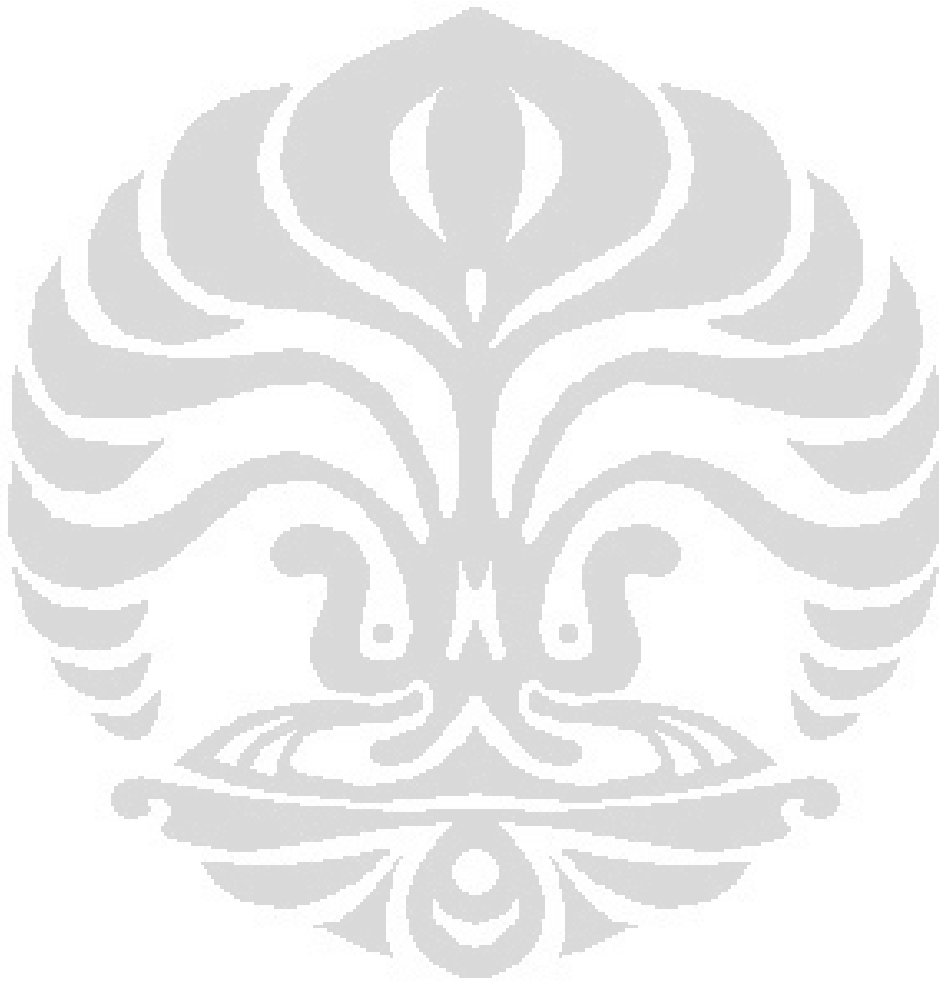
Gambar 4.1	Laju aliran produk maksimal pada setiap peningkatan laju aliran udara pengering .....	50
Gambar 4.3	Biaya untuk memproses 250 gr susu kedelai .....	53





## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Komposisi kedelai per 100 gr bahan.....	5
Tabel 2.2.	Perbandingan antara kadar protein kedelai dengan beberapa bahan makanan lainnya .....	5
Tabel 2.3.	Perbandingan komposisi susu kedelai dengan susu sapi dan ASI.....	6
Tabel 2.4.	Rangkuman pengaruh temperatur terhadap nutrisi pada kacang kedelai .....	10
Tabel 3.1.	Tabel kalibrasi pompa <i>peristaltik</i> .....	46
Tabel 4.1.	Hasil data perhitungan .....	51



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1. 1. Latar Belakang

Susu kacang kedelai adalah cairan putih seperti susu sapi, tetapi dibuat dari kacang kedelai. Susu kedelai merupakan pengganti susu sapi, terutama bagi yang alergi terhadap laktosa (*lactose intolerance*). Kacang kedelai sendiri memiliki protein dan lemak nabati sehingga sangat baik untuk tubuh, tetapi kandungan asam amino dalam proteinnya tidak selengkap protein hewani. Tingkat protein yang terkandung dalam kacang kedelai sangat tinggi dibandingkan dengan beras, jagung, tepung singkong, kacang hijau, daging, ikan segar, dan telur ayam. Kandungan protein pada kedelai mencapai  $\pm 35\%$ , hampir menyamai kadar protein susu skim kering yang memiliki protein  $\pm 36\%$  [1].

Selama ini susu kedelai disimpan dalam bentuk cair. Susu kedelai cair ini tidak tahan lama, apabila disimpan di udara terbuka tidak akan bertahan selama 1 hari. Untuk menambah daya tahan dari susu kedelai tersebut, maka susu kedelai tersebut akan dicoba untuk dikeringkan menjadi susu bubuk.

Untuk melakukan pengeringan terhadap susu kedelai tersebut, akan digunakan metode pengeringan semprot yang telah ada di laboratorium pengering Universitas Indonesia. Diharapkan dengan menggunakan metode pengeringan semprot, akan dihasilkan susu bubuk yang betul - betul kering dengan sedikit pengurangan nilai gizi dari susu kedelai tersebut, terutama kandungan proteinnya.

Penelitian kali ini akan melihat efektifitas dari proses pengeringan susu kedelai tersebut melalui pengamatan laju aliran produk maksimal dimana produk tetap kering pada temperatur  $60^{\circ}\text{C}$ ,  $72^{\circ}\text{C}$ , dan  $90^{\circ}\text{C}$ . Ketiga temperatur tersebut dikombinasikan juga dengan rasio kelembaban udara pengering yaitu: 0,010 dan 0,012 serta laju aliran udara pengering yaitu:  $0,014 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $0,017 \text{ m}^3/\text{s}$ , dan  $0,019 \text{ m}^3/\text{s}$ .

## 1. 2. Perumusan Masalah

Sesuai dengan latar belakang maka masalah yang harus dipecahkan adalah memastikan bahwa proses pengeringan susu kedelai dapat dilakukan sampai temperatur rendah yaitu  $60^{\circ}\text{C}$  dengan proses pengeringan semprot. Dengan beberapa kondisi pengujian, laju aliran maksimal produk didapat dan daya yang dipergunakan dihitung. Apabila laju aliran produk dan daya yang dipergunakan diketahui, maka waktu proses dan biaya proses dapat dihitung. Apabila waktu proses dan biaya dapat dihitung maka dapat diketahui kelayakan proses tersebut untuk dilakukan produksi masal dengan melihat waktu proses dan perbandingan dengan harga susu kedelai bubuk yang dijual secara umum.

## 1. 3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui kemampuan mesin pengering semprot dalam mengeringkan susu kedelai
2. Mengetahui laju produk maksimal pada pengeringan susu kacang kedelai dengan beberapa variasi rasio kelembaban, laju dan temperatur udara pengering.
3. Mengetahui konsumsi daya yang dipergunakan dalam proses pengeringan susu kedelai dengan menggunakan mesin spry dryer.
4. Mengetahui biaya dan waktu proses yang dibutuhkan dan perbandingannya dengan harga susu kedelai bubuk yang ada dijual secara umum.

## 1. 4. Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi oleh:

1. Mesin yang digunakan adalah mesin pengering semprot yang terdapat pada laboratorium pengering Universitas Indonesia
2. Susu kedelai yang dipergunakan adalah susu kedelai yang dibuat secara manual dan diambil dari satu produsen selama pengujian.

3. Temperatur pengujian adalah pada temperatur 60°C, 72°C, dan 90°C
4. Rasio kelembaban udara pengering pada 0,010 kg/kg dan 0,012 kg/kg
5. Laju aliran udara pengering untuk pengujian yaitu: 0,014 m<sup>3</sup>/s, 0,017 m<sup>3</sup>/s, dan 0,019 m<sup>3</sup>/s.

### 1. 5. Metodologi Penelitian

Dalam penelitian ini, metode yang dipergunakan adalah sebagai berikut:

#### 1. Studi literatur

Metode yang digunakan dalam pencarian studi literatur ini dengan tinjauan kepustakaan berupa buku-buku yang ada di perpustakaan, jurnal-jurnal tertulis maupun *online*, serta referensi artikel yang didapat melalui internet.

#### 2. Pengambilan data

Data yang diambil dalam penelitian ini adalah data temperatur udara masuk ke sistem, laju aliran produk, serta laju aliran dan kelembaban udara pengering.

#### 3. Perhitungan energi dan biaya

Perhitungan berdasarkan data yang didapatkan dan data yang di dapat dari sumber pustaka.

### 1. 6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

#### Bab 1: Pendahuluan

Menjelaskan mengenai latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metodologi penelitian dan sistematika penulisan.



## Bab 2: Tinjauan Pustaka

Berisi tentang teori dan pengetahuan yang berhubungan dengan produk yang dikeringkan, proses pengeringan semprot dan alat pengering semprot.

## Bab 3: Metodologi Penelitian

Menjelaskan tentang tahapan-tahapan yang harus dilakukan selama kegiatan penelitian, peralatan dan alat ukur yang diperlukan selama penelitian, proses pengambilan data, serta simulasi yang dilakukan.

## Bab 4: Hasil dan Analisa

Berisi tentang hasil percobaan, perhitungan dan analisa terhadap hasil tersebut.

## Bab 5: Penutup

Menjelaskan tentang kesimpulan dari hasil penelitian dan saran untuk kemajuan penelitian berikutnya.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Produk yang Dikeringkan

Susu kacang kedelai adalah cairan putih seperti susu sapi, tetapi dibuat dari kacang kedelai. Kacang kedelai sendiri memiliki protein dan lemak nabati sehingga sangat baik untuk tubuh, tetapi kandungan asam amino dalam proteinnya tidak selengkap protein hewani. Tingkat protein yang terkandung dalam kacang kedelai sangat tinggi dibandingkan dengan beras, jagung, tepung singkong, kacang hijau, daging, ikan segar, dan telur ayam. Kandungan protein pada kedelai mencapai  $\pm 35\%$ , hampir menyamai kadar protein susu skim kering yang memiliki protein  $\pm 36\%$  [1].

**Tabel 2.1. Komposisi kedelai per 100 gram bahan [1]**

KOMPONEN	KADAR(%)
Protein	35 – 45
Lemak	18 – 32
Karbohidrat	12 – 30
Air	7

**Tabel 2.2. Perbandingan antara kadar protein kedelai dengan beberapa bahan makanan lain [1]**

BAHAN MAKANAN	PROTEIN (% BERAT)
Susu skim kering	36,0
Kedelai	35,0
Kacang Hijau	33,0
Daging	19,0
Ikan Segar	17,0
Telur Ayam	13,0
Jagung	9,2
Beras	6,8
Tepung Singkong	1,1

Susu kedelai merupakan pengganti susu sapi, terutama bagi yang alergi terhadap laktosa (*lactose intolerance*). Kadar mutu yang terpenting adalah sebagai berikut: kadar protein minimal 3%, kadar lemak 3%, kandungan total padatan 10%, dan kandungan bakteri maksimum 300 koloni per-gram, serta tidak mengandung bakteri Coli [2].

**Tabel 2.3. Perbandingan komposisi susu kedelai dengan susu sapi dan ASI [1]**

KOMPOSISI	SUSU KEDELAI (%)	SUSU SAPI (%)	ASI (%)
Air	88,60	88,60	88,60
Protein	4,40	2,90	1,40
Karbohidrat	3,80	4,50	7,20
Lemak	2,50	0,30	3,10
Vit. B1	0,04	0,04	0,02
Vit. B2	0,02	0,15	0,03
Vit. A	0,02	0,20	0,20

### 2.1.1. Sifat protein

Fungsi protein dalam tubuh adalah sebagai berikut [3]:

1. Membangun jaringan baru dalam tahap pertumbuhan kehidupan, dari janin sampai dewasa, dan setelah cedera.
2. Memelihara jaringan sudah dibangun dan penggantian jaringan yang rusak.
3. Mengatur zat yang terkandung pada air dalam tubuh dan keseimbangan asam basa.
4. Membentuk enzim, antibodi, beberapa hormon dan salah satu vitamin B.
5. Membentuk susu
6. Memasok energi, setiap gram protein menghasilkan 4 kalori untuk tubuh

Kekurangan protein dalam tubuh pada tahap awal akan mengakibatkan *kwashiorkor* pada anak – anak. Jika bertambah parah disertai dengan kurangnya energi, akan terjadi *nutritional marasmus*. Hal itu akan mengakibatkan keterbelakangan pertumbuhan bagi anak - anak, remaja

memiliki badan yang kurus, dan bagi wanita hamil akan mengakibatkan berat badan tidak cukup dan meningkatkan resiko pada saat proses kelahiran.

Pengaruh peningkatan suhu pada protein adalah terjadinya denaturasi dan koagulasi. Denaturasi adalah perubahan protein yang dapat bersifat *reversible* (mampu kembali ke bentuk semula) maupun *irreversible* (Tidak mampu kembali ke bentuk semula), tetapi pada umumnya bersifat *irreversible*. Setelah terjadi denaturasi akan terjadi proses koagulasi. Proses koagulasi ini terjadi pada suhu 65 °C sampai dengan 90°C [3]. Koagulasi berarti mengental, pembentukan massa, membeku atau memadat. Dalam proses pembuatan susu kedelai cair, suhu yang digunakan untuk memanaskan susu kedelai maksimal 80°C.

### **2.1.2. Sifat karbohidrat**

Fungsi Karbohidrat adalah sumber energi utama bagi tubuh. Dalam setiap gram karbohidrat akan dihasilkan energi sebesar 4 kilo kalori untuk tubuh [3].

Susu kedelai tidak mengandung seluruh jenis karbohidrat karena tidak mengandung laktosa [2] . Tetapi hal ini membuat susu kedelai sangat dianjurkan sebagai pengganti susu sapi bagi orang yang mengalami intoleransi laktosa, mengalami gejala-gejala seperti kembung, kram perut atau diare setelah minum susu sapi.

Monosakarida dan disakarida adalah bentuk karbohidrat yang mudah dicerna. Proses pemanasan akan mengubah karbohidrat menjadi bentuk yang mudah dicerna (monosakarida atau disakarida). Bahkan proses dengan metode HTST (*High Temperatur Short Time*) dapat membuat karbohidrat menjadi mudah larut dalam air dan mudah terhidrolisis oleh enzim. Dalam pembuatan susu, metode HTST dilakukan pada suhu 71,6 °C dalam rentang waktu 15 detik [3].

### 2.1.3. Sifat lemak

Fungsi lemak adalah sebagai berikut [3]:

1. Sumber energi yang terkonsentrasi
2. Melarutkan dan menyerap vitamin A, D, E, K
3. Minyak nabati merupakan sumber asam lemak tak jenuh serta asam lemak esensial linoleat yang membantu pertumbuhan dan merawat kulit.
4. Lapisan lemak membantu menahan panas tubuh
5. Bantalan dan melindungi organ vital tubuh
6. Meningkatkan kadar kekenyangan pada makanan

Dalam proses pemanasan harus diperhatikan suhunya agar tidak timbul lemak trans yang dapat mengakibatkan resiko terkena penyakit jantung koroner (kardiovaskular). Lemak trans terbentuk akibat pemanasan berlebihan (260 °C– 270 °C) pada lemak nabati. Berdasarkan informasi dari [www.news-medical.net/health/Trans-Fat-Chemistry.aspx](http://www.news-medical.net/health/Trans-Fat-Chemistry.aspx), para peneliti di Departemen Pertanian Amerika Serikat telah menyelidiki apakah hidrogenasi dapat dicapai tanpa efek samping produksi lemak trans. Mereka bervariasi tekanan di mana reaksi kimia dilakukan - menerapkan 1.400 kPa (200 psi) tekanan untuk minyak kedelai dalam wadah 2 liter sedangkan pemanasan ke antara 140 ° C dan 170 ° C. Pada kPa 140 standar (20 psi) proses hidrogenasi menghasilkan produk sekitar 40% asam lemak trans berat, dibandingkan dengan sekitar 17% menggunakan metode tekanan tinggi.

### 2.1.4. Sifat vitamin A, B1, B2

Vitamin A atau *Retinol* berguna untuk pertumbuhan dan pembangunan. Kekurangan vitamin A dapat menyebabkan kerusakan pada penglihatan dan menyebabkan kekeringan pada kulit. Vitamin A larut dalam lemak dan akan rusak akibat cahaya dan oksigen tetapi tidak terpengaruh pada pemanasan proses pasteurisasi [3].

Vitamin B1 atau *thiamin* berguna sebagai katalis dalam proses oksidasi karbohidrat. sehingga menghasilkan energi yang berguna bagi tubuh, selain itu vitamin B1 juga membantu proses kerja normal jantung. Kekurangan vitamin B1 akan menyebabkan penyakit beri – beri. Vitamin B1 ini larut air dan akan mengalami kerusakan pada suhu di atas 100°C tetapi berkurangnya vitamin B1 lebih banyak bukan akibat pemanasan, tetapi akibat air hasil masakan dibuang [3].

Vitamin B2 atau *riboflavin* merupakan pigmen kuning yang terlarut dalam air. Vitamin B2 ini larut dalam air, dan tahan panas dalam larutan netral atau asam, namun akan rusak bila dipanaskan dalam larutan basa atau terkena sinar matahari. Kekurangan *riboflavin* dapat menghambat pertumbuhan. Serta mengakibatkan bibir pecah - pecah dan luka pada pinggir mulut, dan buta senja [3].

Vitamin B1 dan B2 akan yang terlarut dalam air atau cairan lainnya, akan hilang bersama dengan penguapan air dan cairan pelarut tersebut.

## 2.2. Proses Pemanasan Susu

Proses pemanasan susu untuk menghilangkan bakteri patogen pada susu adalah dengan proses pasteurisasi. Proses pasteurisasi dapat dibagi menjadi beberapa metode yaitu [3]:

a.  *Holding Method*

Susu dipanaskan hingga temperaturnya mencapai 62,7°C dan ditahan pada temperatur tersebut selama 30 menit.

b.  *Higher Temperatur Short Time Method (HTST)*

Susu dipanaskan hingga temperaturnya mencapai 71,6 °C dan ditahan pada temperatur tersebut selama 15detik.

c.  *Ultra High Temperatur Process*

Susu dipanaskan hingga temperaturnya mencapai 89°C –90°C atau lebih selama 1 detik

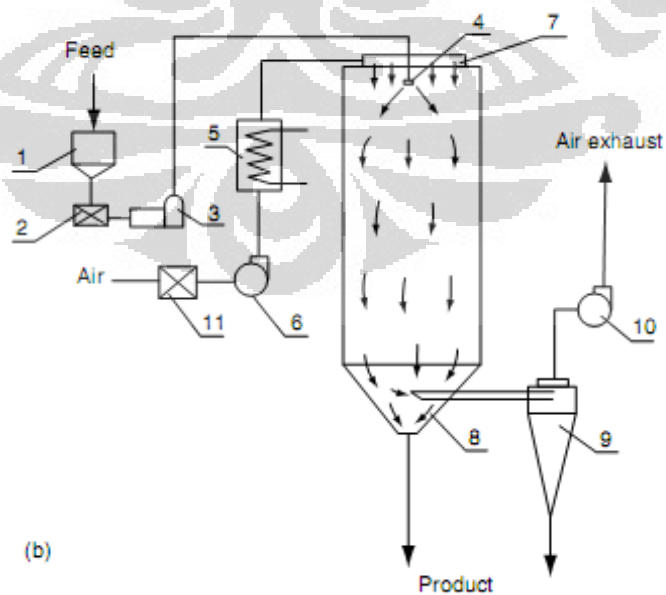
Berdasarkan data di atas maka dapat dirangkum, kebutuhan suhu untuk masing masing zat yang terkandung dalam susu kedelai adalah sebagai berikut

**Tabel 2.4. Rangkuman pengaruh temperatur terhadap nutrisi pada kacang kedelai**

Zat yang terkandung	Temperatur kritis	Keterangan
Protein	65 °C – 90 °C	Pada temperatur tersebut protein akan memadat
Karbohidrat	>71,6 °C	Pada temperatur di atas HTST karbohidrat mudah larut dalam air dan enzim
Lemak	<140 °C	Di atas temperatur 140 akan menghasilkan lemak trans yang mengakibatkan jantung koroner
Vit. B1	<100 °C	Pada temperatur diatas 100 °C Vitamin B1 akan rusak
Vit. B2	-	
Vit. A	-	

### 2.3. Mesin Pengering Semprot

Metode pengeringan semprot merupakan metode pengeringan yang paling banyak digunakan dalam industri terutama industri makanan seperti pembuatan bubuk atau serbuk dari bahan-bahan seperti susu, buah - buahan, bumbu, dan lain-lain.



**Gambar 2.1. Skema pengering semprot [5]**

Bagian-bagian dari unit *pengering semprot*:

1. Tangki pengumpan
2. Penyaring produk cair
3. Pompa pengumpan
4. *Nozzle atomiser* (pada alat yang dimiliki lab. FTUI menggunakan *pneumatik nozzle*)
5. Pemanas udara
6. *Blower*
7. Pendispersi udara
8. Ruang pengering
9. *Cyclon*
10. *Exhaust blower* (dalam alat yang dimiliki lab. FTUI *exhaust blower* tidak dipergunakan)
11. Penyaring udara
  - a. **Tangki pengumpan**  
Tangki pengumpan adalah penampung produk cair untuk diumpankan atau dialirkan oleh pompa
  - b. **Penyaring produk cair**  
Penyaring produk cair berfungsi sebagai penyaring produk dari kotoran fisik.
  - c. **Pompa umpan**  
Pompa pengumpan adalah pompa untuk mengalirkan produk menuju unit pengering.

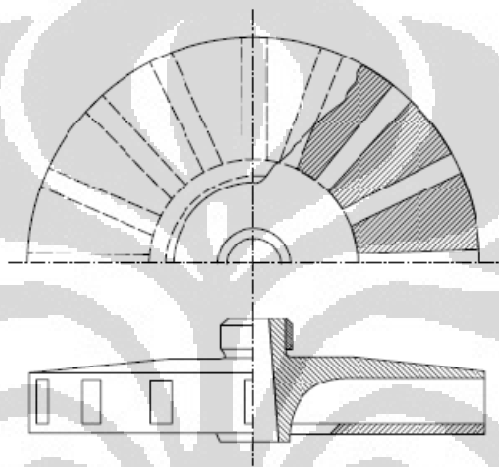


#### d. Atomizer

*Atomizer* adalah bagian yang berfungsi untuk memecah produk cair menjadi butiran – butiran kecil (*droplet*). Maksud menjadikan produk cair menjadi bentuk butiran kecil adalah untuk menambah luasan singgungan produk dengan udara pengering, sehingga proses tranfer massa dan transfer panas kan menjadi lebih baik.

3 macam *atomizer* yang dapat dipergunakan adalah [5]:

- *Wheel atomizer*



Gambar 2.2. Skema *wheel atomizer* [5]

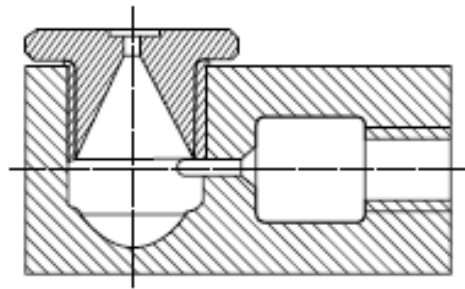
Kelebihan :

- Dapat digunakan untuk kecepatan yang tinggi hanya dengan satu *wheel atomizer*.
- Sesuai untuk produk yang bersifat abrasif
- Kecenderungan terjadinya penyumbatan sangat minimal
- Sangat mudah dalam mengendalikan ukuran *droplet* dengan mengganti *wheel revolution*

Kekurangan

- Membutuhkan energi yang lebih besar
- Membutuhkan biaya yang lebih tinggi
- Membutuhkan area yang lebih luas untuk ruang pengering.

- *Pressure Nozzle*



Gambar 2.3. Skema pressure nozzle [5]

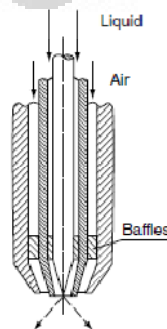
Kelebihan :

- Konstruksi yang sederhana
- Rendah biaya
- Membutuhkan energi lebih kecil dari *wheel nozzle* dan *pneumatic nozzle*
- Karakteristik semprotan yang diinginkan dapat dibuat, dengan pergantian desain *whirl chamber*.

Kekurangan

- Tidak memungkinkan melakukan pengendalian dan pengaturan pola semprotan dan kapasitas *nozzle*.
- Banyak *nozzle* yang dipasang keliling tidak sesuai untuk suspensi karena batasan phase.
- Cenderung terjadi penyumbatan.
- Memiliki efek korosi dan erosi karena *orifice* yang kecil, dengan perubahan karakteristik semprotan.

- *Pneumatic Nozzle*



Gambar 2.4. Skema pneumatik nozzle [5]

Kelebihan :

- Dapat menghasilkan ukuran *droplet* yang lebih halus, sehingga ukuran bubuk yang dihasilkan menjadi lebih halus.
- Biaya untuk pompa lebih rendah daripada dengan *pressure nozzle*, karena tidak membutuhkan tekanan tinggi.

Kekurangan

- Membutuhkan energi dan biaya tambahan dengan adanya kompressor sebagai pemasok udara untuk pencampurandengan produk.
- Biaya untuk pembelian *pneumatik nozzle* lebih tinggi dibanding *pressure nozzle*.

**e. Pemanas udara**

Pemanas udara digunakan untuk menaikkan temperatur udara pengeringan. Pengaturan temperatur udara pengeringan sangat penting dalam menghasilkan produk yang baik. Apabila temperatur terlalu rendah, dapat mengakibatkan pruduk yang dihasilkan tidak kering. Tetapi apabila temperatur terlalu tinggi, dapat mengakibatkan kerusakan pada produk dan berkurangnya kandungan nutrisi produk.

**f. Blower**

*Blower* digunakan untuk mengalirkan udara pengering ke ruang pengering.

**g. Pendispersi udara**

Pendispersi udara digunakan untuk menyebarkan udara ke dalam ruang pengering.

**h. Ruang pengering**

Ruang pengering digunakan sebagai ruang pencampuran *droplet* dengan udara pengering, sehingga terjadi proses pengeringan.

Dimensi ruang pengering harus memfasilitasi proses pengeringan, sehingga produk yang dikeringkan benar benar sudah kering ketika menyentuh dinding dan dasar ruang pengering. Dimensi ruang pengering

Universitas Indonesia

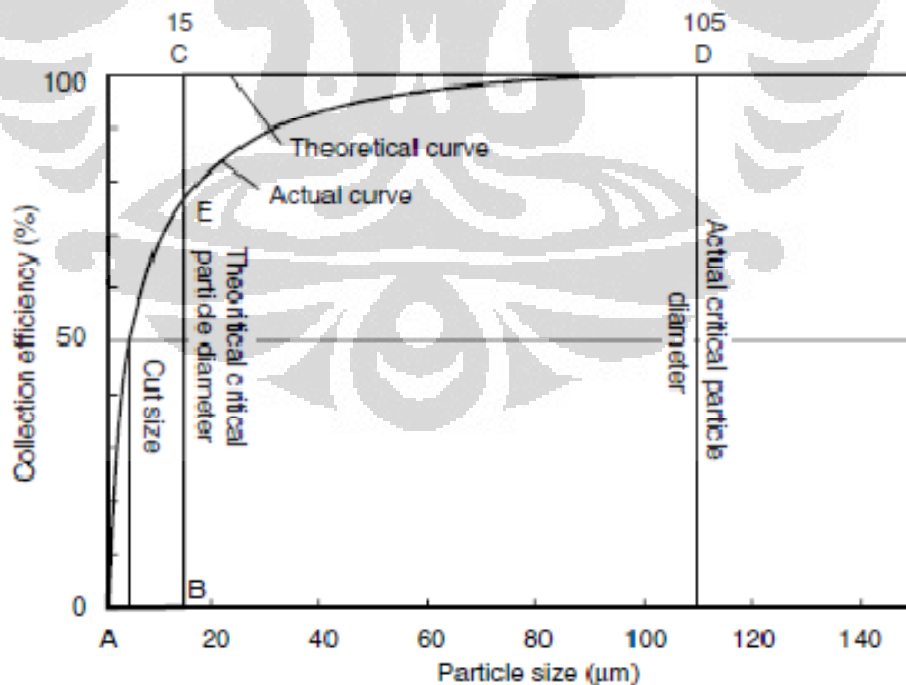
dapat dihitung berdasarkan kecepatan aliran *droplet* dan sudut pancaran *droplet* yang keluar dari atomizer. *Wheel atomizer* memiliki sudut pancaran lebih besar dari *nozzle*. Oleh karena itu, penggunaan *wheel atomizer* membutuhkan ruang pengering membutuhkan diameter lebih besar, tetapi lebih pendek dibanding apabila menggunakan *nozzle*.

### i. *Cyclon*

*Cyclon* digunakan sebagai separator serbuk dan udara pengering, yaitu pemisah antara udara kering dan produk serbuk. Dalam siklon ini udara kering dan produk serbuk akan dipisahkan, produk akan ditampung dalam penampungan sedangkan udara pengering akan dilepaskan ke udara bebas. Dalam *cyclon*, diusahakan agar produk serbuk tidak terangkat oleh udara pengering dan terbuang kembali. Untuk itu, maka *drag force* harus lebih kecil dari berat produk serbuk.

Jenis separator lain yang dapat digunakan antara lain [5]:

- *Bag filter*
- *Electrostatik precipitator*



Gambar 2.5. Kurva efisiensi *cyclon* secara teori dan aktual [5]

**j. Exhaust blower**

*Exhaust blower* digunakan apabila tekanan udara yang mengalir dalam *cyclon* tidak memungkinkan udara pengering tersebut mengalir ke udara bebas.

**k. Penyaring udara**

Penyaring udara berfungsi untuk memastikan udara yang dihembuskan ke ruang pengering merupakan udara bersih sehingga tidak merusak produk.

## **2.4. Pengertian Pengeringan**

Pengeringan secara umum merupakan proses penguapan kandungan air pada suatu zat dengan menggunakan energi panas sehingga zat tersebut menjadi bentuk padat. Pada proses tersebut terjadi 2 proses yang terjadi bersamaan yaitu proses perubahan energi panas dari lingkungan untuk menguapkan zat dan proses perubahan massa pada zat akibat penguapan kandungan air pada zat tersebut [5].

Menurut Brennan (1978), pengeringan atau dehidrasi didefinisikan sebagai pengurangan kandungan air oleh panas buatan dengan kondisi suhu, RH, dan aliran udara terkontrol. Tujuan utama dari pengeringan atau dehidrasi adalah untuk mengurangi kandungan air tanpa merusak struktur produk [6].

Berdasarkan 2 diskripsi pengeringan tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa terdapat beberapa pemahaman tentang pengeringan, yaitu:

- Pengeringan adalah pengurangan kandungan air pada suatu zat
- Terjadi perubahan massa pada zat yang dikeringkan
- Terjadi perubahan energi panas pada lingkungan
- Terkontrol dengan kondisi suhu, kelembaban, dan aliran udara
- Pengeringan bertujuan mengurangi kandungan air tanpa merusak produk

## 2.5. Jenis - Jenis Air yang Terkandung pada Material

Dalam suatu material basah atau cair, terdapat kandungan air yang mengelilinginya. Jenis-jenis air tersebut adalah [7]:

- Air terikat secara kimia atau air hidrasi (*Water of hydration*)
- Air terikat secara fisik (*Bound water*)
- Air bebas (*Free water*)

### 2.5.1. Air terikat secara kimia atau air hidrasi

Air hidrasi adalah air yang terkandung dalam material dan menjadi bagian dari material kering. Air hidrasi ini tidak boleh hilang dari material, apabila air hidrasi hilang, maka struktur dan jenis material akan berubah. Air ini terdiri atas :

- Air yang terikat sebagai air kristal.
- Air yang terikat dalam sistem dispersi koloidal yang terdiri dari partikel-partikel yang mempunyai bentuk dan ukuran beragam.

### 2.5.2. Air terikat secara fisik

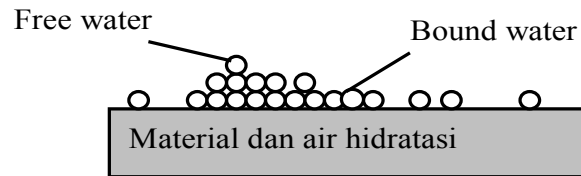
Air terikat secara fisik berada di antara material dan air bebas. Air jenis ini merupakan bagian air yang terdapat dalam jaringan matriks bahan (tenunan bahan) akibat adanya ikatan - ikatan fisik. Air jenis ini terdiri atas :

- Air terikat menurut sistem kapiler yang ada dalam bahan karena adanya pipa-pipa kapiler pada bahan.
- Air absorpsi yang terdapat pada tenunan-tenunan bahan karena adanya tenaga penyerapan dari dalam bahan.
- Air yang terkurung di antara tenunan bahan karena adanya hambatan mekanis dan biasanya terdapat pada bahan yang berserat.

### 2.5.3. Air bebas

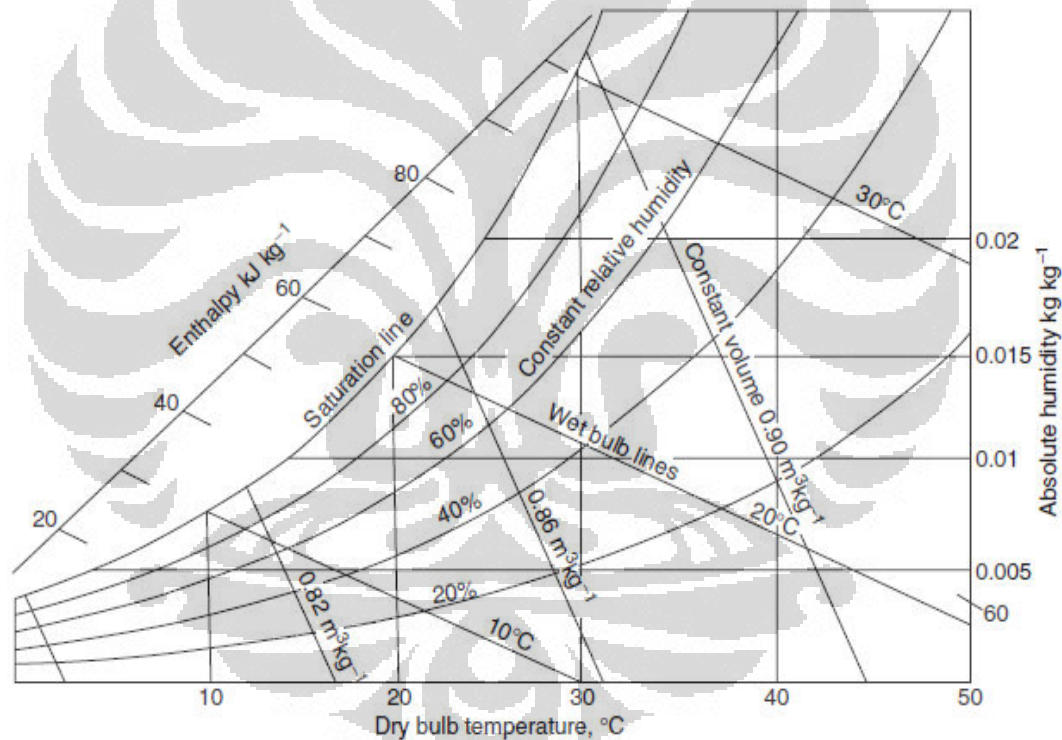
Air bebas adalah kandungan air terluar dari material. Air ini terdapat pada permukaan bahan, sehingga dapat digunakan oleh mikroorganisme untuk pertumbuhannya serta dapat dijadikan sebagai media reaksi - reaksi

kimia. Air bebas dapat dengan mudah diuapkan pada proses pengeringan. Bila air bebas ini diuapkan seluruhnya, maka kadar air bahan akan berkisar antara 12 % sampai 25 % .



Gambar 2.6. Lokasi air bebas, air terikat secara fisik, dan air hidrasi terhadap material

## 2.6. Diagram Psikrometrik



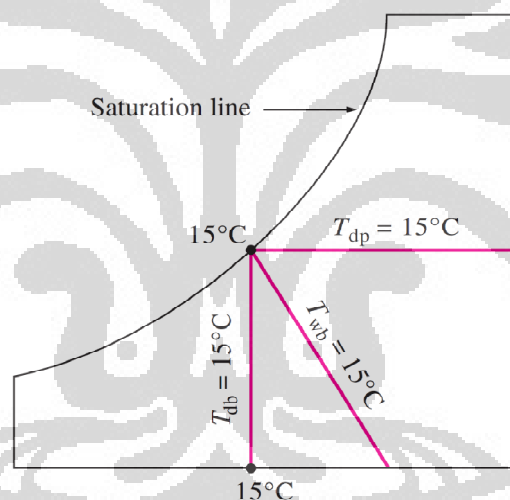
Gambar 2.7. Diagram psikrometrik [5]

Diagram psikrometrik memuat tentang sifat-sifat campuran udara dan uap air. Proses pengeringan tidak akan dapat lepas dari diagram psikrometrik. Dengan diagram psikrometrik dapat diketahui *enthalpy*, *wet bulb* temperetur, *dry bulb* temperetur, *humidity ratio*, *relative humidity*, dan properti udara lainnya.

Untuk dapat menggunakan diagram psikrometrik maka perlu diketahui simbol – simbol dan keterangan yang terdapat pada diagram tersebut.

### 2.6.1. Garis jenuh (saturation line)

Garis jenuh adalah suatu garis pada diagram psikrometrik yang menggambarkan posisi udara dalam keadaan berbentuk gas, atau mengembun menjadi air. Untuk lebih jelasnya lihat gambar garis jenuh. Pada gambar menunjukkan titik A merupakan keadaan suatu udara yang ingin dilakukan pengembunan. Untuk dapat terjadi proses pengembunan, maka suhu campuran tersebut harus diturunkan hingga B ( $^{\circ}\text{C}$ ), sehingga apabila ditarik garis lurus di kedua titik tersebut (A dan B) maka titik pertemuannya akan berada pada garis jenuh. [8]



Gambar 2.8. Garis jenuh [8]

### 2.6.2. Temperatur bola kering (dry bulb)

Temperatur tersebut dapat dibaca pada termometer dengan sensor kering dan terbuka. Tetapi perlu diperhatikan bahwa penunjukannya tidak selalu tepat karena ada pengaruh radiasi panas kecuali jika sensornya memperoleh ventilasi yang cukup baik [5].

### 2.6.3. Temperatur bola basah (wet bulb)

Temperatur ini disebut juga temperatur jenuh adiabatik diperoleh dengan menggunakan termometer dengan sensor yang dibalut dengan kain



basah untuk menghilangkan pengaruh radiasi panas, tetapi perlu diperhatikan bahwa sensor harus dialiri udara sekurang-kurangnya 5 m/s [8].

#### 2.6.4. Kelembaban relatif

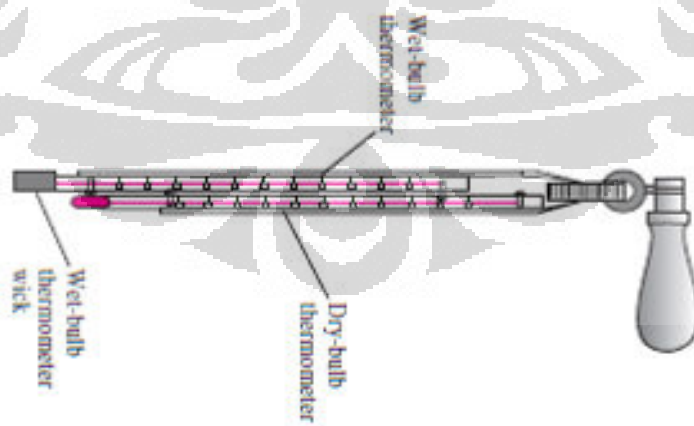
Kelembaban relatif adalah perbandingan antara tekanan parsial uap air yang ada di udara dengan tekanan uap jenuh pada suhu yang sama.

$$RH = \left[ \frac{P_v}{P_s} \right] \times 100\% \quad (2.1)$$

di mana :

- RH = Kelembaban Relatif (%)
- $P_v$  = Tekanan parsial uap air pada suhu T ( kPa)
- $P_s$  = Tekanan uap air jenuh pada suhu T (kPa)
- T = Suhu atmosfer ( $^{\circ}$  C)

Salah satu alat pengukur kelembaban, temperatur bola basah, dan temperatur bola kering sekaligus adalah sling psikrometrik dan higrometer. Sling psikrometer terdiri dari dua termometer, salah satu diantaranya dilengkapi dengan *wick* yang terdiri dari kain atau kapas basah. Setelah *wick* dibasahi, alat tersebut diputar sehingga udara sekitar akan menguapkan air yang ada pada *wick* tersebut.



Gambar 2.9. Sling psikrometrik [8]

Suhu bola basah akan terus turun sampai akhirnya tidak dapat turun lagi. Pada keadaan tersebut uap air yang menguap sama dengan uap air yang

mengembun di kapas atau dengan kata lain suhu kapas terendah pada keadaan jenuh. Kemudian suhu yang ditunjukkan masing-masing termometer dicatat, dan kelembabannya dapat ditentukan dengan menggunakan diagram psikrometrik.

Perbedaan suhu bola kering dan bola basah menunjukkan kelembaban udara. Semakin besar perbedaan suhu yang ada, maka semakin rendah kelembaban nisbi yang ada di udara sekeliling pada saat itu.

Pada diagram psikrometrik (lihat gambar 2.7), suhu bola kering ditunjukkan oleh garis tegak lurus, sedangkan suhu bola basah oleh garis-garis miring. Kelembaban nisbi ditunjukkan oleh garis lengkung, sedang garis-garis horizontal menunjukkan kandungan air di udara.

### 2.6.5. Rasio kelembaban

Didefinisikan sebagai massa uap air dalam satu massa udara kering [8]:

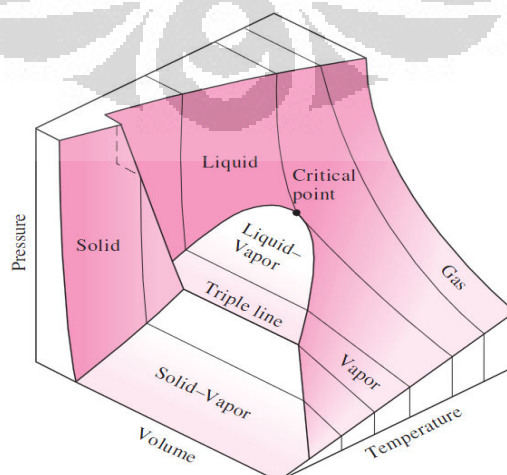
$$\omega = \frac{m_v}{m_{da}} \quad (2.2)$$

$\omega$  = rasio kelembaban (*humidity ratio*)

$m_v$  = massa uap air [kg]

$m_{da}$  = massa udara kering [kg]

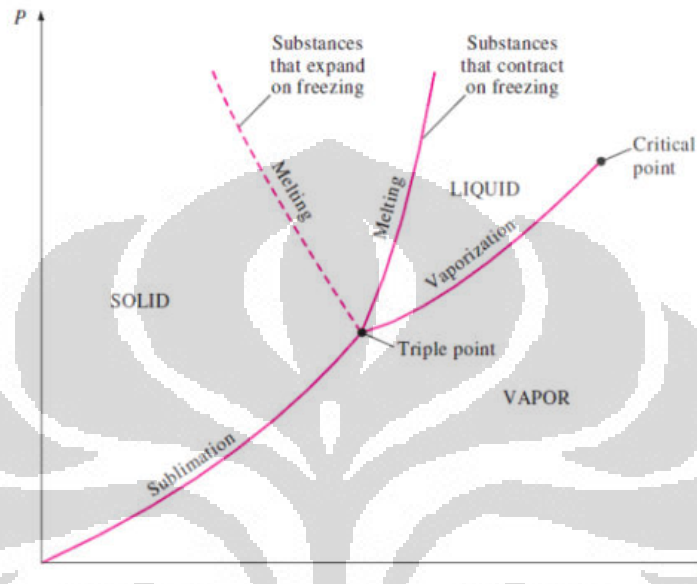
## 2.7. Perubahan Bentuk Zat



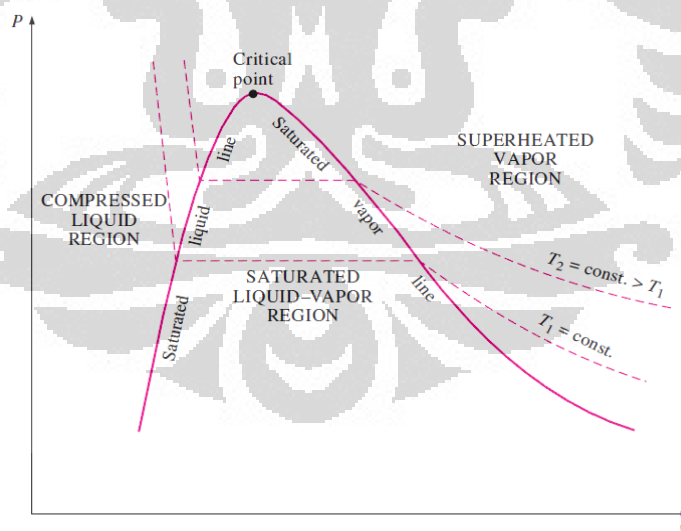
Gambar 2.10. Diagram 3 dimensi hubungan P-v-T berhubungan dengan bentuk zat [8]

Universitas Indonesia

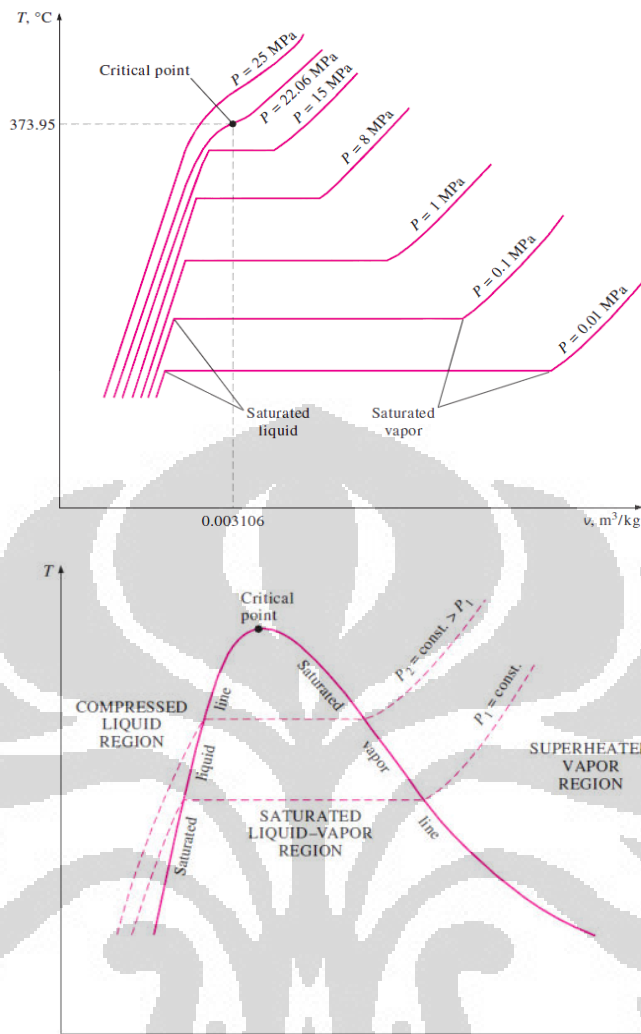
Dalam proses pengeringan terjadi perubahan massa akibat terjadi penguapan pada air yang terkandung dalam produk. Penguapan atau perubahan bentuk suatu zat dari air menjadi vapor ataupun gas bergantung pada temperatur, tekanan, dan volume.



Gambar 2.11. Diagram P-T berhubungan dengan bentuk zat [8]



Gambar 2.12. Diagram P-v berhubungan dengan bentuk zat [8]



**Gambar 2.13.** Diagram T-v berhubungan dengan bentuk zat [8]

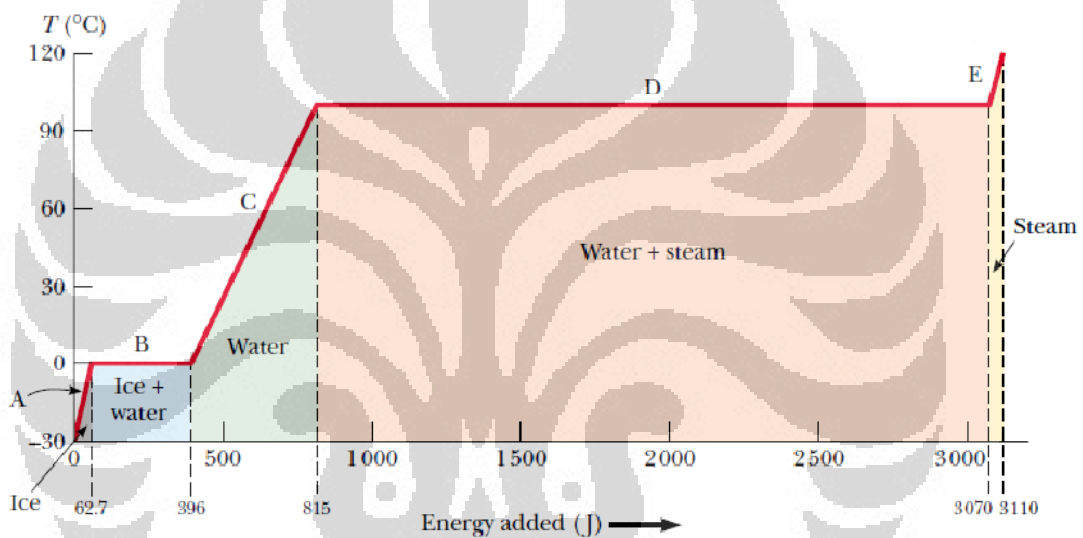
Maksud dari beberapa istilah dalam 3 gambar di atas yaitu:

- Notasi P : Tekanan
- Notasi V : Volume
- Notasi T : Temperatur
- Liquid region* : Daerah dimana zat berbentuk cair
- Saturated liquid-vapour region* : Daerah di mana zat berbentuk campuran antara cair dan gas (uap)
- Superheated vapour region* : Daerah di mana zat berbentuk gas sepenuhnya

Universitas Indonesia

- g. *Saturated liquid line* : Garis batas suatu zat akan berbentuk cair seluruhnya
- h. *Saturated vapor line* : Garis batas suatu zat akan berbentuk gas seluruhnya
- i. *Critical point* : Titik pertemuan *saturated vapor line* dan *saturated liquid vapor line*
- j. *Triple point* : Titik dimana suatu zat berbentuk gas, cair, dan padat

Energi yang dibutuhkan dalam perubahan bentuk tersebut adalah tergantung dari perubahan energi dalamnya.



Gambar 2.14. Diagram perubahan bentuk air terhadap perubahan temperatur dan energi [11]

Ketika terjadi perubahan temperatur, zat tidak berubah bentuk. Kalor yang berpindah adalah sebesar [11]:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t \quad (2.3)$$

Ketika zat terjadi perubahan bentuk, tidak terjadi perubahan temperatur. Kalor yang berpindah adalah sebesar [11]:

$$Q = m \cdot L \quad (2.4)$$

$$Q = m(h_g - h_l) \quad (2.5)$$

Q	= jumlah energi kalor yang berpindah ( joule )
m	= massa zat ( kg )
c	= kalor spesifik ( J/kg.°C )
L	= kalor latent ( J/kg )
$h_g$	= <i>Enthalpy</i> gas ( kJ/kg )
$h_l$	= <i>Enthalpy</i> cair ( kJ/kg )

## 2.8. Kandungan Air (*Moisture of Content*)

Kandungan air suatu bahan menunjukkan banyaknya air persatuan bobot bahan. Kadar air dapat dinyatakan dalam persen berat basah (*wet basis*) digambarkan dengan fraksi massa, maupun dalam persen berat kering (*dry basis*) biasa disebut rasio massa.

Fraksi massa kadar air dalam persen berat basah (x) [6]:

$$x = \frac{m_w}{m_t} \quad (2.6)$$

Atau dapat diartikan

$$x = \frac{m_w}{m_w + m_d} \quad (2.7)$$

Rasio massa kadar air dalam persen berat kering/ moisture content (X) [5]:

$$X = \frac{m_w}{m_d} \quad (2.8)$$

Karena:

$$x = \frac{m_w}{m_d + m_w}$$

$$x.(m_d + m_w) = m_w$$

$$x.m_d + x.m_w = m_w$$

$$x.m_d = m_w - x.m_w$$

$$x.m_d = (1 - x).m_w$$

$$\frac{x.m_d}{(1 - x)} = m_w$$

$$\frac{x}{(1 - x)} = \frac{m_w}{m_d}$$

Maka hubungan fraksi massa ( $x$ ) dan rasio massa ( $X$ )

$$X = \frac{x}{(1 - x)} \quad (2.9)$$

$$x = \frac{X}{(1 + X)} \quad (2.10)$$

Di mana:

$x$  = fraksi massa kadar air berat basah (0 – 1)

$X$  = rasio massa kadar air berat kering (0 – 1)

$m_w$  = massa air dalam bahan (g)

$m_d$  = massa padatan dalam bahan (g) atau berat bahan kering mutlak

$m_t$  = massa total (g)

Berat bahan kering mutlak adalah berat bahan setelah mengalami pengeringan dalam waktu tertentu sehingga beratnya konstan. Pada proses pengeringan, air yang terkandung dalam bahan tidak dapat seluruhnya diuapkan karena terdapat air hidrasi yang merupakan unsur dari bahan, meskipun demikian hasil yang diperoleh disebut juga sebagai berat bahan kering.

## 2.9. Aktivitas Air

Istilah aktifitas air digunakan untuk menjabarkan air yang terikat atau air bebas dalam suatu system . Air yang terkandung dalam bahan pangan apabila terikat kuat dengan komponen bukan air, maka akan lebih sukar untuk digunakan dalam aktivitas biologis maupun aktivitas kimia hidrolisis.

Menurut Hukum Raoult, aktivitas air berbanding lurus dengan jumlah mol pelarut dan berbanding terbalik dengan jumlah mol di dalam larutan [6].

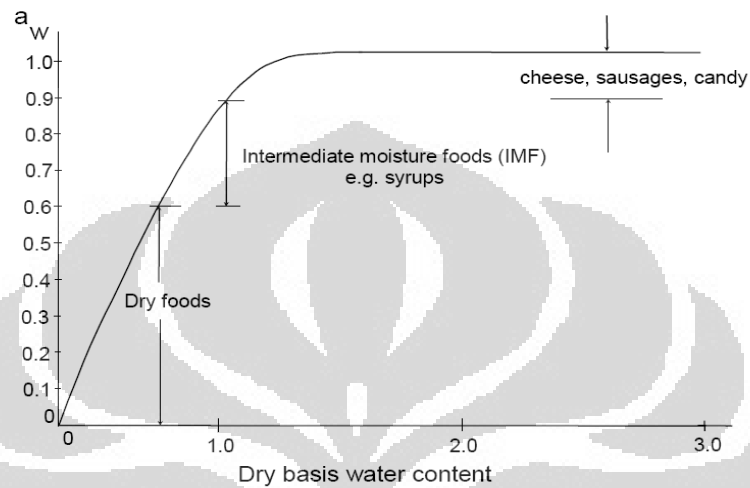
$$a_w = \frac{n_1}{n_1 + n_2} \quad (2.11)$$

di mana :

$n_1$  = jumlah mol pelarut

$n_2$  = jumlah mol zat terlarut

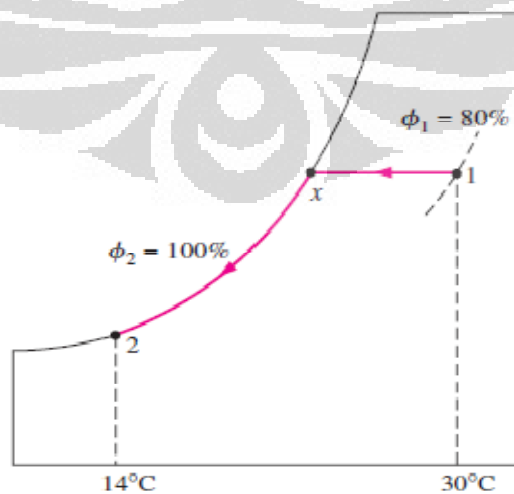
$n_1 + n_2$  = jumlah mol larutan



Gambar 2.15. Aktifitas air terhadap dry basis moisture content [6]

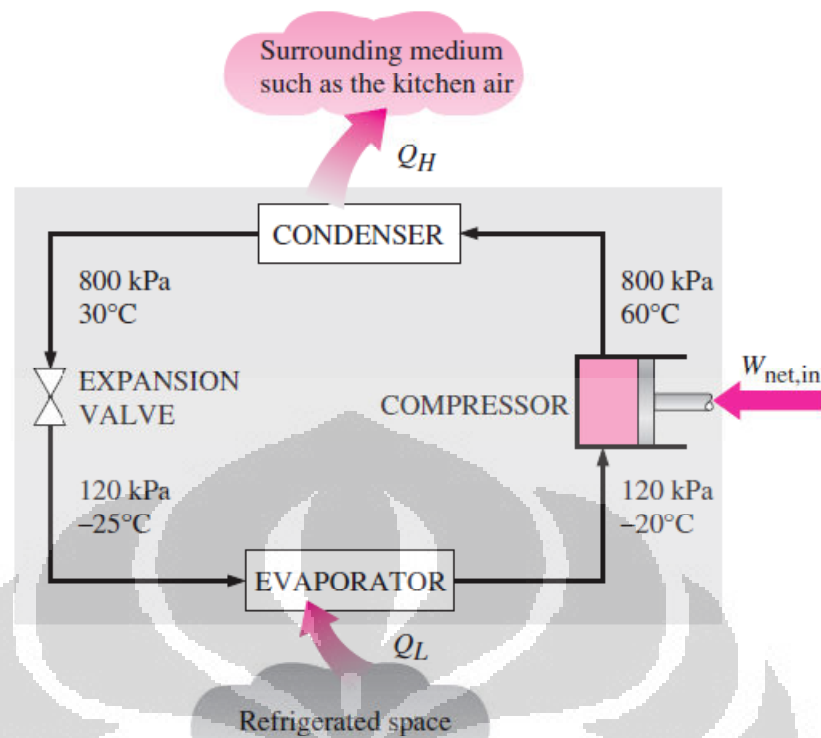
## 2.10. Dehumidifikasi

Proses dehumidifikasi adalah proses pengembunan udara, sehingga kadar uap air yang terkandung dalam udara berkurang. Untuk proses dehumidifikasi menggunakan prinsip refrigerasi.



Gambar 2.16. Psikrometri pada proses pendinginan dehumidifikasi [8]





Gambar 2.17. Rangkaian *refrigerasi* [8]

Proses dehumidifikasi terjadi pada bagian *evaporator*, di mana kalor dari udara diserap oleh *refrigerant* sehingga terjadi penurunan temperatur dan pengembunan.

### 2.11. Perhitungan Laju Aliran Udara dengan Menggunakan Pipa *Orifice*

Perhitungan laju aliran udara dapat menggunakan persamaan kontinuitas yaitu [11]:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (2.12)$$

Jika aliran itu adiabatik dan tanpa gesekan (*frictionless*) dan fluida itu tak mampu mampat (*Incompressible*) maka persamaan Bernoulli dapat ditulis [11]:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho_1 v_1^2 + \rho_1 g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho_2 v_2^2 + \rho_2 g h_2 \quad (2.13)$$

karena  $\rho_1 = \rho_2$  dan  $h_1 = h_2$ , maka:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho_1 v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho_2 v_2^2$$

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \rho v_2^2 - \frac{1}{2} \rho v_1^2$$

Karena

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

$$v_1 = \frac{A_2}{A_1} v_2$$

Sehingga

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \rho v_2^2 - \frac{1}{2} \rho \left( \frac{A_2}{A_1} v_2 \right)^2$$

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \rho v_2^2 - \frac{1}{2} \rho \left( \frac{A_2}{A_1} v_2 \right)^2$$

$$P_1 - P_2 = \frac{\rho v_2^2}{2} \left[ 1 - \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right] \quad (2.14)$$

$v_1, v_2$  = kecepatan aliran sebelum dan sesudah aliran ( $\text{m/s}^2$ )

$P_1, P_2$  = tekanan aliran sebelum dan sesudah lewat *orifice* (Pa)

$A_1, A_2$  = luas penampang sebelum dan sesudah *orifice* ( $\text{m}^2$ )

Maka laju volumetrik ( $Q_{\text{ideal}}$ ) adalah

$$Q_{\text{ideal}} = A_2 v_2 = \frac{A_2}{\sqrt{1 - \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^2}} \sqrt{\frac{2}{\rho(P_1 - P_2)}} \quad (2.15)$$

$Q_{\text{ideal}}$  = laju aliran volume sebelum *orifice* ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

### 2.12. Droplet

*Droplet* adalah butiran air yang terbentuk setelah *atomizer*. Produk cair dijadikan butiran air agar bidang sentuh dengan udara pengering lebih luas, sehingga proses pengeringan lebih cepat.

Apabila bentuk *droplet* diasumsikan sebagai bola, maka volume *droplet*:

$$V_d = \frac{4\pi r^3}{3} \quad (2.16)$$

Sehingga massa satu *droplet* ( $m_d$ ) (kg)

$$m_d = V_d \cdot \rho_b$$

$$m_d = \frac{4\pi r^3 \cdot \rho_b}{3} \quad (2.17)$$

Di mana:

- $r$  = jari – jari *droplet* (m)
- $V_d$  = volume *droplet* (m<sup>3</sup>)
- $\rho_b$  = massa jenis *droplet* (kg/m<sup>3</sup>)

### 2.13. Laju Penguapan

- **Berbasis berat basah**

Laju penguapan adalah turunan pertama dari perubahan massa *droplet* per satuan waktu.

$$x = \frac{m_w}{m_w + m_d}$$

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\frac{dm_w}{dt}(m_w + m_d) + m_w \left( \frac{d(m_w + m_d)}{dt} \right)}{(m_w + m_d)^2}$$

Karena massa kering *droplet* adalah konstan maka  $\frac{dm_d}{dt} = 0$ , sehingga:

$$\frac{dx}{dt} = \left( \frac{m_d + 2m_w}{(m_w + m_d)^2} \right) \left( \frac{dm_w}{dt} \right) \quad (2.18)$$

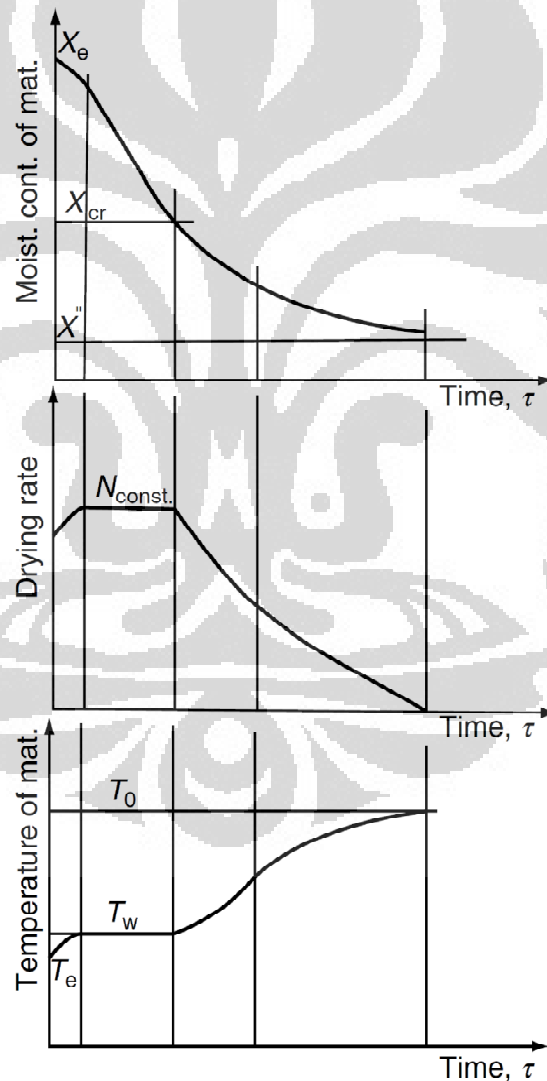
- Berbasis berat kering

$$x = \frac{m_w}{m_d}$$

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\frac{dm_w}{dt}(m_d) + m_w \left(\frac{dm_d}{dt}\right)}{(m_d)^2}$$

Karena massa kering *droplet* adalah konstan maka  $\frac{dm_d}{dt} = 0$ , sehingga:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{(m_d)}{(m_d)^2} \frac{dm_w}{dt} \quad (2.19)$$



Gambar 2.18. Karakteristik beberapa variabel dalam proses pengeringan [5]

## 2.14. Waktu Pengeringan

- *Constant Rate Periode* [9]

$$t_c = \frac{\lambda \cdot \rho_w \cdot (D_b^2 - D_c^2)}{8 \cdot k \cdot (T_a - T_c)} \quad (2.20)$$

$\lambda$  = kalor laten penguapan  $\left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right)$

$\rho_w$  = massa jenis air  $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$

$D_c$  = diameter kritis (m)

$T_a$  = suhu udara kering udara panas ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_c$  = suhu udara basah udara panas keluar ruang pengering ( $^{\circ}\text{C}$ )

- *Falling Rate Periode* [9]

$$t_f = \frac{\lambda \cdot \rho_p \cdot D_c^2}{6 \cdot k \cdot (T_a - T_w)} (m_c - m_f) \quad (2.21)$$

$m_c$  = kadar *moisture* kritis *dry bulb basis*

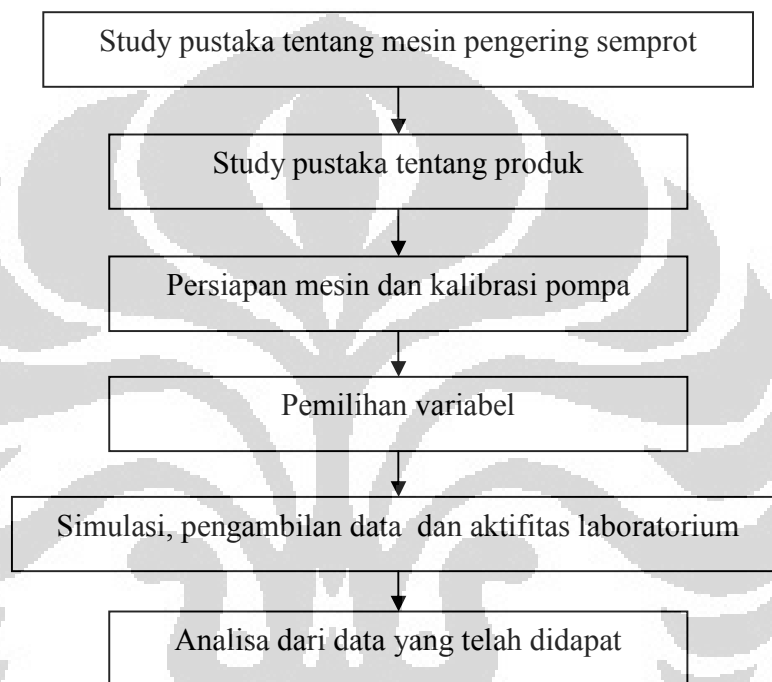
$m_f$  = kadar *moisture* produk *dry bulb basis*

- Total Waktu Pengeringan

$$t = t_c + t_f \quad (2.22)$$

## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Alur Penelitian



**Gambar 3.1. Diagram alur penelitian**

Studi pustaka tentang mesin pengering semprot adalah proses penggalan pengetahuan tentang mesin pengering semprot dan proses pengeringan yang terjadi pada mesin tersebut.

Studi pustaka tentang produk adalah proses penggalan pengetahuan tentang susu kacang kedelai, tentang kandungan nutrisinya, dan pengaruh temperatur terhadap nutrisinya tersebut.

Persiapan mesin dan kalibrasi pompa adalah kegiatan perakitan mesin dan kalibrasi pompa, sehingga mesin dapat berjalan baik dan siap untuk melakukan pengujian.

Pemilihan variabel adalah proses pemilihan kondisi batas yang digunakan, berkaitan dengan ketahanan nutrisi terhadap kondisi tersebut dan kemampuan mesin mencapai kondisi tersebut.

Simulasi, pengambilan data dan aktifitas laboratorium adalah kegiatan penggunaan mesin untuk memproses susu kedelai, sehingga didapatkan data yang cukup untuk dapat diolah sesuai dengan tujuan penelitian ini.

Analisa dari data yang didapat adalah kegiatan menganalisa data dan perhitungan dari data yang didapat. Analisa ini jangan sampai keluar dari tujuan penelitian ini.

### **3. 2. Objek, Waktu, dan Tempat Penelitian**

Objek penelitian ini adalah susu kacang kedelai. Yang diamati dari obyek tersebut adalah flow produk maximum yang dapat diproses dengan pengering semprot yang ada di Laboratorium Perpindahan Panas, Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia. Pengambilan data dilakukan selama periode waktu 19 Mei 2012 s/d 2 Juni 2012.

Data yang diamati dalam penelitian ini antara lain temperatur udara masuk ke *Blower*, temperatur udara setelah *evaporator*, laju aliran udara masuk ke ruang pengering, temperatur udara yang masuk ke ruang pengering, laju aliran produk, tekanan produk. Data tersebut kemudian diolah untuk mengetahui kinerja mesin pengering semprot terhadap susu kedelai cair.

### **3. 3. Langkah Pengambilan Data**

Langkah awal adalah mengatur variabel tetap, yaitu: tegangan listrik pompa penekan sebesar 1,5 Volt, dan tekanan udara kompresor untuk penekan produk pada 2 bar.

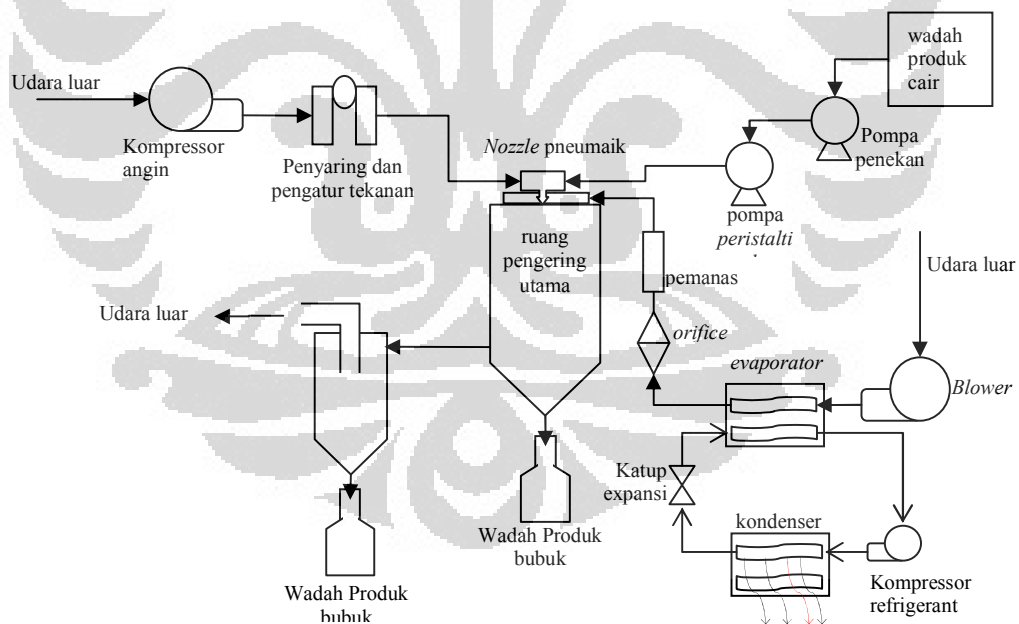
Universitas Indonesia

Langkah kedua, mengatur variabel berubah, yaitu: temperatur udara setelah *evaporator*, laju aliran udara masuk ke ruang pengering, dan temperatur udara yang masuk ke ruang pengering..

Langkah ketiga, menyalakan pompa produk yang telah diatur pada laju aliran rendah. Kemudian amati proses pengeringan pada ruang pengering selama 5 menit, apabila belum menunjukkan adanya kebasahan atau terjadinya titik air pada ruang pengering, tingkatkan laju aliran produk. Berhenti meningkatkan laju aliran produk apabila ruang pengering menunjukkan tanda - tanda basah atau terjadi titik air. Tunggu dan amati selama 30 menit, untuk melihat perkembangan proses. Catat data pada posisi sebelum ruang pengering menunjukkan tanda –tanda basah.

### 3. 4. Rangkaian Pengering Semprot dan Alat Ukur yang Dipergunakan

Rangkaian pengering semprot yang dipergunakan adalah sebagai berikut:



Gambar 3.2. Skema rangkaian pengering semprot yang dipergunakan



- Wadah produk cair

Wadah produk cair merupakan tempat awal produk cair untuk kemudian dialirkan

- Pompa penekan

Pompa penekan berfungsi untuk memberikan tekanan yang cukup pada produk cair, sehingga tidak terjadi aliran balik.

Pompa ini diatur dengan menggunakan adaptor DC untuk mengatur daya pompa. Pengaturan daya pompa dengan cara mengatur tegangan listrik yang disalurkan di pompa. Selama pengujian, akan digunakan daya listrik sejumlah 1,5 volt.



(a)

(b)

Gambar 3.3. (a) Pompa penekan dan (b) adaptor DC

- Pompa *peristaltik*

Pompa *peristaltik* digunakan untuk mengatur laju aliran produk yang masuk ke ruang pengering. Dalam mengatur laju aliran produk, pompa *peristaltik* memakai satuan rpm.



Gambar 3.4. Pompa *peristaltik*

- Kompresor angin dan pengatur tekanan

Kompresor angin dipergunakan sebagai penyalur angin bertekanan untuk meningkatkan tekanan produk cair. Tekanan kompresor angin diatur agar tetap di 2 bar.



Gambar 3.5. Penyaring dan pengatur tekanan udara

- *Pneumatic nozzle*

*Pneumatic nozzle* merupakan pencampur antara produk cair dan udara bertekanan. Sehingga didapatkan aliran produk dengan tekanan yang telah ditentukan.



Gambar 3.6. *Pneumatic nozzle*

- *Blower*

*Blower* dipergunakan untuk menghembuskan udara luar masuk ke sistem. Laju aliran udara maksimal adalah  $1.320 \text{ m}^3/\text{jam}$ . Untuk mengatur laju aliran udara yang masuk, terdapat katup pembuangan untuk membuang udara berlebih.



(a)

(b)

**Gambar 3.7.** (a) *Blower* dan (b) katup pengatur laju aliran udara

- Sistem pendinginan

Sistem pendingin terdiri dari *evaporator*, *compressor refrigerant*, kondenser, dan katup ekspansi. Dengan menggunakan sistem pendingin, maka kelembaban udara yang masuk ke sistem dapat dijaga. Yang perlu menjadi perhatian adalah temperatur udara yang keluar dari *evaporator* harus di bawah temperatur *dew point*-nya. Sehingga kelembaban yang keluar dari *evaporator* adalah 100%. Dalam penelitian kali ini diatur agar temperatur keluar dari *evaporator* adalah  $17^\circ\text{C}$  dan  $14^\circ\text{C}$ .



(a)

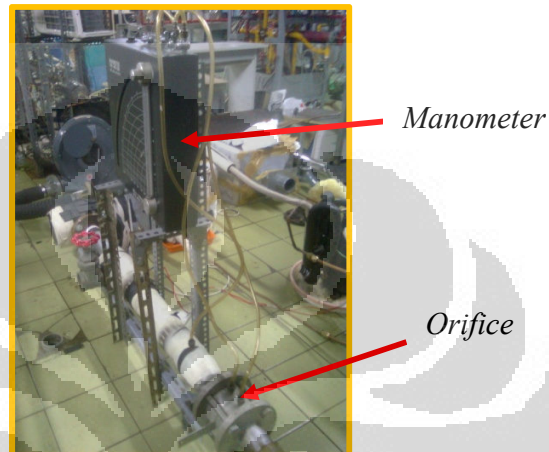
(b)

(c)

**Gambar 3.8.** Sistem pendingin (a) *compressor refrigerant*, (b) kondenser, (c) katup ekspansi dan *evaporator*

- *Orifice dan manometer*

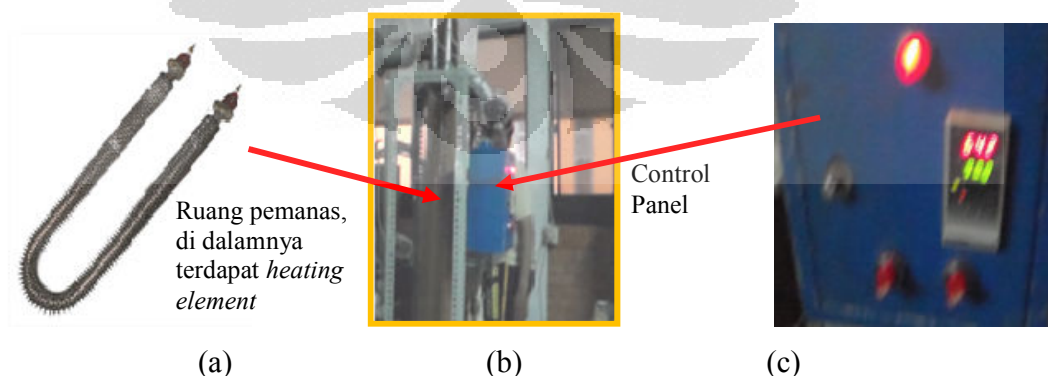
*Orifice dan manometer* dipergunakan untuk mengukur laju aliran udara yang masuk ke sistem. Sensornya adalah pipa *orifice* dan pembacaannya melalui *manometer* dengan ukuran ketinggian air dengan skala terkecil 1 mm.



Gambar 3.9. *Orifice dan manometer*

- Pemanas udara

Pemanas udara yang dipergunakan memiliki daya maksimal 5 kW. Untuk pengaturan temperatur pemanasan menggunakan kotrol panel yang mengatur hidup atau mati pemanas dengan sensor berupa *thermocouple*. Apabila temperatur sudah tercapai maka pemanas akan mati, dan apabila temperatur belum tercapai, maka pemanas akan mati.

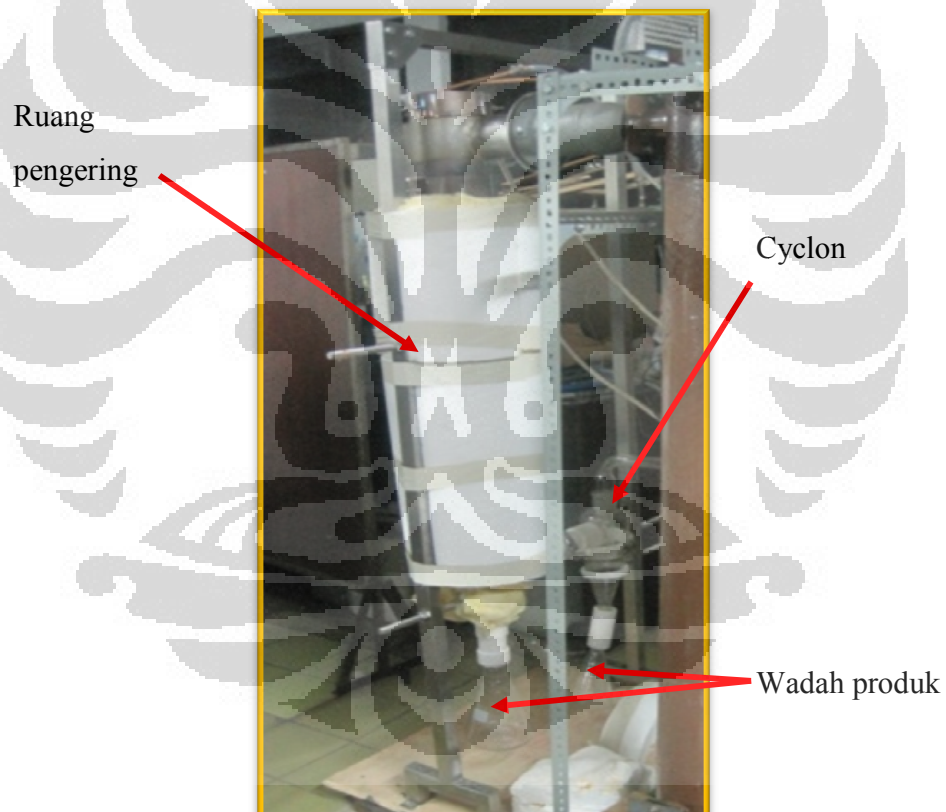


Gambar 3.10. (a) *heating element*, (b) set pemanas, (c) kontrol panel

- Ruang pengering, *cyclon*, wadah produk bubuk

Ruang pengering, *cyclon* dan wadah produk bubuk dibuat dari bahan dasar kaca jenis *pyrex*. Dengan memakai bahan ini, maka proses pengeringan dapat dilihat dari luar. Pada ruang pengering, produk cair bertekanan akan kontak dengan udara yang keluar dari pemanas. Akibat kontak tersebut, maka air yang terkandung dalam produk akan berubah menjadi uap air bersama udara panas tadi.

Di dalam *cyclon*, produk bubuk akan terpisah dengan udara dan uap air, sehingga produk bubuk akan jatuh ke wadah, sedangkan udara dan uap air akan dibuang ke udara bebas.



**Gambar 3.11. Ruang pengering, *cyclon* dan wadah produk bubuk**

- Termometer batang

Termometer batang dipergunakan untuk mengukur temperatur udara luar dan temperatur keluar *evaporator*.

Universitas Indonesia





Gambar 3.12. Termometer batang

### 3.5. Variabel Tetap

Yang menjadi variabel tetap pada penelitian ini adalah:

- Tekanan tekanan udara kompresor

Tekanan udara kompresor yang menekan produk dijaga pada tekanan 2 bar. Pemilihan tekanan tersebut berdasarkan pada penelitian sebelumnya, tekanan yang dipergunakan adalah 3 bar, tetapi tidak ada produk yang dihasilkan. Dengan tekanan lebih kecil, maka diharapkan proses atomisasi produk tidak terlalu halus, sehingga produk tidak mudah terbang terbawa udara keluar.

- Tegangan listrik pompa penekan

Tegangan listrik pompa penekan dijaga pada posisi 1,5 Volt. Untuk menjaga tegangan listrik yang mengalir, digunakan adaptor. Apabila tegangan listrik melebihi 1,5 volt maka daya pompa penekan lebih besar, sehingga mengakibatkan laju aliran produk lebih cepat dan tidak dapat kering.

### 3.6. Variabel Berubah

Pada penelitian ini variabel bebas yang divariasikan adalah:

- Temperatur keluar *evaporator*

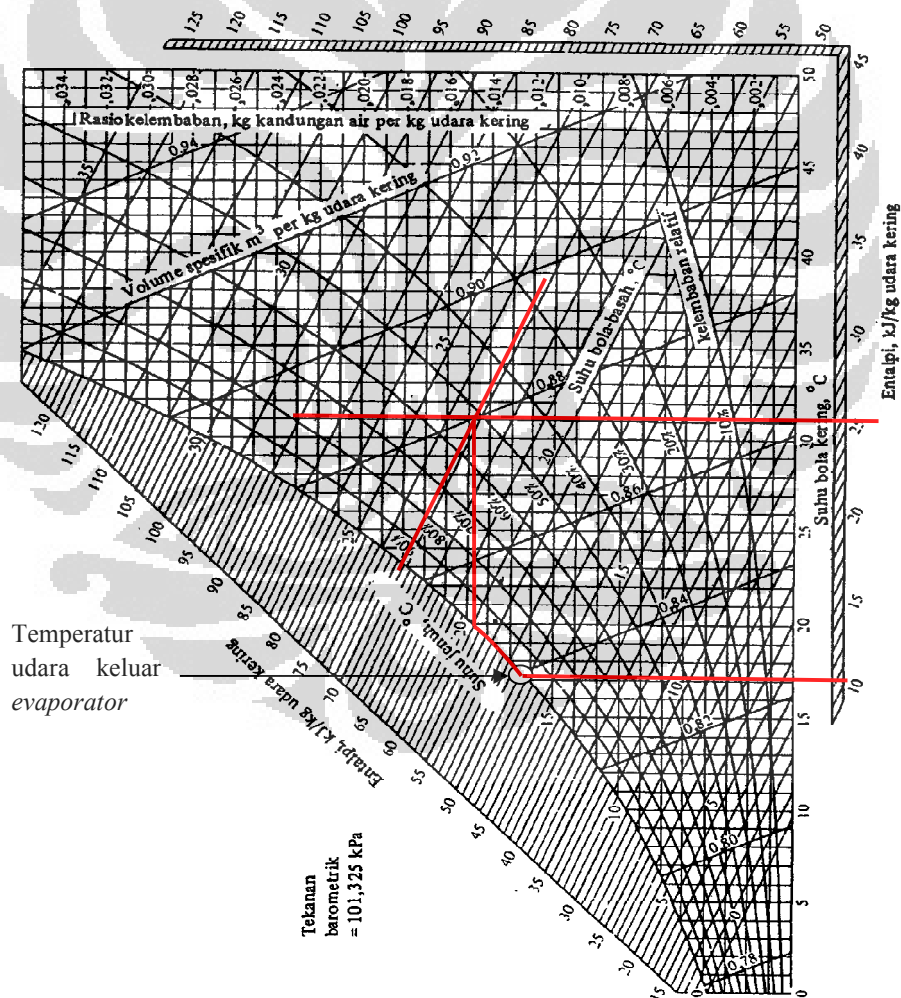
Temperatur udara luar rata – rata yang terdeteksi adalah temperatur bola basah 31°C, sedangkan temperatur bola kering 23°C. Sehingga temperatur jenuh terendah adalah 19,67 (lihat gambar 3.13). Dan yang

Universitas Indonesia

dipilih adalah  $2^{\circ}\text{C}$  –  $3^{\circ}\text{C}$  lebih rendah yaitu  $17^{\circ}\text{C}$ , dan  $14^{\circ}\text{C}$ . Dengan temperatur berada di bawah *dew point* maka pengkondisian udara dapat dijaga pada rasio kelembabannya.

Inputs			Outputs	
Unit Chosen:	<input checked="" type="radio"/> SI	<input type="radio"/> IP	Atmospheric Press	1.013238759 bar
Parameter Name	Value	Unit	Sat. Vapor Press.	44.95929757 mbar
Dry Bulb Temp.:	31	C	Partial Vapor Press.	22.88430450 mbar
Wet Bulb Temp.:	23	C	Humidity Ratio	0.014372669 kg/kg
Relat. Humidity:	50.90004901	%	Enthalpy	67.91531215 kJ/kg
Dew Point Temp	19.66812217	C	Specific Volume	0.880661373 m <sup>3</sup> /kg
Altitude	0.0	m		
<input type="button" value="Calculate"/>				

Gambar 3.13. Properti udara luar



Gambar 3.14. Temperatur udara luar dan temperatur udara keluar *evaporator*

- Temperatur pemanas

Temperatur udara pemanas divariasikan di temperatur 60°C, 72°, dan 90°C.

Pada temperatur tersebut, diharapkan tidak terjadi kerusakan pada produk.

- Laju aliran udara

Laju aliran udara divariasikan berdasarkan penunjukkan *manometer*. Penunjukkan *manometer* divariasikan pada penunjukkan 40 mm, 60 mm, dan 80 mm.

### 3.7. Properti Udara Pemanas Selama Proses

Inputs			Outputs		
Unit Chosen:	<input checked="" type="radio"/> SI	<input type="radio"/> IP	Atmospheric Press	1.013238759	bar
Parameter Name	Value	Unit	Sat. Vapor Press.	19.37943868	mbar
Dry Bulb Temp.:	17	C	Partial Vapor Press.	19.37943868	mbar
Wet Bulb Temp.:	17	C	Humidity Ratio	0.012128488	kg/kg
Relat. Humidity:	<input type="radio"/> 100	%	Enthalpy	47.80398668	kJ/kg
Dew Point Temp	17.02648723	C	Specific Volume	0.837168083	m <sup>3</sup> /kg
Altitude	0.0	m			
Calculate			⊞		

Gambar 3.15. Properti udara keluar *evaporator* 17°C

Inputs			Outputs		
Unit Chosen:	<input checked="" type="radio"/> SI	<input type="radio"/> IP	Atmospheric Press	1.013238759	bar
Parameter Name	Value	Unit	Sat. Vapor Press.	19.41200806	mbar
Dry Bulb Temp.:	60	C	Partial Vapor Press.	19.37943868	mbar
Wet Bulb Temp.:	28.48066999	C	Humidity Ratio	0.012149269	kg/kg
Relat. Humidity:	<input type="radio"/> 9.733399070	%	Enthalpy	92.00511105	kJ/kg
Dew Point Temp	17.02648723	C	Specific Volume	0.915758384	m <sup>3</sup> /kg
Altitude	0.0	m			
Calculate			⊞		

Gambar 3.16. Properti udara keluar *evaporator* 17°C, pemanasan 60°C



Inputs			Outputs	
Unit Chosen:	<input checked="" type="radio"/> SI	<input type="radio"/> IP		
Parameter Name	Value	Unit	Atmospheric Press	1.013238759 bar
Dry Bulb Temp.:	72	C	Sat. Vapor Press.	19.41200806 mbar
Wet Bulb Temp.:	30.87435209	C	Partial Vapor Press.	19.37943868 mbar
Relat. Humidity:	5.709889319	%	Humidity Ratio	0.012149269 kg/kg
Dew Point Temp	17.02648723	C	Enthalpy	104.32563121 kJ/kg
Altitude	0.0	m	Specific Volume	0.943883661 m <sup>3</sup> /kg
<input type="button" value="Calculate"/>			<input type="button" value="⊞"/>	

Gambar 3.17. Properti udara keluar *evaporator* 17°C, pemanasan 72°C

Inputs			Outputs	
Unit Chosen:	<input checked="" type="radio"/> SI	<input type="radio"/> IP		
Parameter Name	Value	Unit	Atmospheric Press	1.013238759 bar
Dry Bulb Temp.:	90	C	Sat. Vapor Press.	19.41200806 mbar
Wet Bulb Temp.:	34.03810474	C	Partial Vapor Press.	19.37943868 mbar
Relat. Humidity:	2.766038052	%	Humidity Ratio	0.012149269 kg/kg
Dew Point Temp	17.02648723	C	Enthalpy	122.80641151 kJ/kg
Altitude	0.0	m	Specific Volume	0.9787905281 m <sup>3</sup> /kg
<input type="button" value="Calculate"/>			<input type="button" value="⊞"/>	

Gambar 3.18. Properti udara keluar *evaporator* 17°C, pemanasan 90°C

Inputs			Outputs	
Unit Chosen:	<input checked="" type="radio"/> SI	<input type="radio"/> IP		
Parameter Name	Value	Unit	Atmospheric Press	1.013238759 bar
Dry Bulb Temp.:	14	C	Sat. Vapor Press.	15.98665111 mbar
Wet Bulb Temp.:	14	C	Partial Vapor Press.	15.98665111 mbar
Relat. Humidity:	100	%	Humidity Ratio	0.009971096 kg/kg
Dew Point Temp	14.03274366	C	Enthalpy	39.27608265 kJ/kg
Altitude	0.0	m	Specific Volume	0.825697789 m <sup>3</sup> /kg
<input type="button" value="Calculate"/>			<input type="button" value="⊞"/>	

Gambar 3.19. Properti udara keluar *evaporator* 14°C

Inputs			Outputs	
Unit Chosen:	<input checked="" type="radio"/> SI	<input type="radio"/> IP		
Parameter Name	Value	Unit	Atmospheric Press	1.013238759 bar
Dry Bulb Temp.:	60	C	Sat. Vapor Press.	16.02066107 mbar
Wet Bulb Temp.:	27.29556069	C	Partial Vapor Press.	15.98665111 mbar
Relat. Humidity:	8.032939563	%	Humidity Ratio	0.009992649 kg/kg
Dew Point Temp	14.03274366	C	Enthalpy	86.37488195 kJ/kg
Altitude	0.0	m	Specific Volume	0.915171888 m <sup>3</sup> /kg
<input type="button" value="Calculate"/>			<input type="button" value="⊞"/>	

Gambar 3.20. Properti udara keluar *evaporator* 14°C, pemanasan 60°C

Inputs			Outputs	
Unit Chosen:	<input checked="" type="radio"/> SI	<input type="radio"/> IP		
Parameter Name	Value	Unit	Atmospheric Press	1.013238759 bar
Dry Bulb Temp.:	72	C	Sat. Vapor Press.	16.02066107 mbar
Wet Bulb Temp.:	29.80300658	C	Partial Vapor Press.	15.98665111 mbar
Relat. Humidity:	4.712351305	%	Humidity Ratio	0.009992649 kg/kg
Dew Point Temp	14.03274366	C	Enthalpy	98.64732695 kJ/kg
Altitude	0.0	m	Specific Volume	0.943311587 m <sup>3</sup> /kg
Calculate			⊞	

Gambar 3.21. Properti udara keluar *evaporator* 14°C, pemanasan 72°C

Inputs			Outputs	
Unit Chosen:	<input checked="" type="radio"/> SI	<input type="radio"/> IP		
Parameter Name	Value	Unit	Atmospheric Press	1.013238759 bar
Dry Bulb Temp.:	90	C	Sat. Vapor Press.	16.02066107 mbar
Wet Bulb Temp.:	33.10204090	C	Partial Vapor Press.	15.98665111 mbar
Relat. Humidity:	2.282801346	%	Humidity Ratio	0.009992649 kg/kg
Dew Point Temp	14.03274366	C	Enthalpy	117.0559944 kJ/kg
Altitude	0.0	m	Specific Volume	0.978275170 m <sup>3</sup> /kg
Calculate			⊞	

Gambar 3.22. Properti udara keluar *evaporator* 14°C, pemanasan 90°C

### 3.8. Laju Aliran Udara Pemanas

Berdasarkan manual dari *orifice* yang dipergunakan maka persamaan untuk mencari laju aliran udara pengering adalah sebagai berikut:

$$Q_a = 0,01242 \alpha (d_o)^2 \sqrt{\frac{\Delta p}{\gamma^a}} \quad (3.1)$$

$Q_a$  = debit udara (m<sup>3</sup>/h)

$\Delta p$  = ketinggian air *manometer* (mmH<sub>2</sub>O)

$\alpha$  = koefisien aliran = 0,8534

$d_o$  = diameter lubang *orifice* = 28,3 mm

$\gamma^a$  = berat udara spesifik (kg/m<sup>3</sup>)

### 3.9. Kalibrasi Pompa

**Tabel 3.1. Tabel kalibrasi pompa peristaltik**

x	rpm	g/min	y (gr/rot)	$ y - \bar{y} $	$(y - \bar{y})^2$
1	2,5	2,063	0,825	0,052	0,0027
2	2,5	2,287	0,915	0,037	0,0014
3	3	2,700	0,900	0,022	0,0005
4	3	2,753	0,918	0,040	0,0016
5	3	2,459	0,820	0,058	0,0034
6	3	2,430	0,810	0,068	0,0046
7	3	2,337	0,779	0,099	0,0098
8	3	2,670	0,890	0,012	0,0002
9	4	3,737	0,934	0,056	0,0032
10	4	3,693	0,923	0,046	0,0021
11	4	3,963	0,991	0,113	0,0128
12	4	3,300	0,825	0,053	0,0028
13	5	4,203	0,841	0,037	0,0014
14	5	4,663	0,933	0,055	0,0030
15	5	4,583	0,917	0,039	0,0015
16	6	4,797	0,799	0,078	0,0061
17	6	5,207	0,868	0,010	0,0001
18	6	5,700	0,950	0,072	0,0052
19	7	6,127	0,875	0,003	0,0000
20	7	5,900	0,843	0,035	0,0012
Jumlah	17,555	0,985	0,0635		
Rata - rata			0,878	0,049	0,0032

- Rata – rata laju aliran pompa produk = 0,878 gr/rotasi
- Simpangan baku

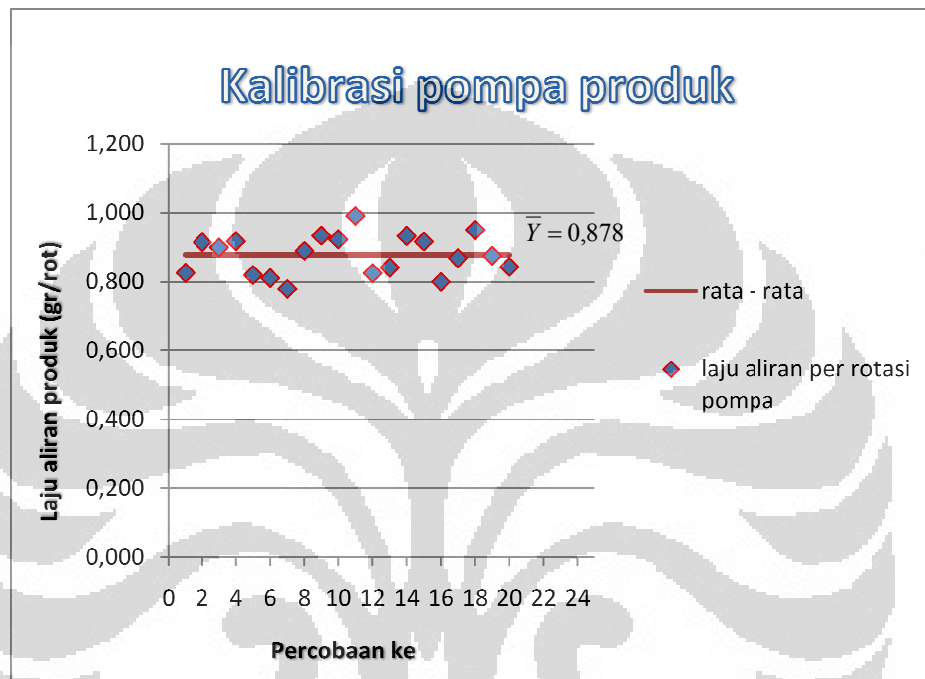
$$\frac{0,0635}{20 - 1} = 0,00334$$

- Simpangan baku positif

$$0,878 + 0,00334 = 0,881$$

- Simpangan baku negatif

$$0,878 - 0,00334 = 0,874$$



Gambar 3.23. Kalibrasi laju aliran pompa produk per rotasi

### 3. 10. Perhitungan Energi yang Dipergunakan oleh Sistem

Energi yang masuk ke dalam sistem berasal dari

- Energi *blower* untuk menghembuskan udara ke sistem

Diasumsikan perubahan tekanan diabaikan, dan udara awal tidak bergerak

Berdasarkan persamaan energi kinetik:

$$P = E' = \frac{1}{2} \dot{m}_u v^2 \quad (3.2)$$

$$P = \dot{m}_u \left( \frac{Q}{A} \right)^2$$

$$P = \left( \frac{1}{2} \dot{m}_u \frac{1}{A^2} \right) Q^2$$

$$P = X Q^2$$

Spesifikasi *blower* 1320 m<sup>3</sup>/jam = 0,367 m<sup>3</sup>/s, P = 0,9 kW, diasumsikan tidak terjadi perubahan tekanan udara, sehingga:

$$0,9 = X 0,367^2$$

$$X = 6,682$$

$$P = 6,682 Q^2 \quad (3.3)$$

- $P$  = daya (kW) atau (kJ/s)  
 $\dot{m}_u$  = laju massa udara (kg/s)  
 $v$  = kecepatan udara (m/s)  
 $A$  = luas penampang (m<sup>2</sup>)  
 $Q$  = debit udara (m<sup>3</sup>/s)  
 $X$  = koefisien perubahan debit udara ke daya

- Energi kompresor *refrigerant*  
Perhitungan energi kompresor adalah

$$P_{comp} = \frac{P_{evap}}{COP} \quad (3.4)$$

$$P_{evap} = \dot{E} = \dot{m}_u \cdot \Delta h \quad (3.5)$$

Karena COP = 2,8 [5] sehingga:

$$P_{comp} = \frac{\dot{m}_u \cdot \Delta h}{2,8} \quad (3.6)$$

$P_{comp}$  = daya kompresor (kW) atau (kJ/s)

$P_{evap}$  = daya *evaporator* (kW) atau (kJ/s)

$\dot{m}_u$  = laju massa udara (kg/s)

$\Delta h$  = perubahan *enthalpy* (kJ/kg)

COP = *Coefficient of Performance*

- Perubahan temperatur udara pengering di pemanas

$$P_{heater} = \dot{E} = \dot{m}_u \cdot \Delta h \quad (3.7)$$

$P_{heater}$  = daya pemanas (kW) atau (kJ/s)

$\dot{m}_u$  = laju massa udara (kg/s)

$\Delta h$  = perubahan *enthalpy* (kJ/kg)

- Biaya untuk memproses 250 gr susu kedelai cair

Perhitungan biaya dihitung dari besarnya energi yang digunakan untuk memproses 250 gr susu.

$$E_{250gr} = \frac{\left(\frac{250}{Q}\right) \sum P}{3600} \quad (3.8)$$

$E_{250gr}$  = energi untuk memproses 250 gr susu kedelai cair (kWh)

$\sum P$  = total daya yang digunakan (kW)

Q = laju aliran produk (gr/s)

Harga per kWh mengacu pada lampiran III peraturan presiden no 8 tahun 2012, tanggal 7 februari 2011, mengenai tarif dasar listrik untuk keperluan bisnis.

$$Biaya = E_{250gr} \cdot TDL \quad (3.9)$$

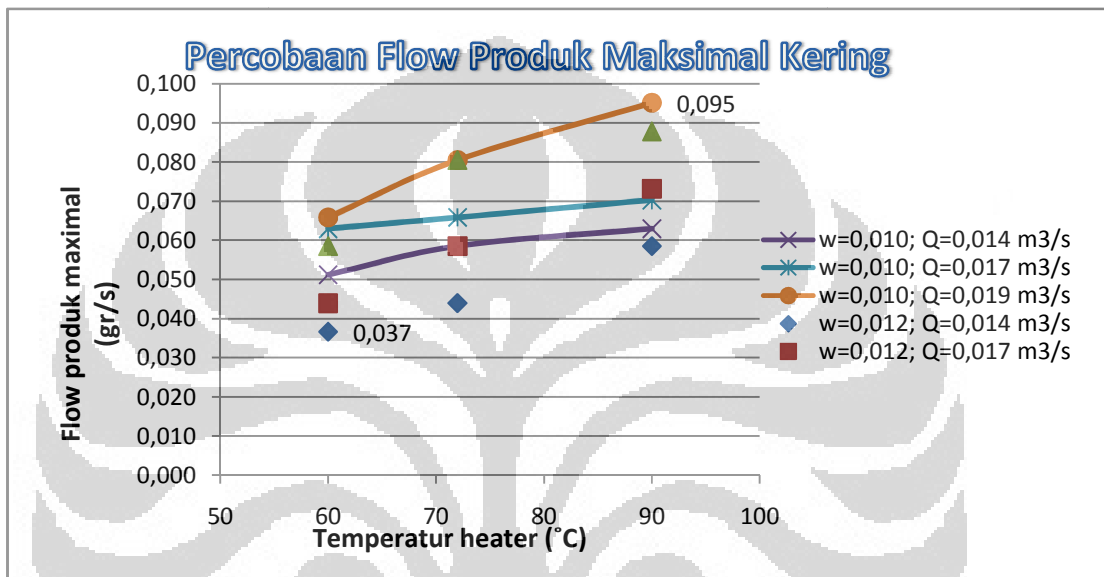
Biaya = total biaya untuk energi yang dikeluarkan (rupiah)

TDL = tarif dasar listrik (rupiah/kWh) = Rp 905,-/kW

## BAB 4

### HASIL DAN ANALISA

#### 4.1. Hasil Pengujian Flow Maksimal Produk Kering



Gambar 4.1. Laju aliran produk maksimal pada setiap peningkatan laju aliran udara pengering

Laju aliran produk maksimal pada percobaan ini adalah 0,095 gr/s. Laju aliran maksimal ini ketika kondisi: rasio kelembaban 0,010 laju aliran udara pengering 0,019 m<sup>3</sup>/s dan temperatur udara pemanas 90°C.

Laju aliran produk minimal pada percobaan ini adalah 0,037 gr/s. Laju aliran minimal ini ketika kondisi: rasio kelembaban 0,012 laju aliran udara pengering 0,014m<sup>3</sup>/s dan temperatur udara pemanas 60°C.

Dengan data di atas maka dapat disimpulkan hubungan laju aliran produk dengan rasio kelembaban adalah laju aliran produk dapat ditingkatkan dengan menurunkan kelembaban udara pengering. Kelembaban udara pengering dapat diturunkan dengan menurunkan temperatur keluar *evaporator*.

Hubungan laju aliran produk dengan laju aliran udara pemanas adalah laju aliran produk dapat ditingkatkan dengan meningkatkan aliran udara pemanas. Aliran udara pemanas dapat ditingkatkan dengan menambah daya pada *blower*.

Hubungan laju aliran produk dengan temperatur udara pemanas adalah laju aliran produk dapat ditingkatkan dengan meningkatkan temperatur udara pemanas. Udara pemanas dapat ditingkatkan dengan menambah energi pemanas.

#### 4.2. Hasil Perhitungan Daya yang Dibutuhkan

Daya minimal ini dihitung dari daya – daya yang masuk ke dalam system, dengan mengabaikan kebocoran daya dan daya –daya yang kecil seperti daya pompa produk. Daya yang diperhitungkan dalam menghitung total daya antara lain:

- Daya *blower* untuk menghembuskan udara pengering ke sistem
- Daya kompresor *refrigeran* untuk dehumidifikasi
- Daya untuk pemanasan udara pengering

**Tabel 4.1. Hasil data perhitungan**

Produk	Udara pengering			Daya			Total daya	Waktu untuk 250 gr	Biaya Proses/ 250 gr	
	Ratio humidty	debit	db	Comp. Ref.	<i>Blower</i>	Pemanas				
Q	kg/kg	m <sup>3</sup> /s	°C	kJ/s	kJ/s	kJ/s	ΣP	t	RP 905/kWh	
	gr/s							Jam	Rupiah	
	0,059	0,0121	0,014	90	0,12	0,09	1,22	1,43	1,19	1.536
	0,044	0,012	0,014	72	0,12	0,09	0,92	1,13	1,58	1.617
	0,037	0,012	0,014	60	0,12	0,09	0,72	0,93	1,90	1.595
	0,073	0,012	0,017	90	0,14	0,11	1,50	1,75	0,95	1.505
	0,059	0,012	0,017	72	0,14	0,11	1,13	1,38	1,19	1.485
	0,044	0,012	0,017	60	0,14	0,11	0,88	1,14	1,58	1.628
	0,088	0,012	0,019	90	0,17	0,13	1,73	2,02	0,79	1.448
	0,080	0,012	0,019	72	0,17	0,13	1,30	1,60	0,86	1.247
	0,059	0,012	0,019	60	0,17	0,13	1,02	1,31	1,19	1.410



Produk	Udara pengering			Daya			Total daya	Waktu untuk 250 gr	Biaya Proses/ 250 gr	
	Q	Ratio humidity	debit	db	Comp. Ref.	Blower				Pemanas
	gr/s	kg/kg	m <sup>3</sup> /s	°C	kJ/s	kJ/s	kJ/s	kJ/s	Jam	Rupiah
	0,063	0,010	0,014	90	0,17	0,09	1,28	1,53	1,10	1.533
	0,059	0,010	0,014	72	0,17	0,09	0,97	1,23	1,19	1.323
	0,051	0,010	0,014	60	0,17	0,09	0,77	1,03	1,36	1.265
	0,070	0,010	0,017	90	0,21	0,11	1,56	1,88	0,99	1.682
	0,066	0,010	0,017	72	0,21	0,11	1,19	1,51	1,05	1.441
	0,063	0,010	0,017	60	0,21	0,11	0,95	1,26	1,10	1.261
	0,095	0,010	0,019	90	0,24	0,13	1,80	2,17	0,73	1.434
	0,080	0,010	0,019	72	0,24	0,13	1,38	1,74	0,86	1.361
	0,066	0,010	0,019	60	0,24	0,13	1,09	1,46	1,05	1.392

Keterangan:

     = Nilai Maksimal dalam satu kolom

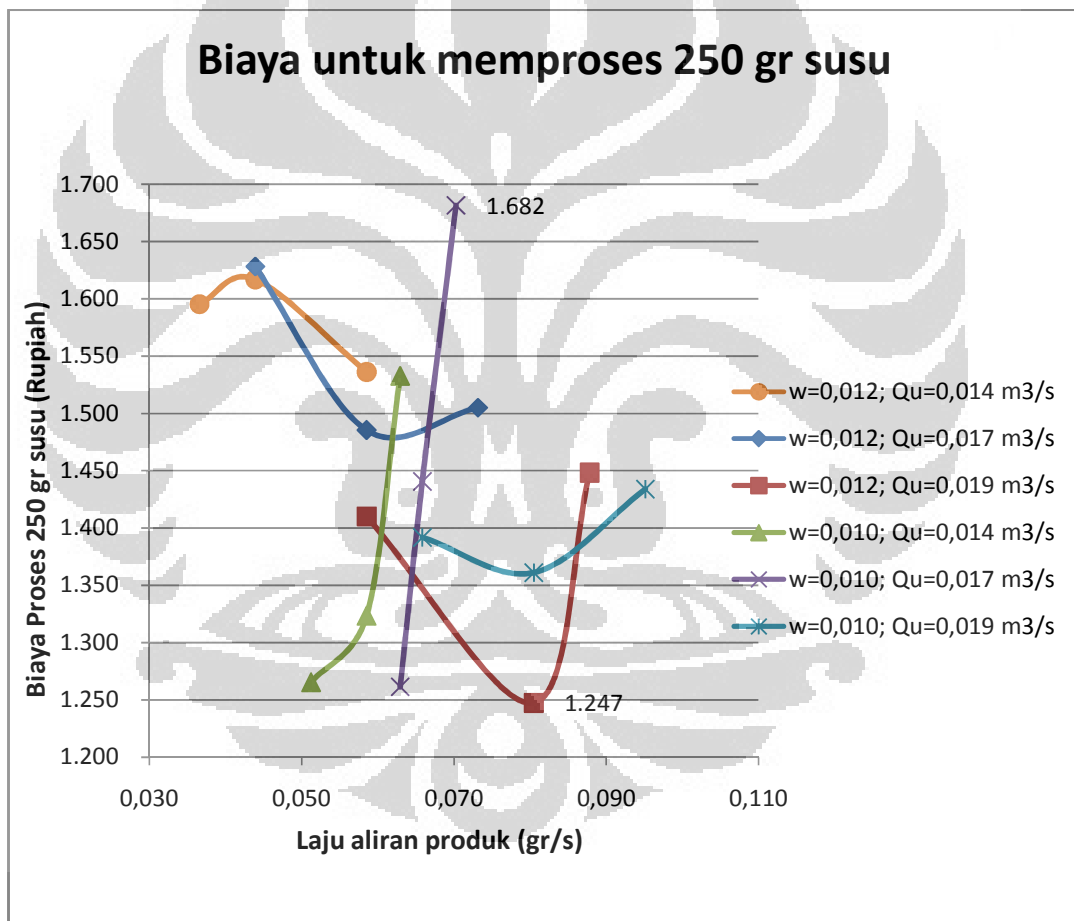
     = Nilai Minimal dalam satu kolom

Berdasarkan tabel 4.1 penggunaan daya terbesar (diberi tanda merah) sebesar 2,17 kJ/s. Penggunaan daya terbesar tersebut ketika kondisi rasio kelembaban 0,01 kg/kg, laju aliran udara pengering 0,019 m<sup>3</sup>/s, temperatur udara pengering 90°C, dan laju aliran produk 0,095 gr/s. Penggunaan daya terkecil (diberi tanda kuning) sebesar 0,93 kJ/s. Penggunaan daya terkecil tersebut ketika kondisi rasio kelembaban 0,012 kg/kg, laju aliran udara pengering 0,014 m<sup>3</sup>/s, temperatur udara pengering 60°C, dan laju aliran produk 0,037 gr/s.

Dengan data penggunaan maksimal dan minimal maka dapat disimpulkan bahwa semakin cepat laju aliran produk yang akan dicapai, maka semakin besar daya yang dibutuhkan dan daya terbesar dikonsumsi oleh pemanas udara. Tetapi dengan semakin cepatnya aliran produk, maka jumlah produksi lebih banyak. Oleh karena itu, jumlah energi dan biaya minimal yang digunakan tidak pada kondisi daya minimal.

Pada tabel 4.1 dapat terlihat bahwa untuk memproses 250 gr susu kedelai, biaya termurah adalah Rp 1.247,- , dan biaya termahal Rp 1.682,- . Biaya termurah tersebut berada pada kondisi laju aliran produk 0,080 gr/s, rasio kelembaban 0,012 kg/kg, laju aliran udara pengering 0,019 m<sup>3</sup>/s, temperatur udara pengering 72°C, dan total daya 1,6 kJ/s. Biaya termahal berada pada kondisi laju aliran produk 0,070 gr/s, rasio kelembaban 0,010 kg/kg, laju aliran udara pengering 0,017 m<sup>3</sup>/s, temperatur udara pengering 90°C, dan total daya 1,88 kJ/s.

#### 4.3. Perhitungan Biaya yang Dibutuhkan



Gambar 4.2. Biaya untuk memproses 250 gr susu kedelai

Berdasarkan lampiran III peraturan presiden no 8 tahun 2012, tanggal 7 february 2011, mengenai tarif dasar listrik untuk keperluan bisnis, biaya per kwh untuk bisnis dengan pemakaian listrik 2,2 kVA s/d 5,5 kVA adalah Rp 905,- per kWh. Sehingga biaya untuk memproses 250 gr susu kedelai (1 gelas) minimal adalah Rp 1.247,- sedangkan biaya termahal adalah Rp 1.682,-

Apabila kadar nutrisi yang terkandung pada tabel 2.3 adalah persentase produk kering terhadap produk basah, maka jumlah produk kering = 10,78%. Sehingga dalam 250 gr susu kedelai cair terdapat 26,95 gr susu kedelai kering. Maka harga proses untuk membuat 1 gr susu kedelai bubuk adalah:

$$\begin{aligned} \text{Biaya proses 1 gr susu bubuk kedelai} &= \frac{1.247}{250 \times 10,78\%} \\ &= \frac{1.247}{26,95} \\ &= \text{Rp } 47, - / \text{gr} \end{aligned}$$

Harga susu kedelai cair per 250 gr adalah Rp 2.000,-. maka biaya bahan baku yang dibutuhkan untuk menghasilkan 1 gr susu bubuk kedelai adalah:

$$\begin{aligned} \text{Biaya bahan baku 1 gr susu bubuk kedelai} &= \frac{(2.000)}{250 \times 10,78\%} \\ &= \frac{2.000}{26,95} \\ &= \text{Rp } 75, - / \text{gr} \end{aligned}$$

Harga salah satu merk susu kedelai bubuk yang ada adalah Rp 42.000,- / 400 gr. Maka untuk menghasilkan 400 gr susu kedelai bubuk dengan harga perkiraan biaya proses Rp 1.247,-/250 gr dan harga susu kedelai cair Rp 2.000,-/250 gr adalah:

Universitas Indonesia

$$\begin{aligned} \text{Biaya untuk membuat 400 gr susu bubuk kedelai} &= (75 + 47) \times 400 \\ &= \text{Rp } 52.800,- /400 \text{ gr} \end{aligned}$$

Perbandingan biaya pembuatan susu kedelai bubuk dengan harga susu bubuk yang dijual secara umum =  $52.800/42.000 = 125,7 \%$

Waktu yang dibutuhkan untuk memproses 400 gr susu bubuk kedelai dengan kondisi sama dengan perhitungan di atas adalah:

$$t = \frac{400}{(0,080 \times 10,78\% \times 3600)} = 12,88 \text{ jam}$$

Dengan harga yang lebih tinggi dari harga produk sejenis yang dijual secara umum dan waktu produksi untuk menghasilkan 400 gr susu bubuk, maka mesin pengering semprot yang terdapat di laboratorium pengering Universitas Indonesia tidak dapat digunakan untuk produksi masal. Tetapi sistem tersebut dapat dipergunakan karena dapat mengeringkan susu kedelai dengan temperatur rendah ( $60^{\circ}\text{C}$ ) sehingga diharapkan tidak merusak produk.

## BAB 5

### PENUTUP

#### 5.1. Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan perhitungan yang telah dilakukan pada obyek mesin pengering semprot pada Laboratorium Pengering Departement Teknik Mesin Universitas Indonesia terhadap produk susu kedelai cair, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- a. Proses pengeringan susu kedelai cair menjadi susu bubuk dapat dilakukan pada temperatur  $60^{\circ}\text{C}$ ,  $72^{\circ}\text{C}$ , dan  $90^{\circ}\text{C}$  dengan metode pengeringan semprot
- b. Laju aliran minimal produk  $0,037\text{ gr/s}$  dan laju aliran maksimal  $0,095\text{ gr/s}$ .
- c. Konsumsi daya terbesar pada proses pemanasan udara pengering
- d. Biaya termurah untuk memproduksi  $400\text{ gr}$  susu bubuk sebesar  $125,7\%$  dari harga susu yang dijual secara umum, dan membutuhkan waktu proses selama  $12,88\text{ jam}$

#### 5.2. Saran

Saran untuk pengembangan alat dan penelitian selanjutnya antara lain:

- a. Pengujian kandungan nutrisi pada produk hasil, sehingga dapat diketahui secara pasti pengaruh proses pengeringan pada kandungan nutrisi produk.
- b. Untuk pengembangan alat, penambahan *cyclon* untuk peningkatan jumlah produk yang tertampung penggunaan *cyclon* tambahan pada pengeringan semprot.
- c. Penggunaan *atomizer* type lain, misalkan *water mist nozzle*. sehingga dapat diteliti perbedaan dan efektifitas penggunaan masing –masing *atomizer*.
- d. Pemasangan alat ukur temperatur pada beberapa lokasi yang fix di ruang pengeringan. Sehingga dapat dianalisa proses perpindahan kalor pada ruang pengering.

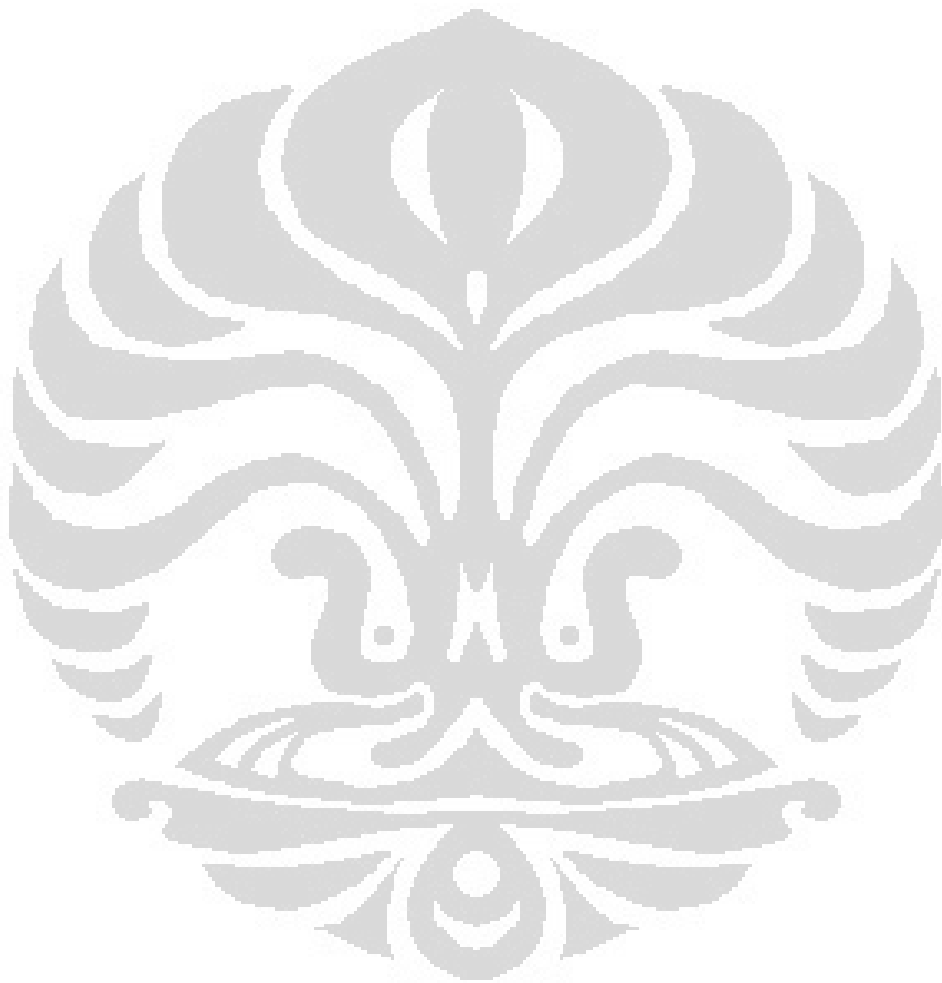
## DAFTAR PUSTAKA

1. Esti, Agus Sediadi (ed.). (2000). Susu Kedelai. Kantor Deputi Menegristek Bidang Pendayagunaan dan Pemasyarakatan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi  
<[http://www.warintek.ristek.go.id/pangan\\_kesehatan/pangan/piwp/susu\\_kedelai.pdf](http://www.warintek.ristek.go.id/pangan_kesehatan/pangan/piwp/susu_kedelai.pdf)>
2. Tekno Pangan & agrindustri vol 1 no 1, Jurusan Teknologi Pangan dan gizi,IPB  
<[www.warintek.ristek.go.id/pangan\\_kesehatan/pangan/ipb/Pekatan%20protein%20kedelai.pdf](http://www.warintek.ristek.go.id/pangan_kesehatan/pangan/ipb/Pekatan%20protein%20kedelai.pdf)>
3. Mudambi, Sumati R., et al. (2006) Food Science. New Delhi: New Age International.
4. [www.news-medical.net/health/Trans-Fat-Chemistry.aspx](http://www.news-medical.net/health/Trans-Fat-Chemistry.aspx)
5. Hall, Carl W. (2006). Handbook of industrial drying, Taylor & Francis Grop, LLC.  
< <http://www.isotextile.blogspot.com>>
6. Hidayat, Maulana. (2012). Perbandingan kinerja pengering Semprot dengan Pe manfaatan Dehumidifier . Depok: Universitas Indonesia.
7. “New Drying” (2004).
8. Cengel, Yunus A., Michael A. Boles .(2008). Thermodynamics an Engineering Approach Fourth Edition International Edition. McGraw-Hill, Third-Edition.
9. Kholis,Nur (2010). Perancangan, Simulasi CFD dan Experimen Pengering Semprot: Perbandingan Antara Pemanas Listrik dengan Pemanas Refrijerasidan Dehumidifier. Depok: Universitas Indonesia.
10. Kavanaugh, Stephen P. (2006). HVAC Simplified. ASHRAE,Inc.
11. Serway, Raymond A. And John W. Hewett (2004). Physics.Thomson Brooks/cole, 6th Edition
12. ASHRAE (1997). Ashrae Handbook : Fundamentals. ASHRAE,Inc.
13. Holman, J.P. (1997). Perpindahan Kalor.Trans. E. Jasjfi. Jakarta: Penerbit Erlangga. Trans. Of Heat Transfer Six Edition,1986

14. Palup, NS, et al. (2007). Pengaruh Pengolahan Terhadap Nilai Gizi Pangan. Bogor: Departement Ilmu & teknologi Pangan Fateta IPB.
15. Valentas, kenneth J., et al. (1997). Handbook of Food Engineering Paractice. new York: CRC Press, LLC.
16. [http://www.aces.uiuc.edu/vista/html\\_pubs/DRYING/dryfood.html](http://www.aces.uiuc.edu/vista/html_pubs/DRYING/dryfood.html)



## LAMPIRAN



Universitas Indonesia



Lampiran 1 : Data experiment

Pengambilan Data Praktek Pengeringan Semprot

24 Mei s/d 2 Juni 2012

our. evap		Orifice (udara pengering)			heater		air compress		Pump			Daya compressor				Deva heater			Dayablower		Total Jaya		Wkkte untuk 250 gr		Blewa Proses/ 250 gr	
db	Ratio humidity	Vanometer	W	$I_a$	debit	db	p	V	rpm	Q	$h_{fg}$	$h_{1-4}$	COP	$P_{comp}$	$h_{com}$	$h_{high}$	$P_{heater}$	$P_{blower}$	zP	t	W <sub>Esig</sub>	RP	gr	905/Wh	Rupiah	
°C	kg/kg	m <sup>3</sup> /kg	kg/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /s	°C	bar	l/s	rpm	g/s	J/kg	J/kg	kJ/s	kJ/s	kJ/s	J/kg	J/kg	kJ/s	kJ/s	kJ/s	Jam	kWh	Rp	gr	905/Wh	Rupiah	
17	0.0121	40	0.837	1.195	0.014	90	2	1.5	4	0.089	57910	47.804	2.328	2.8	0.117	47.804	112.866	1.223	0.091	1.431	1.19	1.698	Rp. 1.516			
17	0.0121	40	0.837	1.195	0.014	72	2	1.5	3	0.044	57910	47.804	0.328	2.8	0.117	47.804	104.326	0.921	0.091	1.130	1.58	1.787	Rp. 1.617			
17	0.0121	40	0.837	1.195	0.014	60	2	1.5	2.5	0.037	57910	47.804	0.328	2.8	0.117	47.804	92.005	0.721	0.091	0.929	1.90	1.763	Rp. 1.595			
17	0.0121	60	0.837	1.195	0.017	90	2	1.5	5	0.073	57910	47.804	0.401	2.8	0.143	47.804	112.866	1.497	0.112	1.752	0.95	1.663	Rp. 1.505			
17	0.0121	60	0.837	1.195	0.017	72	2	1.5	4	0.039	57910	47.804	0.401	2.8	0.143	47.804	104.326	1.128	0.112	1.333	1.19	1.641	Rp. 1.485			
17	0.0121	60	0.837	1.195	0.017	60	2	1.5	3	0.044	57910	47.804	0.401	2.8	0.143	47.804	92.005	0.882	0.112	1.137	1.58	1.799	Rp. 1.628			
17	0.0121	80	0.837	1.195	0.019	90	2	1.5	6	0.088	57910	47.804	0.464	2.8	0.166	47.804	112.866	1.729	0.129	2.023	0.79	1.600	Rp. 1.448			
17	0.0121	80	0.837	1.195	0.019	72	2	1.5	5.5	0.080	57910	47.804	0.464	2.8	0.166	47.804	104.326	1.303	0.129	1.577	0.86	1.378	Rp. 1.242			
17	0.0121	80	0.837	1.195	0.019	60	2	1.5	4	0.059	57910	47.804	0.464	2.8	0.166	47.804	92.005	1.019	0.129	1.313	1.19	1.558	Rp. 1.410			
14	0.0100	40	0.836	1.211	0.014	90	2	1.5	4.3	0.063	57910	39.276	0.470	2.8	0.168	35.276	117.556	1.276	0.091	1.535	1.10	1.694	Rp. 1.533			
14	0.0100	40	0.836	1.211	0.014	72	2	1.5	4	0.039	57910	39.276	0.470	2.8	0.168	35.276	98.647	0.974	0.091	1.233	1.19	1.462	Rp. 1.313			
14	0.0100	40	0.836	1.211	0.014	60	2	1.5	3.5	0.051	57910	39.276	0.470	2.8	0.168	35.276	86.375	0.773	0.091	1.031	1.36	1.398	Rp. 1.265			
14	0.0100	60	0.836	1.211	0.017	90	2	1.5	4.8	0.070	57910	39.276	0.575	2.8	0.206	35.276	117.556	1.563	0.111	1.880	0.99	1.858	Rp. 1.682			
14	0.0100	60	0.836	1.211	0.017	72	2	1.5	4.5	0.066	57910	39.276	0.575	2.8	0.206	35.276	98.647	1.193	0.111	1.510	1.05	1.592	Rp. 1.441			
14	0.0100	60	0.836	1.211	0.017	60	2	1.5	4.3	0.063	57910	39.276	0.575	2.8	0.206	35.276	86.375	0.947	0.111	1.253	1.10	1.394	Rp. 1.261			
14	0.0100	80	0.836	1.211	0.019	90	2	1.5	6.5	0.095	57910	39.276	0.664	2.8	0.237	35.276	117.556	1.805	0.128	2.170	0.73	1.585	Rp. 1.434			
14	0.0100	80	0.836	1.211	0.019	72	2	1.5	5.5	0.080	57910	39.276	0.664	2.8	0.237	35.276	98.647	1.378	0.128	1.743	0.86	1.504	Rp. 1.361			
14	0.0100	80	0.836	1.211	0.019	60	2	1.5	4.5	0.066	57910	39.276	0.664	2.8	0.237	35.276	86.375	1.093	0.128	1.458	1.05	1.538	Rp. 1.392			
																				Minimal	0.929	0.73	1.378	1247.4189		
																				Maksimal	2.170	1.90	1.858	1681.7562		

Data yang diambil data yang dibasir dari tabel data perhitungan

Lampiran 2: Properti udara

Table 2 Thermodynamic Properties of Moist Air (Standard Atmospheric Pressure, 101.325 kPa)

Temp. $t_a$ °C	Humidity Ratio, $\omega$ kg <sub>w</sub> /kg <sub>da</sub>	Volume, m <sup>3</sup> /kg (dry air)			Enthalpy, kJ/kg (dry air)			Entropy, kJ/(kg · K) (dry air)			Condensed Water		Vapor Pressure, kPa	Temp. $t_w$ °C
		$v_a$	$v_{as}$	$v_s$	$h_a$	$h_{as}$	$h_s$	$s_a$	$s_{as}$	$s_s$	Enthalpy $h_w$ kJ/kg	Entropy, $s_w$ kJ/(kg · K)		
-60	0.0000067	0.6027	0.0000	0.6027	-60.351	0.017	-60.334	-0.2495	0.0001	-0.2494	-446.29	-1.6854	0.00108	-60
-59	0.0000076	0.6036	0.0000	0.6036	-59.344	0.018	-59.326	-0.2448	0.0001	-0.2447	-444.63	-1.6776	0.00124	-59
-58	0.0000087	0.6084	0.0000	0.6084	-58.338	0.021	-58.317	-0.2401	0.0001	-0.2400	-442.95	-1.6698	0.00141	-58
-57	0.0000100	0.6113	0.0000	0.6113	-57.332	0.024	-57.308	-0.2354	0.0001	-0.2353	-441.27	-1.6620	0.00161	-57
-56	0.0000114	0.6141	0.0000	0.6141	-56.326	0.028	-56.298	-0.2308	0.0001	-0.2306	-439.58	-1.6542	0.00184	-56
-55	0.0000129	0.6170	0.0000	0.6170	-55.319	0.031	-55.288	-0.2261	0.0002	-0.2260	-437.89	-1.6464	0.00209	-55
-54	0.0000147	0.6198	0.0000	0.6198	-54.313	0.036	-54.278	-0.2215	0.0002	-0.2214	-436.19	-1.6386	0.00238	-54
-53	0.0000167	0.6226	0.0000	0.6227	-53.307	0.041	-53.267	-0.2170	0.0002	-0.2168	-434.48	-1.6308	0.00271	-53
-52	0.0000190	0.6255	0.0000	0.6255	-52.301	0.046	-52.255	-0.2124	0.0002	-0.2122	-432.76	-1.6230	0.00307	-52
-51	0.0000215	0.6283	0.0000	0.6284	-51.295	0.052	-51.243	-0.2079	0.0002	-0.2076	-431.03	-1.6153	0.00348	-51
-50	0.0000243	0.6312	0.0000	0.6312	-50.289	0.059	-50.230	-0.2033	0.0003	-0.2031	-429.30	-1.6075	0.00394	-50
-49	0.0000275	0.6340	0.0000	0.6341	-49.283	0.067	-49.216	-0.1988	0.0003	-0.1985	-427.56	-1.5997	0.00445	-49
-48	0.0000311	0.6369	0.0000	0.6369	-48.277	0.075	-48.202	-0.1944	0.0004	-0.1940	-425.82	-1.5919	0.00503	-48
-47	0.0000350	0.6397	0.0000	0.6398	-47.271	0.085	-47.186	-0.1899	0.0004	-0.1895	-424.06	-1.5842	0.00568	-47
-46	0.0000395	0.6426	0.0000	0.6426	-46.265	0.095	-46.170	-0.1855	0.0004	-0.1850	-422.30	-1.5764	0.00640	-46
-45	0.0000445	0.6454	0.0000	0.6455	-45.259	0.108	-45.151	-0.1811	0.0005	-0.1805	-420.54	-1.5686	0.00721	-45
-44	0.0000500	0.6483	0.0001	0.6483	-44.253	0.121	-44.132	-0.1767	0.0006	-0.1761	-418.78	-1.5609	0.00811	-44
-43	0.0000562	0.6511	0.0001	0.6512	-43.247	0.137	-43.111	-0.1723	0.0006	-0.1716	-416.98	-1.5531	0.00911	-43
-42	0.0000631	0.6540	0.0001	0.6540	-42.241	0.153	-42.088	-0.1679	0.0007	-0.1672	-415.19	-1.5453	0.01022	-42
-41	0.0000708	0.6568	0.0001	0.6569	-41.235	0.172	-41.063	-0.1636	0.0008	-0.1628	-413.39	-1.5376	0.01147	-41
-40	0.0000793	0.6597	0.0001	0.6597	-40.229	0.192	-40.037	-0.1592	0.0009	-0.1584	-411.59	-1.5298	0.01285	-40
-39	0.0000887	0.6625	0.0001	0.6626	-39.224	0.216	-39.007	-0.1549	0.0010	-0.1540	-409.77	-1.5221	0.01438	-39
-38	0.0000992	0.6653	0.0001	0.6654	-38.218	0.241	-37.976	-0.1507	0.0011	-0.1496	-407.96	-1.5143	0.01608	-38
-37	0.0001108	0.6682	0.0001	0.6683	-37.212	0.270	-36.942	-0.1464	0.0012	-0.1452	-406.13	-1.5066	0.01796	-37
-36	0.0001237	0.6710	0.0001	0.6712	-36.206	0.302	-35.905	-0.1421	0.0014	-0.1408	-404.29	-1.4988	0.02005	-36
-35	0.0001379	0.6739	0.0001	0.6740	-35.200	0.336	-34.864	-0.1379	0.0015	-0.1364	-402.45	-1.4911	0.02235	-35
-34	0.0001536	0.6767	0.0002	0.6769	-34.195	0.375	-33.820	-0.1337	0.0017	-0.1320	-400.60	-1.4833	0.02490	-34
-33	0.0001710	0.6796	0.0002	0.6798	-33.189	0.417	-32.772	-0.1295	0.0018	-0.1276	-398.75	-1.4756	0.02772	-33
-32	0.0001902	0.6824	0.0002	0.6826	-32.183	0.464	-31.718	-0.1253	0.0020	-0.1233	-396.89	-1.4678	0.03082	-32
-31	0.0002113	0.6853	0.0002	0.6855	-31.178	0.517	-30.661	-0.1212	0.0023	-0.1189	-395.01	-1.4601	0.03425	-31
-30	0.0002346	0.6881	0.0003	0.6884	-30.171	0.574	-29.597	-0.1170	0.0025	-0.1145	-393.14	-1.4524	0.03802	-30
-29	0.0002602	0.6909	0.0003	0.6912	-29.166	0.636	-28.529	-0.1129	0.0028	-0.1101	-391.25	-1.4446	0.04217	-29
-28	0.0002883	0.6938	0.0003	0.6941	-28.160	0.707	-27.454	-0.1088	0.0031	-0.1057	-389.36	-1.4369	0.04673	-28
-27	0.0003193	0.6966	0.0004	0.6970	-27.154	0.782	-26.372	-0.1047	0.0034	-0.1013	-387.46	-1.4291	0.05175	-27
-26	0.0003533	0.6995	0.0004	0.6999	-26.149	0.867	-25.282	-0.1006	0.0037	-0.0969	-385.55	-1.4214	0.05725	-26
-25	0.0003905	0.7023	0.0004	0.7028	-25.143	0.959	-24.184	-0.0965	0.0041	-0.0924	-383.63	-1.4137	0.06329	-25
-24	0.0004314	0.7052	0.0005	0.7057	-24.137	1.059	-23.078	-0.0925	0.0045	-0.0880	-381.71	-1.4059	0.06991	-24
-23	0.0004762	0.7080	0.0005	0.7086	-23.132	1.171	-21.961	-0.0885	0.0050	-0.0835	-379.78	-1.3982	0.07716	-23
-22	0.0005251	0.7109	0.0006	0.7115	-22.126	1.292	-20.834	-0.0845	0.0054	-0.0790	-377.84	-1.3905	0.08510	-22
-21	0.0005787	0.7137	0.0007	0.7144	-21.120	1.425	-19.695	-0.0805	0.0060	-0.0745	-375.90	-1.3828	0.09378	-21
-20	0.0006373	0.7165	0.0007	0.7173	-20.115	1.570	-18.545	-0.0765	0.0066	-0.0699	-373.95	-1.3750	0.10326	-20
-19	0.0007013	0.7194	0.0008	0.7202	-19.109	1.729	-17.380	-0.0725	0.0072	-0.0653	-371.99	-1.3673	0.11362	-19
-18	0.0007711	0.7222	0.0009	0.7231	-18.103	1.902	-16.201	-0.0686	0.0079	-0.0607	-370.02	-1.3596	0.12492	-18
-17	0.0008473	0.7251	0.0010	0.7261	-17.098	2.092	-15.006	-0.0646	0.0086	-0.0560	-368.04	-1.3518	0.13725	-17
-16	0.0009303	0.7279	0.0011	0.7290	-16.092	2.299	-13.793	-0.0607	0.0094	-0.0513	-366.06	-1.3441	0.15068	-16
-15	0.0010207	0.7308	0.0012	0.7320	-15.086	2.524	-12.562	-0.0568	0.0103	-0.0465	-364.07	-1.3364	0.16530	-15
-14	0.0011191	0.7336	0.0013	0.7349	-14.080	2.769	-11.311	-0.0529	0.0113	-0.0416	-362.07	-1.3287	0.18122	-14
-13	0.0012262	0.7364	0.0014	0.7379	-13.075	3.036	-10.039	-0.0490	0.0123	-0.0367	-360.07	-1.3210	0.19852	-13
-12	0.0013425	0.7393	0.0016	0.7409	-12.069	3.327	-8.742	-0.0452	0.0134	-0.0318	-358.06	-1.3132	0.21732	-12
-11	0.0014690	0.7421	0.0017	0.7439	-11.063	3.642	-7.421	-0.0413	0.0146	-0.0267	-356.04	-1.3055	0.23775	-11
-10	0.0016062	0.7450	0.0019	0.7469	-10.057	3.986	-6.072	-0.0375	0.0160	-0.0215	-354.01	-1.2978	0.25991	-10
-9	0.0017551	0.7478	0.0021	0.7499	-9.052	4.358	-4.693	-0.0337	0.0174	-0.0163	-351.97	-1.2901	0.28395	-9
-8	0.0019166	0.7507	0.0023	0.7530	-8.046	4.764	-3.283	-0.0299	0.0189	-0.0110	-349.93	-1.2824	0.30999	-8
-7	0.0020916	0.7535	0.0025	0.7560	-7.040	5.202	-1.838	-0.0261	0.0206	-0.0055	-347.88	-1.2746	0.33821	-7
-6	0.0022811	0.7563	0.0028	0.7591	-6.035	5.677	-0.357	-0.0223	0.0224	-0.0000	-345.82	-1.2669	0.36874	-6
-5	0.0024862	0.7592	0.0030	0.7622	-5.029	6.192	1.164	-0.0186	0.0243	0.0057	-343.76	-1.2592	0.40178	-5
-4	0.0027081	0.7620	0.0033	0.7653	-4.023	6.751	2.728	-0.0148	0.0264	0.0115	-341.69	-1.2515	0.43748	-4
-3	0.0029480	0.7649	0.0036	0.7685	-3.017	7.353	4.336	-0.0111	0.0286	0.0175	-339.61	-1.2438	0.47606	-3
-2	0.0032074	0.7677	0.0039	0.7717	-2.011	8.007	5.995	-0.0074	0.0310	0.0236	-337.52	-1.2361	0.51773	-2
-1	0.0034874	0.7705	0.0043	0.7749	-1.006	8.712	7.706	-0.0037	0.0336	0.0299	-335.42	-1.2284	0.56268	-1
0	0.0037895	0.7734	0.0047	0.7781	-0.000	9.473	9.473	0.0000	0.0364	0.0364	-333.32	-1.2206	0.61117	0
0*	0.003789	0.7734	0.0047	0.7781	-0.000	9.473	9.473	0.0000	0.0364	0.0364	0.06	-0.0001	0.6112	0
1	0.004076	0.7762	0.0051	0.7813	1.006	10.197	11.203	0.0037	0.0391	0.0427	4.28	0.0153	0.6571	1
2	0.004381	0.7791	0.0055	0.7845	2.012	10.970	12.982	0.0073	0.0419	0.0492	8.49	0.0306	0.7060	2
3	0.004707	0.7819	0.0059	0.7878	3.018	11.793	14.811	0.0110	0.0449	0.0559	12.70	0.0459	0.7581	3
4	0.005054	0.7848	0.0064	0.7911	4.024	12.672	16.696	0.0146	0.0480	0.0627	16.91	0.0611	0.8135	4
5	0.005424	0.7876	0.0068	0.7944	5.029	13.610	18.639	0.0182	0.0514	0.0697	21.12	0.0762	0.8725	5
6	0.005818	0.7904	0.0074	0.7978	6.036	14.608	20.644	0.0219	0.0550	0.0769	25.32	0.0913	0.9353	6
7	0.006237	0.7933	0.0079	0.8012	7.041	15.671	22.713	0.0255	0.0588	0.0843	29.52	0.1064	1.0020	7
8	0.006683	0.7961	0.0085	0.8046	8.047	16.805	24.852	0.0290	0.0628	0.0919	33.72	0.1213	1.0729	8
9	0.007157	0.7990	0.0092	0.8081	9.053	18.010	27.064	0.0326	0.0671	0.0997	37.92	0.1362	1.1481	9
10	0.007661	0.8018	0.0098	0.8116	10.059	19.293	29.352	0.0362	0.0717	0.1078	42.11	0.1511	1.2280	10
11	0.008197													

Lanjutan Lampiran 2: Properti udara

Table 2 Thermodynamic Properties of Moist Air (Standard Atmospheric Pressure, 101.325 kPa) (Continued)

Temp. $t_f$ , °C	Humidity Ratio, $W$ , kg <sub>w</sub> /kg <sub>da</sub>	Volume, m <sup>3</sup> /kg (dry air)			Enthalpy, kJ/kg (dry air)			Entropy, kJ/(kg · K) (dry air)			Condensed Water			Temp. $t_w$ , °C
		$v_a$	$v_{as}$	$v_s$	$h_a$	$h_{as}$	$h_s$	$s_a$	$s_{as}$	$s_s$	Enthalpy		Vapor	
											$h_w$	$s_w$	Pressure, kPa $P_s$	
14	0.010012	0.8132	0.0131	0.8262	14.084	25.286	39.370	0.0503	0.0927	0.1430	58.88	0.2099	1.5987	14
15	0.010692	0.8160	0.0140	0.8300	15.090	27.023	42.113	0.0538	0.0987	0.1525	63.07	0.2244	1.7055	15
16	0.011413	0.8188	0.0150	0.8338	16.096	28.867	44.963	0.0573	0.1051	0.1624	67.26	0.2389	1.8185	16
17	0.012178	0.8217	0.0160	0.8377	17.102	30.824	47.926	0.0607	0.1119	0.1726	71.44	0.2534	1.9380	17
18	0.012989	0.8245	0.0172	0.8417	18.108	32.900	51.008	0.0642	0.1190	0.1832	75.63	0.2678	2.0643	18
19	0.013848	0.8274	0.0184	0.8457	19.114	35.101	54.216	0.0677	0.1266	0.1942	79.81	0.2821	2.1979	19
20	0.014758	0.8302	0.0196	0.8498	20.121	37.434	57.555	0.0711	0.1346	0.2057	84.00	0.2965	2.3389	20
21	0.015721	0.8330	0.0210	0.8540	21.127	39.908	61.035	0.0745	0.1430	0.2175	88.18	0.3107	2.4878	21
22	0.016741	0.8359	0.0224	0.8583	22.133	42.527	64.660	0.0779	0.1519	0.2298	92.36	0.3249	2.6448	22
23	0.017811	0.8387	0.0240	0.8627	23.140	45.301	68.440	0.0813	0.1613	0.2426	96.55	0.3390	2.8105	23
24	0.018963	0.8416	0.0256	0.8671	24.146	48.239	72.385	0.0847	0.1712	0.2559	100.73	0.3531	2.9852	24
25	0.020170	0.8444	0.0273	0.8717	25.153	51.347	76.500	0.0881	0.1817	0.2698	104.91	0.3672	3.1693	25
26	0.021448	0.8472	0.0291	0.8764	26.159	54.638	80.798	0.0915	0.1927	0.2842	109.09	0.3812	3.3633	26
27	0.022798	0.8501	0.0311	0.8811	27.165	58.120	85.285	0.0948	0.2044	0.2992	113.27	0.3951	3.5674	27
28	0.024226	0.8529	0.0331	0.8860	28.172	61.804	89.976	0.0982	0.2166	0.3148	117.45	0.4090	3.7823	28
29	0.025735	0.8558	0.0353	0.8910	29.179	65.699	94.878	0.1015	0.2296	0.3311	121.63	0.4229	4.0084	29
30	0.027329	0.8586	0.0376	0.8962	30.185	69.820	100.006	0.1048	0.2432	0.3481	125.81	0.4367	4.2462	30
31	0.029014	0.8614	0.0400	0.9015	31.192	74.177	105.369	0.1082	0.2576	0.3658	129.99	0.4505	4.4961	31
32	0.030793	0.8643	0.0426	0.9069	32.198	78.780	110.979	0.1115	0.2728	0.3842	134.17	0.4642	4.7586	32
33	0.032674	0.8671	0.0454	0.9125	33.205	83.652	116.857	0.1148	0.2887	0.4035	138.35	0.4779	5.0345	33
34	0.034660	0.8700	0.0483	0.9183	34.212	88.799	123.011	0.1180	0.3056	0.4236	142.53	0.4915	5.3242	34
35	0.036756	0.8728	0.0514	0.9242	35.219	94.236	129.455	0.1213	0.3233	0.4446	146.71	0.5051	5.6280	35
36	0.038971	0.8756	0.0546	0.9303	36.226	99.983	136.209	0.1246	0.3420	0.4666	150.89	0.5186	5.9468	36
37	0.041309	0.8785	0.0581	0.9366	37.233	106.058	143.290	0.1278	0.3617	0.4895	155.07	0.5321	6.2812	37
38	0.043778	0.8813	0.0618	0.9431	38.239	112.474	150.713	0.1311	0.3824	0.5135	159.25	0.5456	6.6315	38
39	0.046386	0.8842	0.0657	0.9498	39.246	119.258	158.504	0.1343	0.4043	0.5386	163.43	0.5590	6.9988	39
40	0.049141	0.8870	0.0698	0.9568	40.253	126.430	166.683	0.1375	0.4273	0.5649	167.61	0.5724	7.3838	40
41	0.052049	0.8898	0.0741	0.9640	41.261	134.005	175.265	0.1407	0.4516	0.5923	171.79	0.5857	7.7866	41
42	0.055119	0.8927	0.0788	0.9714	42.268	142.007	184.275	0.1439	0.4771	0.6211	175.97	0.5990	8.2081	42
43	0.058365	0.8955	0.0837	0.9792	43.275	150.475	193.749	0.1471	0.5041	0.6512	180.15	0.6122	8.6495	43
44	0.061791	0.8983	0.0888	0.9872	44.282	159.417	203.699	0.1503	0.5325	0.6828	184.33	0.6254	9.1110	44
45	0.065411	0.9012	0.0943	0.9955	45.289	168.874	214.164	0.1535	0.5624	0.7159	188.51	0.6386	9.5935	45
46	0.069239	0.9040	0.1002	1.0042	46.296	178.882	225.179	0.1566	0.5940	0.7507	192.69	0.6517	10.0982	46
47	0.073282	0.9069	0.1063	1.0132	47.304	189.455	236.759	0.1598	0.6273	0.7871	196.88	0.6648	10.6250	47
48	0.077556	0.9097	0.1129	1.0226	48.311	200.644	248.955	0.1629	0.6624	0.8253	201.06	0.6778	11.1754	48
49	0.082077	0.9125	0.1198	1.0323	49.319	212.485	261.803	0.1661	0.6994	0.8655	205.24	0.6908	11.7502	49
50	0.086858	0.9154	0.1272	1.0425	50.326	225.019	275.345	0.1692	0.7385	0.9077	209.42	0.7038	12.3503	50
51	0.091918	0.9182	0.1350	1.0532	51.334	238.290	289.624	0.1723	0.7798	0.9521	213.60	0.7167	12.9764	51
52	0.097272	0.9211	0.1433	1.0643	52.341	252.340	304.682	0.1754	0.8234	0.9988	217.78	0.7296	13.6293	52
53	0.102948	0.9239	0.1521	1.0760	53.349	267.247	320.596	0.1785	0.8695	1.0480	221.97	0.7424	14.3108	53
54	0.108954	0.9267	0.1614	1.0882	54.357	283.031	337.388	0.1816	0.9182	1.0998	226.15	0.7552	15.0205	54
55	0.115321	0.9296	0.1713	1.1009	55.365	299.772	355.137	0.1847	0.9698	1.1544	230.33	0.7680	15.7601	55
56	0.122077	0.9324	0.1819	1.1143	56.373	317.549	373.922	0.1877	1.0243	1.2120	234.52	0.7807	16.5311	56
57	0.129243	0.9353	0.1932	1.1284	57.381	336.417	393.798	0.1908	1.0820	1.2728	238.70	0.7934	17.3337	57
58	0.136851	0.9381	0.2051	1.1432	58.389	356.461	414.850	0.1938	1.1432	1.3370	242.88	0.8061	18.1691	58
59	0.144942	0.9409	0.2179	1.1588	59.397	377.788	437.185	0.1969	1.2081	1.4050	247.07	0.8187	19.0393	59
60	0.15354	0.9438	0.2315	1.1752	60.405	400.458	460.863	0.1999	1.2769	1.4768	251.25	0.8313	19.9439	60
61	0.16269	0.9466	0.2460	1.1926	61.413	424.624	486.036	0.2029	1.3500	1.5530	255.44	0.8438	20.8858	61
62	0.17244	0.9494	0.2614	1.2109	62.421	450.377	512.798	0.2059	1.4278	1.6337	259.62	0.8563	21.8651	62
63	0.18284	0.9523	0.2780	1.2303	63.429	477.837	541.266	0.2089	1.5104	1.7194	263.81	0.8688	22.8826	63
64	0.19393	0.9551	0.2957	1.2508	64.438	507.177	571.615	0.2119	1.5985	1.8105	268.00	0.8812	23.9405	64
65	0.20579	0.9580	0.3147	1.2726	65.446	538.548	603.995	0.2149	1.6925	1.9074	272.18	0.8936	25.0397	65
66	0.21848	0.9608	0.3350	1.2958	66.455	572.116	638.571	0.2179	1.7927	2.0106	276.37	0.9060	26.1810	66
67	0.23207	0.9636	0.3568	1.3204	67.463	608.103	675.566	0.2209	1.8999	2.1208	280.56	0.9183	27.3664	67
68	0.24664	0.9665	0.3803	1.3467	68.472	646.724	715.196	0.2238	2.0147	2.2385	284.75	0.9306	28.5967	68
69	0.26231	0.9693	0.4055	1.3749	69.481	688.261	757.742	0.2268	2.1378	2.3646	288.94	0.9429	29.8741	69
70	0.27916	0.9721	0.4328	1.4049	70.489	732.959	803.448	0.2297	2.2699	2.4996	293.13	0.9551	31.1986	70
71	0.29734	0.9750	0.4622	1.4372	71.498	781.208	852.706	0.2327	2.4122	2.6448	297.32	0.9673	32.5734	71
72	0.31698	0.9778	0.4941	1.4719	72.507	833.335	905.842	0.2356	2.5655	2.8010	301.51	0.9794	33.9983	72
73	0.33824	0.9807	0.5287	1.5093	73.516	889.807	963.323	0.2385	2.7311	2.9696	305.70	0.9916	35.4759	73
74	0.36130	0.9835	0.5662	1.5497	74.525	951.077	1025.603	0.2414	2.9104	3.1518	309.89	1.0037	37.0063	74
75	0.38641	0.9863	0.6072	1.5935	75.535	1017.841	1093.375	0.2443	3.1052	3.3496	314.08	1.0157	38.5940	75
76	0.41377	0.9892	0.6519	1.6411	76.543	1090.628	1167.172	0.2472	3.3171	3.5644	318.28	1.0278	40.2369	76
77	0.44372	0.9920	0.7010	1.6930	77.553	1170.328	1247.881	0.2501	3.5486	3.7987	322.47	1.0398	41.9388	77
78	0.47663	0.9948	0.7550	1.7498	78.562	1257.921	1336.483	0.2530	3.8023	4.0553	326.67	1.0517	43.7020	78
79	0.51284	0.9977	0.8145	1.8121	79.572	1354.347	1433.918	0.2559	4.0810	4.3368	330.86	1.0636	45.5248	79
80	0.55295	1.0005	0.8805	1.8810	80.581	1461.200	1541.781	0.2587	4.3890	4.6477	335.06	1.0755	47.4135	80
81	0.59751	1.0034	0.9539	1.9572	81.591	1579.961	1661.552	0.2616	4.7305	4.9921	339.25	1.0874	49.3670	81
82	0.64724	1.0062	1.0360	2.0422	82.600	1712.547	1795.148	0.2644	5.1108	5.3753	343.45	1.0993	51.3860	82
83	0.70311	1.0090	1.1283	2.1373	83.610	1861.548	1945.158	0.2673	5.5372	5.8045	347.65	1.1111	53.4746	83
84	0.76624	1.0119	1.2328	2.2446	84.620	2029.983	2114.603	0.2701	6.0181	6.2882	351.85	1.1228		



Lampiran 3 Peraturan Presiden mengenai tarif dasar listrik



PRESIDEN  
REPUBLIK INDONESIA

LAMPIRAN III  
PERATURAN PRESIDEN REPUBLIK INDONESIA  
NOMOR : 8 Tahun 2011  
TANGGAL : 7 Februari 2011

TARIF DASAR LISTRIK UNTUK KEPERLUAN BISNIS

NO.	GOL. TARIF	BATAS DAYA	REGULER		PRA BAYAR (Rp/kWh)
			BIAYA BEBAN (Rp/kVA/bulan)	BIAYA PEMAKAIAN (Rp/kWh) DAN BIAYA kVArh (Rp/kVArh)	
1.	B-1/TR	450 VA	23.500	Blok I : 0 s.d. 30 kWh : 254 Blok II : di atas 30 kWh : 420	535
2.	B-1/TR	900 VA	26.500	Blok I : 0 s.d. 108 kWh : 420 Blok II : di atas 108 kWh : 465	630
3.	B-1/TR	1.300 VA	*)	795	795
4.	B-1/TR	2.200 VA s.d. 5.500 VA	*)	905	905
5.	B-2/TR	6.600 VA s.d. 200 kVA	**)	Blok I : H1 x 900 Blok II : H2 x 1.380	1.100
6.	B-3/TM	di atas 200 kVA	***)	Blok WBP = K x 800 Blok LWBP = 800 kVArh = 905 ****)	-

Catatan :

\*) Diterapkan Rekening Minimum (RM):  
 $RM1 = 40 \text{ (Jam Nyala)} \times \text{Daya tersambung (kVA)} \times \text{Biaya Pemakaian.}$

\*\*\*) Diterapkan Rekening Minimum (RM):  
 $RM2 = 40 \text{ (Jam Nyala)} \times \text{Daya tersambung (kVA)} \times \text{Biaya Pemakaian Blok I.}$

\*\*\*\*) Diterapkan Rekening Minimum (RM):  
 $RM3 = 40 \text{ (Jam Nyala)} \times \text{Daya tersambung (kVA)} \times \text{Biaya Pemakaian LWBP.}$   
 Jam nyala : kWh per bulan dibagi dengan kVA tersambung.  
 H1 : Persentase batas hemat terhadap jam nyala rata-rata nasional x daya tersambung (kVA).  
 H2 : Pemakaian listrik (kWh) - H1.

\*\*\*\*\*) Biaya kelebihan pemakaian daya reaktif (kVArh) dikenakan dalam hal faktor daya rata-rata setiap bulan kurang dari 0,85 (delapan puluh lima per seratus).

Besar persentase batas hemat dan jam nyala rata-rata nasional ditetapkan oleh Direksi Perusahaan Perseroan (Persero) PT Perusahaan Listrik Negara dengan persetujuan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral.

K : Faktor perbandingan antara harga WBP dan LWBP sesuai dengan karakteristik beban sistem kelistrikan setempat ( $1,4 \leq K \leq 2$ ), ditetapkan oleh Direksi Perusahaan Perseroan (Persero) PT Perusahaan Listrik Negara.

WBP : Waktu Beban Puncak.  
 LWBP : Luar Waktu Beban Puncak.

PRESIDEN REPUBLIK INDONESIA,

ttd.

DR. H. SUSILO BAMBANG YUDHOYONO

Salinan sesuai dengan aslinya  
Kepala Biro Perekonomian dan Industri



Universitas Indonesia