

**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR AWAL PENGGORENGAN
TERHADAP KARAKTERISTIK KELEMBABAN *FRYING CHAMBER*
PADA PROSES PENGGORENGAN VAKUM**

**SKRIPSI
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Disusun oleh :

WAHYUDI WIRJANTO
NIM. 0210620130-62

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN MESIN

MALANG

2007

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang dengan limpahan rahmat, taufik dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul Pengaruh Variasi Temperatur Awal Penggorengan terhadap Karakteristik Kelembaban *Frying Chamber* pada Proses Penggorengan Vakum ini dengan baik. Penulis menyadari bahwa selama penulisan skripsi ini telah dibantu oleh banyak pihak.

Ucapan terima kasih yang tulus saya haturkan kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini, yaitu:

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT., selaku Ketua Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Bapak Ir. Rudy Soenoko, M.Eng., selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Konversi Energi Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Bapak Ir. Djoko Sutikno, M.Eng., selaku dosen pembimbing I yang telah banyak memberikan bimbingan dan masukan pada penulis dalam menyusun skripsi ini.
4. Bapak Eko Siswanto, ST., MT., selaku dosen pembimbing II yang dengan penuh kesabaran dan ketelitian telah mendampingi, membimbing dan memberikan masukan pada penulis.
5. Ayah, Ibu, dan Kakak yang telah memberikan segalanya yang terbaik untuk penulis sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.
6. Bapak Sufi selaku pemilik CV. Palm Ijo serta saudara Syarif dan Yudi yang telah memberikan kesempatan dan bantuan kepada penulis dalam melakukan penelitian.
7. Keluarga Besar Laboratorium Fenomena Dasar Mesin dan Mahasiswa Mesin Angkatan 2002 atas dukungan semangat yang diberikan kepada penulis selama mengerjakan penelitian ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa masih banyak terdapat kekurangan dalam skripsi ini, sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat saya harapkan untuk kesempurnaan skripsi ini.

Malang, Agustus 2007

Penyusun

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR LAMPIRAN.....	vi
DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL.....	vii
RINGKASAN.....	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penulisan.....	2
1.5 Manfaat Penulisan.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	3
2.2 Kalor Sensibel dan Kalor Laten.....	3
2.3 Laju Penguapan.....	4
2.4 Kelembaban	4
2.5.1 Kelembaban Spesifik.....	5
2.5.2 Kelembaban Absolut.....	5
2.6.3 Kelembaban Relatif	5
2.5 Tekanan.....	5
2.6.1 Macam-macam Tekanan.....	5
2.6.2 Tekanan Vakum.....	6
2.6 Mesin penggoreng Vakum (<i>Vacuum Fryer</i>).....	6
2.7.1 Unit Pemvakum	6
2.7.2 Kondensor.....	8
2.7.3 Ruang Penggorengan.....	9
2.7.4 Sistem Pemanas	9
2.7.5 Bak Air.....	9
2.7 Orifis-meter.....	9
2.7.1 Persamaan Gas Ideal.....	12



2.7.2	Kontinuitas Massa.....	12
2.7.3	Persamaan Bernoulli.....	14
2.8	Efisiensi Termal.....	16
2.9	Energi Listrik.....	16
2.10	Kadar air.....	16
2.11	Hipotesis.....	17
BAB III METODE PENELITIAN.....		18
3.1	Metode Penelitian.....	19
3.2	Variabel Penelitian.....	19
3.3	Alat-alat Penelitian.....	20
3.4	Instalasi Alat Penelitian.....	21
3.5	Tempat Penelitian.....	23
3.6	Prosedur Penelitian.....	23
3.7	Diagram Alir Penelitian.....	24
BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN.....		25
4.1	Data Hasil Pengujian.....	25
4.2	Perhitungan Data.....	26
4.2.1	Efisiensi Termal.....	26
4.2.2	Energi Listrik.....	27
4.2.3	Debit Uap.....	28
4.2.4	Kadar Air.....	31
4.3	Pembahasan.....	33
4.3.1	Pengaruh Temperatur Awal Minyak Goreng terhadap Karakteristik Kelembaban <i>frying chamber</i>	33
4.3.2	Pengaruh Temperatur Awal Penggorengan terhadap Perubahan Massa Alir Uap di Orifis.....	34
4.3.3	Pengaruh Temperatur Awal Penggorengan terhadap Kadar Air Buah yang Menguap selama Proses Penggorengan.....	35
4.3.4	Pengaruh Temperatur Awal Penggorengan terhadap Kadar Air Buah Akhir Goreng.....	36
4.3.5	Pengaruh Temperatur Awal Penggorengan terhadap Konsumsi Bahan Bakar selama Proses Penggorengan.....	37

4.3.6 Pengaruh Temperatur Awal Penggorengan terhadap efisiensi termal	38
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	39
5.1 Kesimpulan	39
5.2 Saran	39
DAFTAR PUSTAKA	40
LAMPIRAN	41



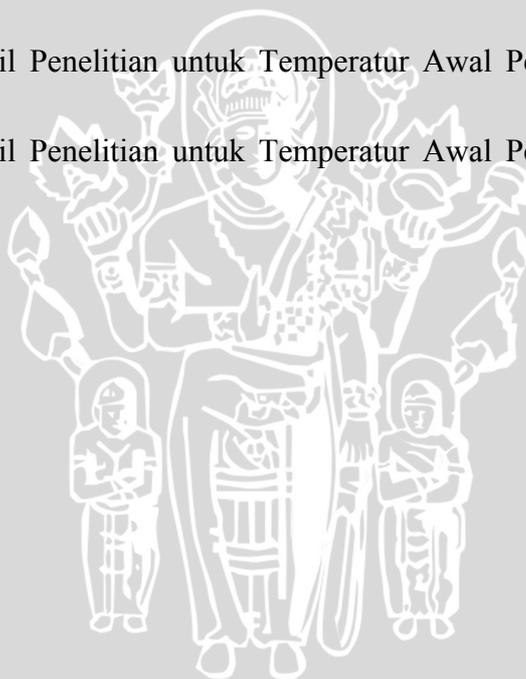
DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Hal.
Gambar 2.1	Skema Tekanan	6
Gambar 2.2	Analitis Aliran Fluida Pendorong Ejektor	7
Gambar 2.3	Multi Ejektor dan Bagian-bagiannya	8
Gambar 2.4	Bagian – bagian Kondensor	9
Gambar 2.5	Orifis meter yang digunakan	10
Gambar 2.6	Koefisien orifis (C) untuk berbagai rasio perbandingan diameter	11
Gambar 2.7	Aliran fluida dalam suatu saluran	13
Gambar 3.1	Intalasi Alat Penelitian	22
Gambar 3.2	Diagram Alir Penelitian	24
Gambar 4.1	Orifis yang digunakan	28
Gambar 4.2	Grafik perubahan kelembaban <i>frying chamber</i> terhadap waktu dengan variasi temperatur awal minyak goreng	33
Gambar 4.3	Diagram batang massa alir uap di orifis dengan variasi temperatur awal penggorengan	34
Gambar 4.4	Diagram batang kadar air buah yang menguap dengan variasi temperatur awal penggorengan	35
Gambar 4.5	Diagram batang kadar air buah akhir goreng dengan variasi temperatur awal penggorengan	36
Gambar 4.6	Diagram batang konsumsi LPG dengan variasi temperatur awal penggorengan	37
Gambar 4.7	Diagram batang efisiensi termal dengan variasi temperatur awal penggorengan	38



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Hal.
Lampiran 1.	Tabel Temperatur Saturasi Uap air	41
Lampiran 2.	Tabel Kalor Laten Air	41
Lampiran 3.	Tabel Kapasitas Kalor Buah	42
Lampiran 4.	Tabel <i>Low Heating Value</i> Bahan Bakar	43
Lampiran 5.	Tabel Viskositas Dinamik uap air	44
Lampiran 6.	Data Hasil Penelitian untuk Temperatur Awal Penggorengan 73 °C	45
Lampiran 7.	Data Hasil Penelitian untuk Temperatur Awal Penggorengan 76 °C	66
Lampiran 8.	Data Hasil Penelitian untuk Temperatur Awal Penggorengan 79 °C	87
Lampiran 9.	Data Hasil Penelitian untuk Temperatur Awal Penggorengan 82 °C	108
Lampiran 10.	Data Hasil Penelitian untuk Temperatur Awal Penggorengan 85 °C	129



DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL

Besaran	Satuan	Simbol
Temperatur <i>frying chamber</i>	°C	t_{fc}
Temperatur sebelum orifis	°C	t_a
Temperatur setelah orifis	°C	t_b
Kelembaban relatif <i>frying chamber</i>	%	RH
Tekanan vakum <i>frying chamber</i>	cmHg	P_{fc}
Tekanan vakum sebelum orifis	cmHg	P_{va}
Tekanan vakum setelah orifis	cmHg	P_{vb}
Arus listrik pompa air rata-rata	A	I
Tegangan listrik pompa air	V	V
Berat tabung LPG awal proses	kg	m_{LPG1}
Berat tabung LPG akhir proses	kg	m_{LPG2}
Low Heating Value LPG	kJ/kg	LHV_{LPG}
Massa minyak	kg	m_{minyak}
Kapasitas kalor spesifik minyak	kJ/kg °C	C_{minyak}
Temperatur mula minyak goreng	°C	t_{mk1}
Temperatur akhir minyak goreng	°C	t_{mk2}
Kalor laten air	L	kJ/kg
Kalor spesifik buah nanas	°C	C_{buah}
Tebal irisan buah	mm	t_{bh}
Massa buah awal proses	kg	m_{bh1}
Massa buah akhir proses	kg	m_{bh2}
Massa irisan buah awal proses	gr	m_{bhi1}
Massa irisan buah akhir proses	gr	m_{bhi2}
Massa irisan buah dioven	gr	m_{bho}
Temperatur irisan buah awal proses	°C	t_{bh1}
Temperatur irisan buah akhir proses	°C	t_{bh2}
Tekanan Barometer	cmHg	P_{bar}
Temperatur atmosfer	°C	t_{atm}
Kelembaban atmosfer	%	RH_{atm}
Konstanta gas universal	J/kmol °K	R_u
Berat molekul uap air	kg/kmol	M_{H_2O}
Temperatur saturasi	°C	t_{sat}

RINGKASAN

WAHYUDI WIRJANTO, Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Agustus 2007, *Pengaruh Temperatur Awal Penggorengan terhadap Karakteristik Kelembaban Frying Chamber Pada Proses Penggorengan Vakum*

Dosen Pembimbing: Ir. Djoko Sutikno, MT dan Eko Siswanto, ST., MT

Proses pengolahan buah segar menjadi kripik dilakukan dengan penggorengan melalui sistem penggorengan vakum. Metode penggorengan vakum dilakukan dengan menurunkan tekanan ruang penggorengan sehingga temperatur penggorengan tidak terlalu tinggi, lalu dilakukan proses penggorengan melalui pemakaian sumber panas yang diberikan lewat kompor. Untuk mendapatkan kualitas produk dengan kadar air yang rendah, maka perlu diketahui karakteristik kelembaban. Dalam skripsi ini akan dibahas pengaruh temperatur awal penggorengan terhadap kelembaban ruang penggorengan.

Dari data hasil pengukuran diperoleh nilai kelembaban maksimal paling besar yaitu 90,802 % pada temperatur awal penggorengan 85 °C. Sedangkan nilai kelembaban maksimal paling rendah yaitu 69,415 % pada temperatur awal penggorengan 73 °C. Untuk temperatur awal penggorengan 82 °C, 79 °C, dan 76 °C menghasilkan nilai kelembaban maksimal berturut-turut yaitu 83,45 %, 77,16%, dan 73,38%.

Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa temperatur awal penggorengan berpengaruh nyata terhadap nilai kelembaban ruang penggorengan. Semakin besar temperatur awal penggorengan maka akan semakin meningkat kelembaban didalam ruang penggorengan.

Kata kunci : Mesin penggoreng vakum, temperatur awal penggorengan, dan kelembaban *frying chamber*.

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Proses penggorengan adalah proses melepaskan kandungan air dalam bahan yang digoreng dengan cara dipanaskan pada media minyak goreng. Penggorengan konvensional yang dilakukan pada temperatur tinggi (minimal 180 °C), dapat merusak bahan goreng (Ram Y, 2003). Hal ini dikarenakan temperatur tinggi dapat merusak struktur gula yang banyak terdapat pada bahan goreng. Untuk mengatasi masalah tersebut maka telah ditemukan suatu metode penggorengan yang baru, yaitu dengan cara menurunkan tekanan ruang penggorengan sehingga temperatur penggorengan tidak terlalu tinggi, lalu dilakukan proses penggorengan dengan pemakaian sumber panas yang diberikan lewat kompor. Metode ini disebut penggorengan vakum.

Salah satu masalah yang cukup signifikan pada proses ini adalah masalah tidak diketahuinya titik kelembaban ideal dimana produk telah mencapai kualitas yang diinginkan konsumen. Ini dikarenakan, selama ini kualitas produk diketahui masih memiliki *moisture content* yang cukup tinggi. Sehingga selain kurang diminati oleh konsumen karena masalah rasa, juga masalah tenggang kadaluwarsa yang terlalu singkat. Salah satu variabel yang berpengaruh langsung terhadap kelembaban adalah variabel temperatur. Dimana ketika bahan goreng dicelupkan dan kemudian minyak goreng dalam ruang penggorengan dipanaskan, maka akan terjadi peningkatan temperatur yang akan menyebabkan kandungan air dalam bahan goreng menurun.

Temperatur penggorengan akan mempengaruhi nilai laju penguapan kandungan air didalam bahan goreng. Hal ini karena penambahan temperatur pada minyak goreng akan menyebabkan kandungan air pada bahan goreng terlepas menjadi uap semakin bertambah. Dari eratnya hubungan temperatur dan laju penguapan tersebut, maka akan diteliti temperatur awal penggorengan pada saat pencelupan bahan goreng yang ada di ruang penggorengan. Penggorengan vakum yang dilakukan berupa variasi temperatur awal minyak goreng dengan mengatur bukaan katup gas elpiji sebagai sumber panas. Dari penelitian ini diharapkan diketahuinya karakteristik kelembaban dalam chamber sistem penggoreng vakuum akibat variasi temperatur awal penggorengan. Dengan diketahuinya karakteristik ini maka dapat ditentukan titik kelembaban ideal yang dapat dijadikan tolak ukur proses penggorengan vakum untuk peningkatan hasil goreng.

1.2. Rumusan Masalah

Dari latar belakang tersebut, maka dapat diambil sebuah rumusan masalah pada penelitian ini, yaitu :

“Bagaimana pengaruh variasi temperatur awal penggorengan terhadap karakteristik kelembaban *frying chamber* pada proses penggorengan vakum”

1.3. Batasan Masalah

Agar ruang lingkup permasalahan tidak meluas, maka diperlukan adanya batasan masalah sebagai berikut :

1. Buah yang digoreng adalah buah nanas.
2. Massa buah dan massa minyak goreng sama
3. Selang waktu penggorengan yang diberikan sama
4. Tekanan vakum awal *frying chamber* sama.

1.4. Tujuan Penulisan

Tujuan yang ingin dicapai dalam penulisan skripsi ini adalah :

“Mengetahui pengaruh variasi temperatur awal penggorengan terhadap karakteristik kelembaban *frying chamber* pada proses penggorengan vakum”

1.5. Manfaat Penulisan

Manfaat yang dapat diambil dalam penulisan skripsi ini adalah :

1. Sebagai bahan pertimbangan dalam memperoleh hasil penggorengan yang baik berdasarkan kelembaban *frying chamber* melalui pengendalian temperatur awal penggorengan pada sistem penggorengan vakum.
2. Sebagai bahan untuk pengembangan penelitian selanjutnya melalui simulasi.
3. Sebagai dasar perancangan mesin penggorengan vakum.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Sebelumnya

Ram Yamsaneung (2003) melakukan penelitian pada proses penggorengan vakum dengan instalasi alat menggunakan ruang penggorengan, *water collector*, pompa vakum, pompa minyak, dan *trap*, dengan meninjau perubahan temperatur dan tekanan selama proses penggorengan. Pada mesin penggorengan ini minyak goreng dipanaskan terlebih dahulu kemudian disirkulasikan ke ruang penggorengan. Bahan goreng adalah buah pisang yang digoreng pada temperatur 90 °C dan tekanan 70 cmHg vakum (6 cmHg absolut). Penelitian ini dilakukan untuk menyelidiki perubahan panas minyak goreng dan perubahan tekanan vakum yang terjadi selama penggorengan. Kesimpulan dari penelitian ini adalah diperolehnya titik akhir proses penggorengan yang optimum setelah 1 jam proses penggorengan yaitu pada saat tekanan vakum mencapai 70 cmHg dan temperatur penggorengan mencapai 90 °C.

2.2 Kalor Sensibel dan Kalor Laten

Energi dalam dari suatu materi dapat diartikan sebagai jumlah dari energi kinetik dan energi potensial dari molekul-molekul materi tersebut. Energi dalam dari sebuah sistem yang berhubungan dengan energi kinetik dari molekul suatu materi disebut juga energi sensibel atau kalor sensibel. Tingkat aktifitas dari molekul tersebut berbanding lurus dengan temperatur benda. Oleh karena itu, pada temperatur yang tinggi, maka molekul-molekul benda tersebut akan memiliki energi kinetik yang lebih besar pula, sehingga sistem tersebut akan memiliki energi dalam yang lebih besar. Kalor sensibel dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Q_s = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (2-1)$$

(Sumber : William F.Riley, 1994)

Dengan:

- q_s = kalor sensibel (kJ)
- m = massa (kg)
- c = kapasitas kalor spesifik (kJ / kg.°C)
- ΔT = perubahan temperatur (°C)

Energi dalam suatu benda berhubungan juga dengan gaya antar-molekul di antara molekul-molekul dari sebuah benda. Gaya inilah yang mengikat satu molekul dengan molekul yang lain, dimana gaya ini didapati paling kuat pada benda berwujud padat, dan paling lemah pada benda berwujud gas. Jika energi yang cukup diberikan pada benda berwujud padat atau cair, maka energi ini akan melebihi gaya antar-molekul tersebut sehingga molekul-molekul tersebut terlepas dari ikatannya, sehingga wujud benda tersebut berubah menjadi gas. Proses ini adalah proses perubahan fase. Energi dalam yang berhubungan dengan perubahan fase pada sistem disebut juga energi laten atau kalor laten. Kalor laten dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$Q_{LI} = m \cdot c_L \quad (2-2)$$

(Sumber : William F.Riley, 1994)

Dengan:

Q_L = kalor laten (kJ)

m = massa (kg)

c_L = kalor laten spesifik (kJ/kg)

2.3 Laju Penguapan

Selama proses penggorengan, kandungan air yang terdapat dalam bahan goreng akan mengalami penguapan seiring dengan meningkatnya temperatur yang dibangkitkan oleh sistem pemanas. Proses penguapan ini terjadi sampai bahan goreng mengering sempurna. Jumlah uap yang keluar tiap satu satuan waktu selama proses penggorengan disebut laju penguapan

Laju penguapan sangat dipengaruhi oleh massa air yang menguap, oleh karena itu diperlukan metode untuk menentukan massa air yang menguap. Massa air yang menguap dapat diketahui dengan menghitung selisih massa bahan goreng awal terhadap massa bahan goreng akhir. Penggunaan metode ini dilakukan karena tidak meninjau uap yang terbentuk dari minyak goreng.

2.4 Kelembaban

Kelembaban adalah kadar uap air yang terkandung didalam udara. Ada beberapa macam kelembaban, yaitu : kelembaban spesifik, kelembaban absolut, dan kelembaban relatif.

2.4.1 Kelembaban spesifik (W)

Kelembaban spesifik adalah perbandingan antara massa uap air (m_v) dengan massa udara kering (m_a)

$$W = \frac{m_v}{m_a} \quad (2-3)$$

(Sumber : Stoecker, 1990)

2.4.2 Kelembaban absolut

Kelembaban absolut ialah massa uap air yang terkandung dalam satu meter kubik campuran udara-uap air pada tekanan tertentu

2.4.3 Kelembaban relatif (ϕ)

Kelembaban relatif yang dinyatakan dalam persen atau bilangan desimal adalah rasio tekanan parsial aktual uap air yang ada di udara dengan tekanan jenuh uap air pada temperatur bola kering.

$$\phi = \frac{\text{tekanan uap air parsial}}{\text{tekanan jenuh air murni pada suhu yang sama}} \quad (2-4)$$

(Sumber : Stoecker, 1990)

2.5 Tekanan

Tekanan adalah gaya yang dialami oleh suatu permukaan fluida persatuan luas dalam arah tegak lurus permukaan tersebut.

2.5.1 Macam-macam tekanan

Pada gambar 2.1 dapat dilihat skema tekanan berdasarkan peninjauan atau pengukuran tekanan tersebut. Adapun macam-macam tekanan yang biasa digunakan yaitu :

1. Tekanan atmosfer

Tekanan atmosfer adalah tekanan lapisan udara bumi.

2. Tekanan barometer

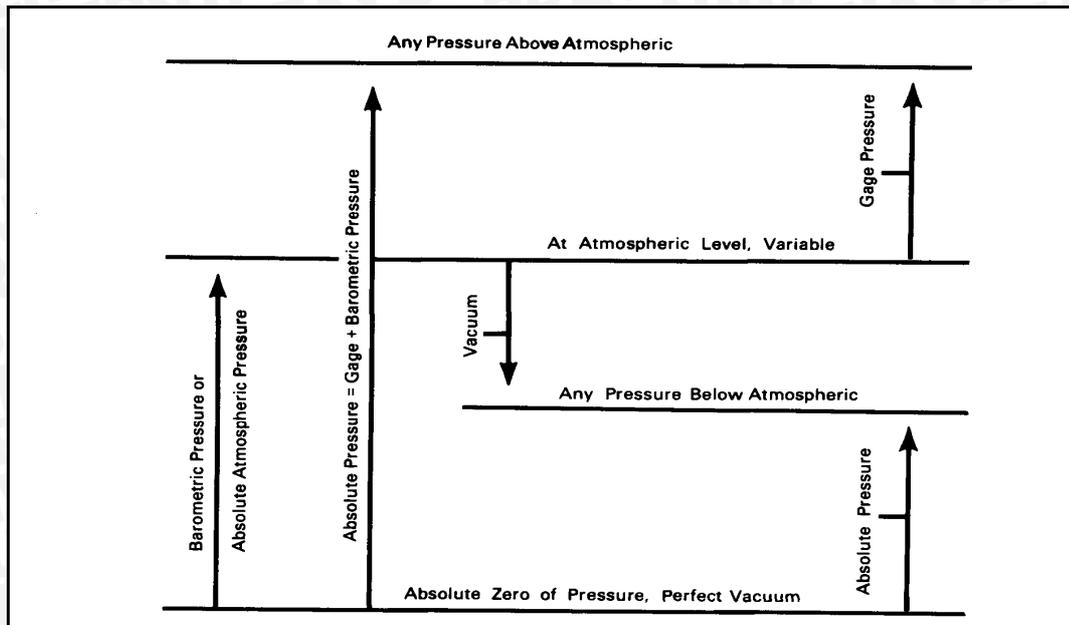
Tekanan barometer merupakan tekanan atmosfer pada tempat yang sedang diperhatikan dan akan bervariasi sesuai dengan ketinggian dan kondisi iklimnya.

3. Tekanan absolut

Tekanan absolut adalah tekanan total yang dihasilkan oleh medium.

4. Tekanan gage

Tekanan gage adalah tekanan pengukuran relatif terhadap atmosfer setempat



Gambar 2.1. Skema Tekanan
(Sumber : www.globalsecurity.org)

2.5.2 Tekanan vakum

Tekanan vakum adalah tekanan di bawah tekanan atmosfer. Tekanan vakum pada sistem penggorengan vakum terjadi pada ruang penggoreng. Tekanan vakum ini dapat menurunkan titik didih dan titik penguapan air yang terkandung pada bahan yang digoreng. Dengan menurunnya titik didih dan titik penguapan ini maka bahan goreng akan mengering pada temperatur yang lebih rendah. Hal ini akan sangat menguntungkan karena penggorengan pada temperatur rendah tidak merusak struktur gula dalam bahan goreng.

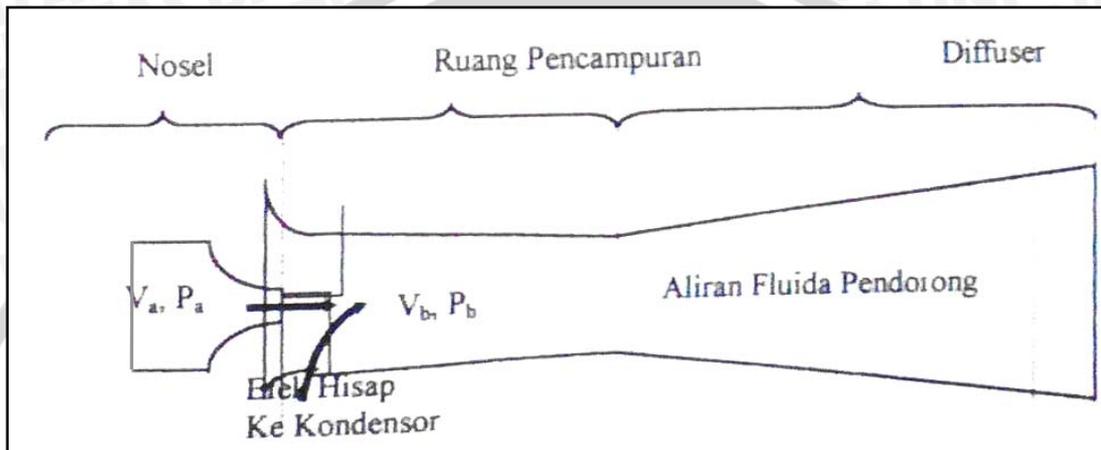
2.6 Mesin penggoreng Vakum

Penggoreng vakum adalah suatu alat yang berfungsi untuk menggoreng suatu bahan pada kondisi tekanan vakum. Mesin penggoreng vakum terdiri dari beberapa bagian yaitu : pembangkit tekanan vakum, kondensor, ruang penggorengan, kompor LPG, pompa air, dan tandon air.

2.6.1 Unit Pevakum

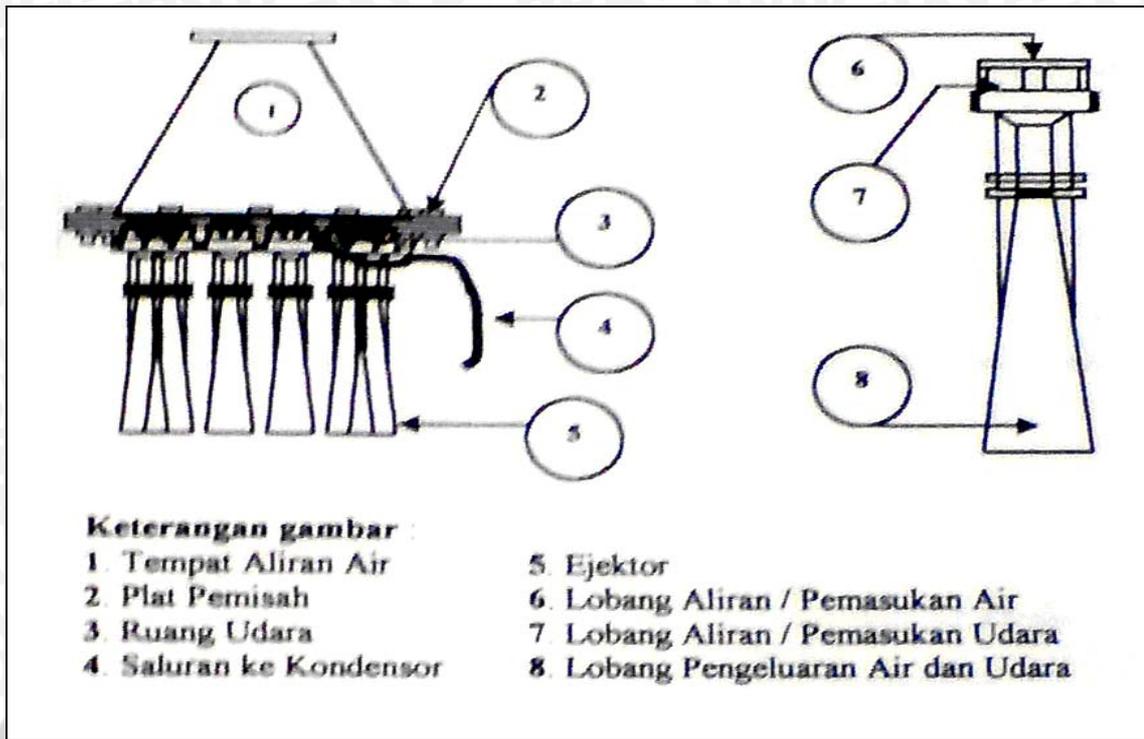
Unit pevakum terdiri dari ejektor dan pompa air. Ejektor berfungsi untuk menghasilkan tekanan vakum yang dihasilkan oleh efek dari perubahan energi tekan fluida menjadi kecepatan melalui nosel yang diteruskan ke difuser dan pompa air berfungsi untuk mensirkulasikan air ke ejektor dan kondensor.

Pada gambar 2.2 dapat dilihat nosel akan mengurangi besar tekanan statis aliran fluida pada penampang a menjadi tekanan statis yang lebih kecil pada penampang b dengan berdasarkan perbedaan luas penampang antara kedua penampang tersebut sehingga akan terjadi peningkatan kecepatan. Akibat pengaruh kecepatan fluida pendorong yang tinggi, maka menghasilkan efek hisap pada saluran yang dihubungkan dengan kondensor. Efek inilah yang akan menghisap uap air yang berada di ruang penggorengan, sehingga *frying chamber* berada pada kondisi vakum.



Gambar 2.2. Aliran Fluida Pendorong Ejektor
(Sumber : Argo,1999)

Mesin penggoreng vakum ini terdiri dari beberapa ejektor yang digunakan secara bersamaan dalam menghisap uap air yang berada dalam *frying chamber*. Gabungan dari beberapa ejektor ini biasa disebut multi ejektor (gambar 2.3).

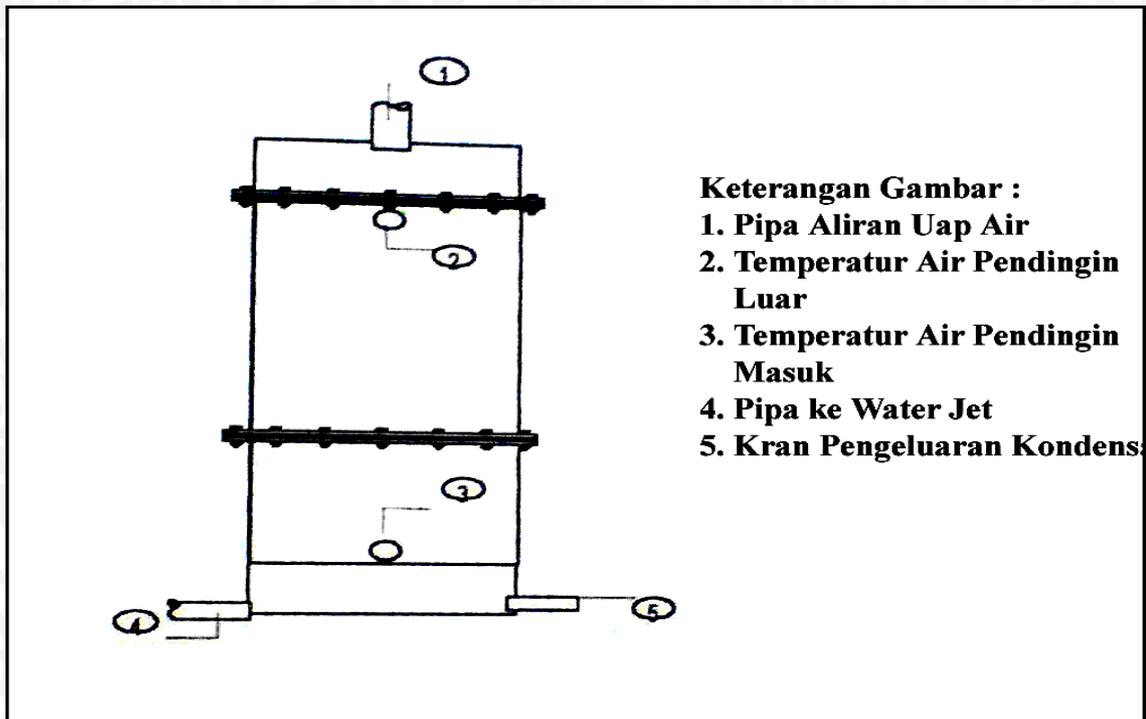


Gambar 2.3. Multi Ejektor dan Bagian-bagiannya
(Sumber : Argo, 1999)

Keuntungan penggunaan ejektor untuk mengkondisikan tekanan vakum dalam ruangan penggorengan antara lain adalah konstruksi yang sederhana, upaya untuk perbaikan dan perawatan sistem mudah, harganya relatif murah, serta komponen-komponennya mudah didapat di pasaran (Argo,1998)

2.6.2 Kondensor

Kondensor berfungsi untuk menurunkan temperatur dan mengembunkan uap air yang terhisap. Hal ini dilakukan dengan melewati fluida pendingin yaitu air dari sirkulasi ejektor kedalam kondensor. Seperti yang terlihat pada gambar 2.4, uap air akan masuk melalui pipa aliran uap air (1) menuju saluran ke water jet (4) melewati saluran yang berupa pipa berbentuk spiral. Fluida pendingin masuk kedalam sistem kondensor melalui saluran masuk fluida pendingin kondensor (3) menuju saluran keluar fluida pendingin (2). Kondensat akan terbentuk didalam pipa saluran uap air kondensor. Hasil kondensat akan dikeluarkan melalui kran pengeluaran kondensat (5).



Gambar 2.4. Bagian – bagian Kondensor
(Sumber : Argo, 1999)

2.6.3 Ruang Penggorengan

Ruang penggorengan berfungsi untuk mengkondisikan tekanan vakum yang diinginkan. Di dalamnya berisi minyak sebagai media pemindah panas yang dilengkapi dengan keranjang tempat bahan yang sekaligus berfungsi sebagai pengaduk atau pembalik bahan goreng.

2.6.4 Sistem Pemanas

Sumber panas dapat mempergunakan heater listrik, boiler atau LPG (Liquid Petroleum Gas). Untuk mesin skala industri rumah tangga biasanya digunakan LPG sebagai sistem pemanas karena pengendaliannya tidak rumit dan relatif lebih murah.

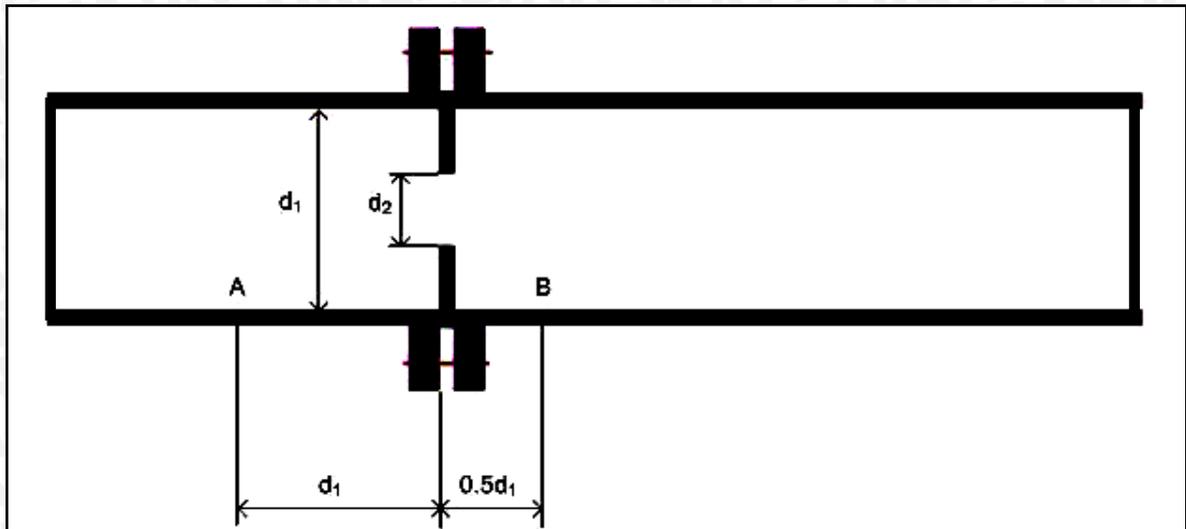
2.6.5 Bak Air

Bak air digunakan untuk menampung air yang akan disirkulasikan oleh pompa air sentrifugal.

2.7 Orifis meter

Orifis meter digunakan untuk mengukur debit uap air. Pengukuran yang dilakukan adalah pengukuran perubahan tekanan di antara kedua sisi orifis akibat perubahan penampang secara tiba-tiba. Dari perubahan tekanan tersebut maka akan diketahui nilai kecepatan aliran pada saluran. Dengan diketahuinya kecepatan aliran uap

air dan luasan penampang saluran maka akan didapatkan nilai debit uap air pada saluran.



Gambar 2.5 Orifis meter yang digunakan
(Sumber : Holman, JP.,1985).

Dimana :

d_1 = diameter saluran (m)

d_2 = diameter lubang penghalang (m)

Pada gambar 2.5, penempatan titik pengukuran pada bagian A dan B didapat dari meninjau perbandingan diameter penampang orifis bagian hulu dan hilir (Holman, JP.,1985). Debit uap air yang terjadi diketahui dari perhitungan teoritis debit suatu aliran fluida pada suatu saluran dengan menambahkan faktor koreksi perubahan aliran fluida akibat melewati orifis. Nilai debit teoritis atau ideal didapat dari perhitungan sebagai berikut :

$$Q_{ideal} = vA \quad (2-5)$$

(Sumber : Holman, JP.,1985)

Dimana :

v = kecepatan aliran (m/s)

A = luas penampang saluran (m²)

Sedangkan nilai debit uap air yang akan dicari didapat dengan memasukkan faktor koreksi pada debit ideal yaitu :

$$Q_{aktual} = C M Y V A \quad (2-6)$$

(Sumber : Holman, JP.,1985)

Dimana :

- Rasio diameter, β

$$\beta = \frac{d_1}{d_2} \quad (2-7)$$

(Sumber : Holman, JP.,1985)

- Faktor kecepatan masuk, M

$$M = \frac{1}{\sqrt{1 - (A_2/A_1)^2}} \quad (2-8)$$

(Sumber : Holman, JP.,1985)

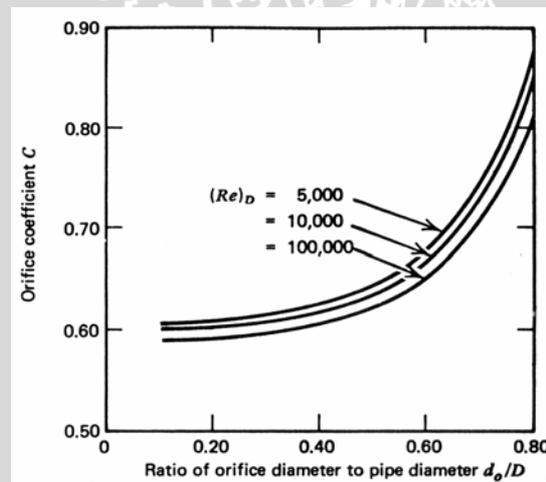
Dengan :

A_1 = luas penampang saluran (m^2)

A_2 = luas penampang lubang penghalang (m^2)

- Koefisien orifis, C

Dengan meninjau rasio perbandingan diameter (β) dan angka Reynolds, maka dari gambar 2.6 dapat diketahui koefisien orifis (C).



Gambar 2.6 Koefisien orifis (C) untuk berbagai rasio perbandingan diameter (Sumber : Holman, JP., 1993)

Angka Reynolds didapat dari :

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\mu} \quad (2-9)$$

(Sumber : Holman, JP.,1985)

Dimana :

ρ = massa jenis fluida (kg/m^3)

v = kecepatan fluida dalam saluran (m/s)

d = diameter saluran (m)

μ = viskositas dinamik (N s/m²)

- Faktor muai, Y

$$Y = 1 - \left[0,333 + 1,145(\beta^2 + 0,7\beta^5 + 12\beta^{13}) \right] \frac{P_1 - P_2}{k P_1} \quad (2-10)$$

(Sumber : Holman, JP.,1985)

Dengan :

P_1 = tekanan uap air pada saluran bagian hulu

P_2 = tekanan uap air pada saluran bagian hilir

k = rasio kalor spesifik

2.7.1 Persamaan gas ideal

Persamaan ini dinyatakan sebagai berikut :

$$P V = n R_u T \quad (2-11)$$

Dimana :

$n = \frac{m}{M}$; $R = \frac{R_u}{M}$; $\rho = \frac{m}{V}$ maka persamaan (2-18) akan menjadi

$$P = \rho R T \quad (2-12)$$

Dengan :

P = tekanan gas (N/m²)

V = volume gas (m³)

T = temperatur gas (°K)

n = jumlah molar gas (kmol)

m = massa gas (kg)

M = berat molekular gas (kg/kmol)

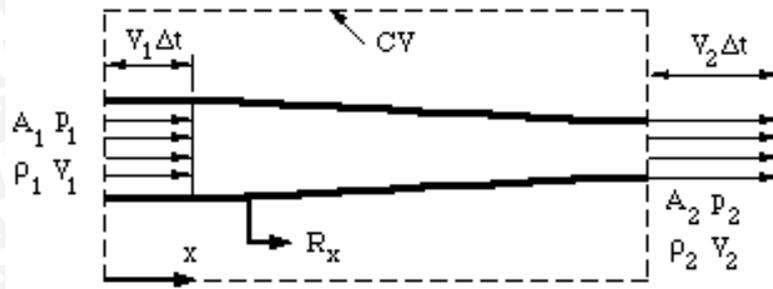
R_u = konstanta gas universal = 8314 (J/kmol °K)

R = konstanta gas spesifik (J/kg °K)

2.7.2 Kontinuitas massa

Jumlah massa fluida yang masuk ke suatu sistem sama dengan massa yang fluida yang keluar dari sistem tersebut.

Pada kontrol volume seperti gambar 2.7 berikut :



Gambar 2.7 Aliran fluida pada suatu saluran
(Sumber : www.princeton.edu)

Maka dari konservasi massa :

$$m_{\text{masuk}} = m_{\text{keluar}} + \Delta m$$

$$\rho_1 A_1 v_1 \Delta t = \rho_2 A_2 v_2 \Delta t + \Delta m \quad (2-13)$$

(Sumber : www.princeton.edu)

Dengan mengambil asumsi :

- Aliran fluida steady maka tidak mengalami perubahan kecepatan dan penambahan massa disepanjang saluran
- Fluida tak mampu mampat maka massa jenis fluida konstan
- Nilai Δt diabaikan karena kecil

Sehingga persamaan kontinuitas massa :

$$\rho A_1 v_1 = \rho A_2 v_2 \quad (2-14)$$

$$\dot{m}_{\text{masuk}} = \dot{m}_{\text{keluar}}$$

$$\dot{m} = \text{konstan}$$

Penerapan persamaan kontinuitas massa pada aliran fluida di saluran orifis yaitu uap air yang masuk ke orifis sama dengan massa uap air yang keluar dari orifis. Uap air merupakan fluida mampu mampat sehingga massa jenis di setiap titik saluran berbeda.

Persamaan kontinuitas massa menjadi :

$$\rho_a A_a v_a = \rho_b A_b v_b \quad (2-15)$$

Dimana :

- ρ_a = massa jenis uap air dibagian hulu (kg/m^3)
- ρ_b = massa jenis uap air dibagian hilir (kg/m^3)
- A_a = luas penampang saluran (m^2)
- A_b = luas penampang lubang penghalang (m^2)
- v_a = kecepatan aliran di saluran (m/s)

v_b = kecepatan aliran di lubang penghalang (m/s)

2.7.3 Persamaan Bernoulli

Prinsip persamaan Bernoulli adalah kekekalan energi mekanis didalam fluida ideal. Dalam hal ini teori mekanika bila diterapkan untuk fluida tersebut menyatakan bahwa usaha dari gaya luar digunakan untuk mengubah energi kinetik fluida. Hal ini dinyatakan dengan :

$$W = m \cdot g \cdot Z + m \cdot \frac{P}{\rho} + m \cdot \frac{V^2}{2} = \text{konstan} \quad (2-16)$$

(Sumber : Streeter.L.V & Wylie, 1991)

Dengan asumsi:

- Fluida ideal yaitu tanpa ada gesekan antara fluida dan saluran
- Aliran *steady* dimana tidak mengalami perubahan parameter terhadap waktu
- Fluida tak mampu mampat dengan massa jenis konstan

Untuk tiap satuan massa fluida yang sama yaitu 1kg dan mengalami percepatan gravitasi yang sama maka persamaan Bernoulli dapat dinyatakan dalam bentuk :

$$H = Z + \frac{P}{\rho \cdot g} + \frac{V^2}{2 \cdot g} = \text{konstan} \quad (2-17)$$

(Sumber : Streeter.L.V & Wylie, 1991)

Persamaan Bernoulli (2-22) dapat diterapkan untuk meninjau perubahan energi aliran fluida pada orifis yang akan digunakan. Persamaan ini menjadi :

$$\begin{aligned} \frac{P_a}{\rho \cdot g} + \frac{V_a^2}{2 \cdot g} + Z_a &= \frac{P_b}{\rho \cdot g} + \frac{V_b^2}{2 \cdot g} + Z_b \\ \frac{P_a - P_b}{\rho \cdot g} + \frac{V_a^2 - V_b^2}{2 \cdot g} + Z_a - Z_b &= 0 \\ \int_{P_a}^{P_b} \frac{dP}{g \rho} + \int_{V_a}^{V_b} \frac{V dV}{g} + \int_{Z_a}^{Z_b} dz &= 0 \end{aligned} \quad (2-18)$$

Untuk fluida mampu mampat maka persamaan Bernoulli (2-23) menjadi :

$$\int_{P_a}^{P_b} \frac{dP}{g \rho} + \int_{U_a}^{U_b} dU + \int_{V_a}^{V_b} \frac{V dV}{g} + \int_{Z_a}^{Z_b} dz = 0 \quad (2-19)$$

Dengan mengambil asumsi :

- Kondisi adiabatik reversibel yaitu tidak ada panas yang masuk atau keluar

Sehingga perubahan energi dalam tidak ada atau nol, $\int_{U_a}^{U_b} dU = 0$;

Berlaku persamaan gas ideal untuk kondisi ini yaitu :

$$\frac{P_a^{1/k}}{\rho_a} = \frac{P}{\rho} = \text{kons tan} \quad (2-20)$$

$$\text{Maka } \rho = \rho_a \left(\frac{P}{P_a} \right)^{1/k} \quad (2-21)$$

Dengan menyelesaikan suku $\int_{P_a}^{P_b} \frac{dP}{\rho g}$ terlebih dahulu maka diperoleh :

$$\begin{aligned} \int_{P_a}^{P_b} \frac{dP}{g \rho_a \left(\frac{P}{P_a} \right)^{1/k}} &= \frac{P_a^{1/k}}{g \rho_a} \int_{P_a}^{P_b} \frac{dP}{P^{1/k}} = \frac{P_a^{1/k}}{g \rho_a} \int_{P_a}^{P_b} P^{-1/k} dP \\ &= \frac{P_a^{1/k}}{g \rho_a} \left(\frac{k}{k-1} \right) \left[(P_b)^{(k-1)/k} - (P_a)^{(k-1)/k} \right] \\ &= \left(\frac{k}{k-1} \right) \frac{P_a}{\rho_a} \left[\left(\frac{P_b}{P_a} \right)^{(k-1)/k} - 1 \right] \end{aligned} \quad (2-22)$$

Dari persamaan (2-20) dan (2-26) didapatkanlah hubungan :

$$V_a = \frac{\rho_b A_b V_b}{\left(\frac{\rho_b}{\rho_a} \right) P_a A_a} = \frac{A_b}{A_a} \left(\frac{P_b}{P_a} \right)^{1/k} V_b \quad (2-23)$$

Dengan memasukkan persamaan (2-27), (2-28), maka persamaan bernoulli (2-24) menjadi :

$$\left[\left(\frac{k}{k-1} \right) \frac{P_a}{\rho_a} + \left(\frac{P_b}{P_a} \right)^{2/k} \left(\frac{A_b}{A_a} \right)^2 \frac{V_b^2}{2} \right] = \left[\left(\frac{k}{k-1} \right) \left(\frac{P_a}{\rho_a} \right) \left(\frac{P_b}{P_a} \right)^{(k-1)/k} + \frac{V_b^2}{2} \right] \quad (2-24)$$

2.8 Efisiensi termal

Energi panas yang masuk kedalam sistem berasal dari sumber panas LPG. Energi ini digunakan untuk menaikkan temperatur minyak goreng sesuai dengan yang ditentukan, menaikkan temperatur buah, dan menguapkan kandungan uap air dalam buah. Dengan meninjau pemakaian dan pemanfaatan sumber panas maka akan diketahui nilai efisiensi termal mesin penggorengan vakum.

$$\text{Efisiensi termal} = \frac{Q_{\text{sensibel minyak}} + Q_{\text{sensibel buah}} + Q_{\text{laten air}}}{\text{Kalor LPG}} \times 100 \% \quad (2-25)$$

Jumlah panas yang masuk dihitung dari jumlah massa LPG yang terpakai dikalikan low heating value LPG.

2.9 Energi listrik

Energi listrik digunakan dalam mesin penggorengan vakum untuk menjalankan pompa air. Penggunaan energi listrik sangat erat kaitannya dengan perhitungan biaya produksi mesin penggorengan vakum. Dengan mengukur arus listrik selama proses dan dengan meninjau daya yang harus dibangkitkan serta waktu penggunaan maka dapat diketahui nilai energi listrik yang digunakan. Hal ini dapat dinyatakan dengan :

$$E = V I t \cos \square \quad (2-26)$$

Dengan :

V = voltase (volt)

I = arus listrik (Amper)

t = waktu (jam)

\square = sudut fase ($^{\circ}$)

2.10 Kadar air

Kadar air yang terkandung didalam buah akan mempengaruhi kelembaban *frying chamber* selama proses penggorengan dan kualitas hasil penggorengan yang terjadi. Kadar air buah nanas diperoleh melalui proses pengeringan sampel buah pada oven dengan total waktu pengeringan 10 jam. Kemudian diukur massa awal dan akhir buah nanas sehingga diketahui kadar air buah nanas. Kadar air buah nanas diperoleh dari :

$$MC_1 = \frac{m_{bh1} - m_{bh3}}{m_{bh1}} \times 100\% \quad (2-27)$$

Dengan :

m_{bh1} = massa irisan buah awal goreng (gr)

m_{bh3} = massa irisan buah akhir oven (gr)

Pada akhir proses penggorengan, kadar air yang terkandung semakin sedikit. Hal ini diakibatkan selama proses penggorengan air yang terkandung dalam buah menguap. Kadar air hasil penggorengan diperoleh dengan mengukur massa irisan buah hasil penggorengan dan membandingkan dengan massa buah hasil pengeringan dengan oven. Dengan demikian nilai kadar air yang terdapat didalam buah hasil penggorengan adalah sejumlah :

$$MC_2 = \frac{m_{bh2} - m_{bh3}}{m_{bh2}} \times 100\% \quad (2-28)$$

Dimana :

m_{bh2} = massa irisan buah akhir goreng (gr)

m_{bh3} = massa irisan buah akhir oven (gr)

Selama proses berlangsung, air yang terkandung dalam buah akan menguap. Kadar air yang menguap dapat diperoleh dengan membandingkan massa irisan buah awal goreng dengan massa irisan buah hasil goreng. Hal ini dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$MC_3 = \frac{(m_{bh1} - m_{bh3}) - (m_{bh2} - m_{bh3})}{(m_{bh1} - m_{bh3})} \times 100\% \quad (2-29)$$

Dimana :

m_{bh1} = massa irisan buah awal goreng (gr)

m_{bh2} = massa irisan buah akhir goreng (gr)

m_{bh3} = massa irisan buah akhir oven (gr)

2.11 Hipotesis

Dari uraian di atas dapat diambil hipotesis bahwa selama proses penggorengan, semakin besar temperatur awal minyak goreng maka massa uap air di ruang penggorengan yang dihasilkan semakin meningkat sehingga massa uap air dalam ruang penggorengan semakin tinggi, kondisi ini menyebabkan kelembaban dalam ruang penggorengan semakin tinggi. Namun pada akhir proses penggorengan *moisture content* bahan goreng telah berkurang sehingga semakin tinggi temperatur awal minyak goreng maka kelembaban ruang penggoreng semakin rendah. Hal ini dikarenakan kandungan air pada bahan goreng lebih cepat habis.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian yang dilakukan menggunakan metode eksperimental yaitu dengan melakukan pengamatan secara langsung untuk memperoleh data sebab akibat melalui eksperimen guna mendapatkan data empiris. Dalam hal ini obyek penelitian yang diamati adalah pengaruh tekanan awal terhadap karakteristik kelembaban pada sistem penggorengan vakum.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

1. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan oleh peneliti dan harganya diubah-ubah dengan metode tertentu untuk mendapatkan nilai variabel terikat dari obyek penelitian sehingga diperoleh hubungan diantara keduanya. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi temperatur awal penggorengan pada sistem penggorengan vakum. Variasi temperatur yang akan digunakan adalah 73 °C, 76 °C, 79 °C, 82 °C, 85 °C.

2. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya tergantung dari variabel bebas dan diketahui setelah penelitian dilakukan. Besarnya variabel terikat dapat berubah sesuai dengan perubahan variabel bebas jika keduanya terdapat hubungan secara langsung. Dalam penelitian kali ini variabel terikat yang diamati adalah karakteristik kelembaban.

3. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya tetap dan ditentukan sebelum penelitian. Variabel terkontrol dalam penelitian ini adalah :

- Tekanan vakum awal penggorengan adalah 69 cmHg.
- Buah yang digunakan adalah buah nanas.
- Massa buah yang digoreng yaitu 1 kg.
- Lama proses penggorengan adalah 1 jam dan waktu sebelum pencelupan adalah 300 detik.

3.3 Alat-Alat Penelitian

Dalam penelitian yang dilakukan digunakan alat-alat penelitian sebagai berikut:

1. *Frying chamber*

Ruang tempat proses penggorengan vakum berlangsung

2. Kondensor

Bagian ini berfungsi untuk menurunkan volume uap air yang telah terhisap dari ruang penggoreng dengan cara pengembunan

3. Ejektor

Digunakan untuk menghisap uap air pada ruang penggoreng yang akan menghasilkan efek kevakuman.

4. Pompa air

Digunakan untuk mensirkulasikan air ke ejektor

Spesifikasi pompa yang digunakan :

Merk : SPERONI

Tipe : SP 501

Tegangan : 230 V

Putaran : 2850 rpm

Daya Output : 0,6 kW

Kapasitas max : 50-600 L/min

Head max : 16,5 m

5. Tabung gas

Tabung gas digunakan untuk menampung bahan bakar gas LPG sebagai sumber panas

6. Timbangan buah

Digunakan untuk mengukur massa buah sebelum dan sesudah digoreng

7. Timbangan LPG

Digunakan untuk mengukur massa LPG sebelum dan sesudah penggorengan

8. Tang amper digital

Digunakan untuk mengukur arus listrik dan voltase instalasi

9. Orifis meter

Digunakan untuk mengukur debit uap air yang terhisap oleh ejektor

10. Termometer

Termometer digunakan untuk mengukur temperatur atmosfer di tempat penelitian dilakukan

11. Barometer

Barometer digunakan untuk mengukur tekanan barometer di tempat penelitian dilakukan

12. Hygrometer

Hygrometer digunakan untuk mengukur kelembaban relatif udara di tempat penelitian dilakukan

13. Sensor kelembaban

Dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Tipe : HS15P
- Temperatur operasi : 0 – 80 °C
- Kelembapan operasi : 20 – 100 % RH
- Voltase : 5V
- Impedansi : 60 ±30 kΩ (pada temperatur 25°C)

14. Sensor temperatur

Dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Tipe : LM35CZ
- Temperatur operasi : -55 – 150 °C
- Voltase : 5V
- Skala : Linear, +10mV/°C

15. Sensor tekanan

Dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Tipe : 432-22
- Voltase : 24V
- Tekanan operasi : 0 – 4 bar

16. Analog Digital Converter (ADC)

Dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Tipe : PICO ADC 11/12
- Tegangan input : 0 – 2.5V
- Tegangan output : 5V
- Resolusi : 12 bits
- Sampling : 10000 sampel/detik

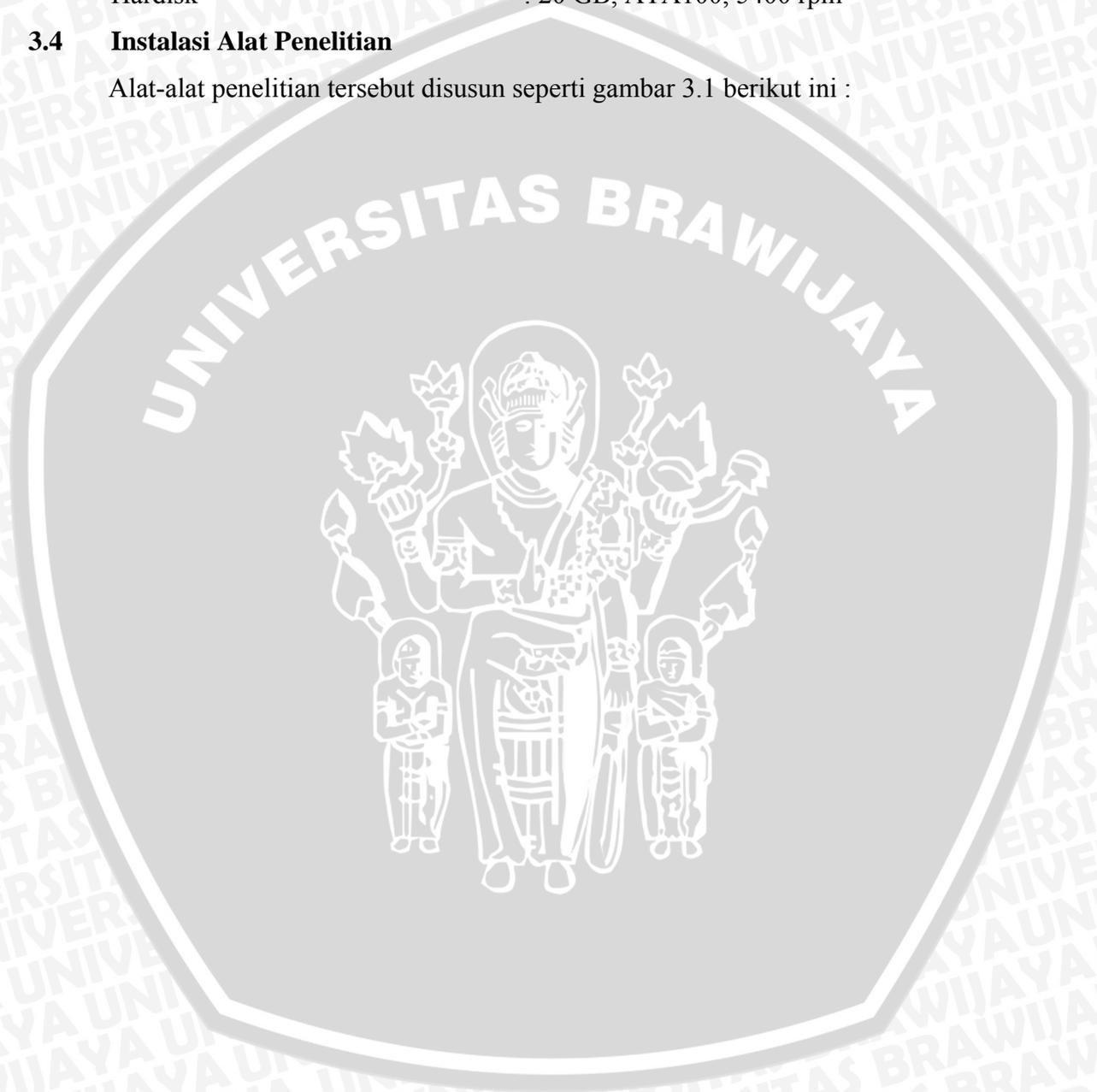
17. Komputer

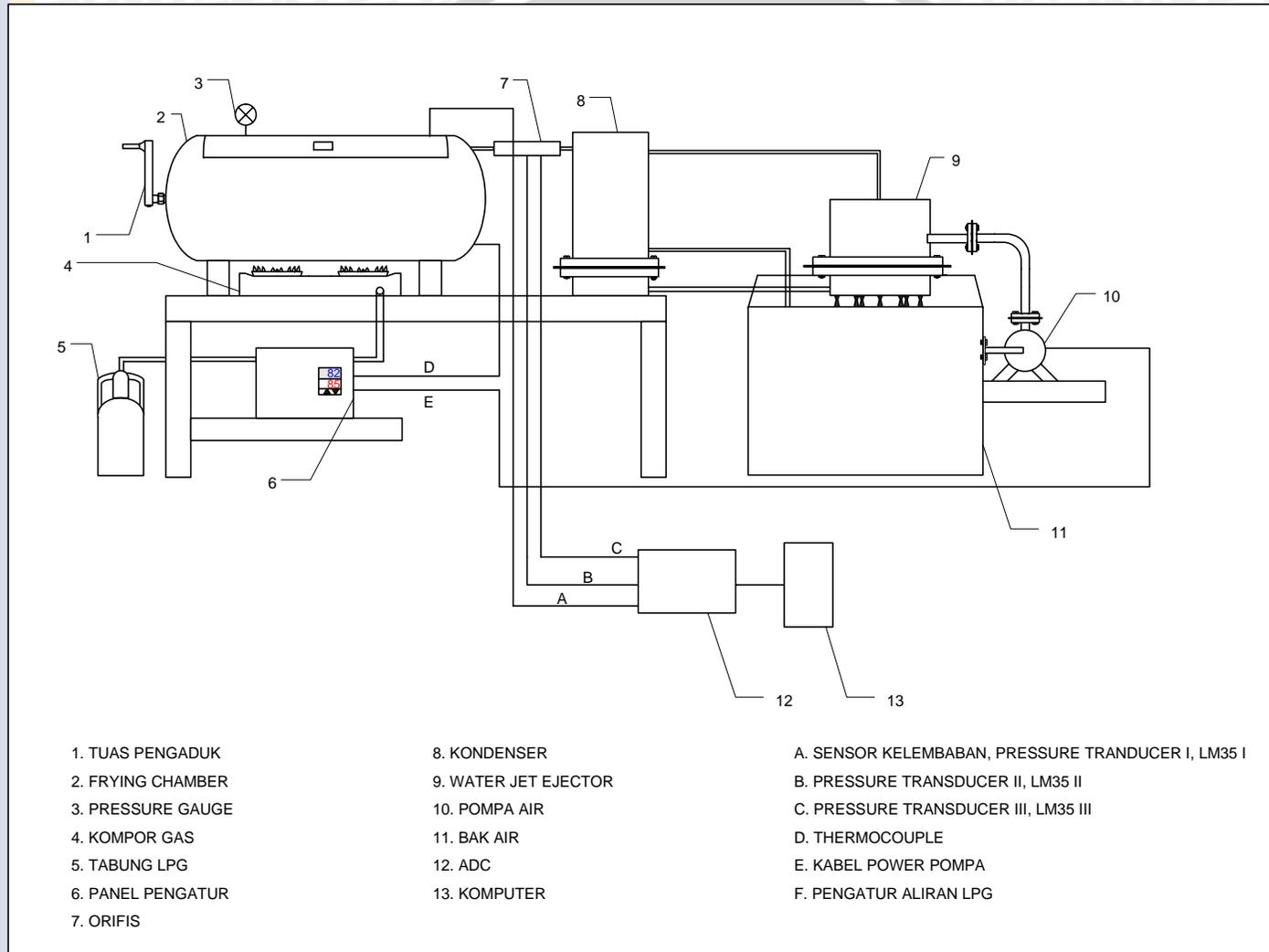
Untuk menerima dan mencatat data hasil pembacaan ADC. Adapun spesifikasi yang digunakan :

Processor	: Pentium III, 900Mhz
RAM	: 128 MB SDRAM
Hardisk	: 20 GB, ATA100, 5400 rpm

3.4 Instalasi Alat Penelitian

Alat-alat penelitian tersebut disusun seperti gambar 3.1 berikut ini :





Gambar 3.1 Instalasi alat penelitian

3.5 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di CV. PALM IJO, desa Torongrejo Kecamatan Beji Kota Batu, Malang. Pelaksanaan penelitian dimulai pada bulan Mei – Juni 2007 dengan waktu penelitian yaitu pukul 07.30 – 02.30 WIB.

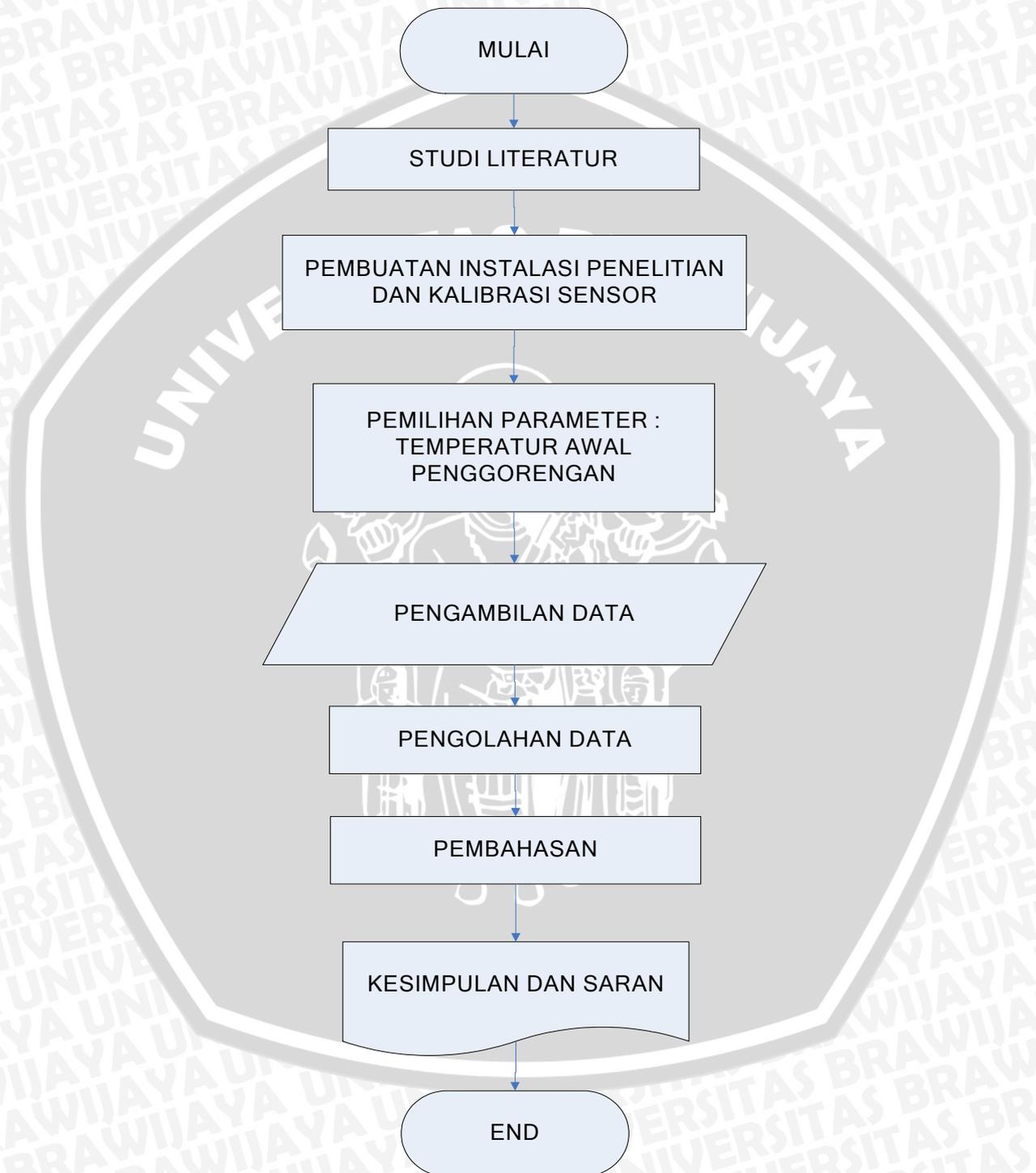
3.6 Prosedur Penelitian

Langkah-langkah dalam pengambilan data pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan alat-alat yang dibutuhkan dan disusun sesuai dengan gambar instalasi peralatan.
2. Mengatur temperatur penggorengan pada panel kendali sehingga didapatkan temperatur yang diinginkan kemudian menyalakan kompor.
3. Memasukkan buah nanas ke ruang penggorengan (belum tercelup minyak).
4. Menyalakan pompa air.
5. Mencelupkan buah ke dalam minyak goreng bila tekanan telah mencapai angka yang ditentukan (proses penggorengan dimulai).
6. Mengambil data kelembaban *frying chamber*, data temperatur dan data tekanan aliran uap pada orifis.
7. Mengulangi langkah 2 sampai 6 untuk temperatur awal minyak goreng yang berbeda.
8. Data diolah, kemudian dianalisa fenomena yang terjadi bila dihubungkan dengan teori yang ada.
9. Menarik kesimpulan dan saran.

3.7 Diagram Alir Penelitian

Untuk memudahkan dalam melakukan penelitian ini maka dibuat diagram alir penelitian seperti ditunjukkan pada gambar 3.2 berikut ini.



Gambar 3.2 Diagram alir penelitian

BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian

Setelah melakukan penelitian, maka didapatkan data hasil penelitian untuk tiap temperatur awal minyak goreng. Berikut ini adalah salah satu pengambilan data pada variasi temperatur 85 °C.

Data debit uap sebagai berikut :

Pada detik ke-600 didapat data :

- Temperatur *frying chamber*, t_{fc} : 56,914 °C
- Temperatur sebelum orifis, t_a : 53,671 °C
- Temperatur setelah orifis, t_b : 52,735 °C
- Tekanan vakum *frying chamber*, P_{fc} : 61,538 cmHg
- Tekanan vakum sebelum orifis, P_{va} : 62,909 cmHg
- Tekanan vakum setelah orifis, P_{vb} : 64,146 cmHg
- Kelembaban relatif *frying chamber*, RH : 90,069 %

Kemudian data konsumsi listrik :

- Arus listrik pompa air rata-rata, I : 5,7 A
- Voltase instalasi listrik rata-rata, v : 204 V

Kemudian data efisiensi termal :

- Massa tabung LPG awal proses, m_{LPG1} : 9,2 kg
- Massa tabung LPG akhir proses, m_{LPG2} : 8,8 kg
- Low Heating Value LPG, LHV_{LPG} : 47310 kJ/kg
- Massa minyak goreng, m_{minyak} : 89 kg
- Kalor spesifik minyak goreng, c_{minyak} : 2,018 kJ/kg °C
- Temperatur mula minyak goreng, t_{mk1} : 50 °C

Data spesifikasi buah nanas :

- Tebal irisan buah, t_{bh} : 10 mm
- Massa buah yang digoreng, m_{bh} : 1 kg
- Massa buah setelah digoreng, m_{bh}' : 205 gr
- Massa irisan buah awal proses, m_{bh1} : 5 gr
- Massa irisan buah akhir goreng, m_{bh2} : 1,05 gr

- Massa irisan buah akhir oven, m_{bh3} : 0,7 gr
- Temperatur irisan buah awal proses, t_{bh1} : 23 °C
- Temperatur irisan buah akhir proses, t_{bh2} : 79 °C
- Kalor spesifik buah nanas, c_{buah} : 3,43 kJ/kg °C

Data penunjang :

- Tekanan barometer, P_{bar} : 74 cmHg
- Temperatur atmosfer : 20 °C
- Kelembaban relatif atmosfer : 70 %
- Konstanta gas universal, R_u : 8314 J/kmol °K
- Berat molekul uap air, M_{H_2O} : 18 kg/kmol
- Tekanan vakum awal frying chamber, P_{fc} : 69 cmHg
- Temperatur saturasi air, t_{sat} : 44 °C
- Kalor laten air, $c_{l\ air}$: 2393 kJ/kg

Untuk setiap perlakuan, temperatur minyak goreng dijaga konstan dengan cara mengatur bukaan katup gas pada sistem pemanas. Pengambilan data dilakukan setelah tekanan vakum *frying chamber* stabil pada 69 cmHg. Proses pencelupan dilakukan setelah 300 detik saat pengambilan data dilakukan, hal ini dilakukan untuk melihat perbedaan pada kondisi awal dan kondisi akhir proses penggorengan.

4.2 Perhitungan Data

Perhitungan data dilakukan untuk mencari nilai-nilai besaran yang diperlukan untuk menentukan karakteristik penggorengan vakum. Dalam bab ini hanya ditampilkan perhitungan data dari hasil penelitian penggorengan vakum dengan variasi temperatur awal minyak goreng 85 °C. Sedangkan untuk perhitungan data pada perlakuan yang lain sama dengan perhitungan ini. Perhitungan debit uap dipakai data pada saat detik ke-600 untuk setiap variasi

4.2.1 Efisiensi Termal

$$\text{Efisiensi termal} = \frac{Q_{\text{sensibel min yak}} + Q_{\text{sensibel buah}} + Q_{\text{laten air}}}{\text{Kalor LPG}}$$

- Menghitung panas sensibel minyak goreng

$$\begin{aligned} Q_{S\text{minyak}} &= m_{\text{minyak}} \cdot c_{\text{minyak}} \cdot (t_{\text{mk}2} - t_{\text{mk}1}) \\ &= 89\text{kg} \cdot 2,018 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} \cdot (85 - 50)^\circ\text{C} \\ &= 6286,07 \text{ kJ} \end{aligned}$$

- Menghitung panas laten air

$$\begin{aligned} Q_{\text{air}} &= m_{\text{uap air}} \cdot c_{\text{l air}} \\ &= 0,8 \text{ kg} \cdot 2393 \text{ kJ/kg} \\ &= 1914,4 \text{ kJ} \end{aligned}$$

- Menghitung panas sensibel buah

$$\begin{aligned} Q_{S\text{bh}} &= m_{\text{bh}} \cdot c_{\text{bh}} \cdot (t_{\text{bh}2} - t_{\text{bh}1}) + m_{\text{bh}} \cdot c_{\text{bh}} \cdot (t_{\text{bh}3} - t_{\text{bh}2}) \\ &= 1 \text{ kg} \cdot 3,43 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} \cdot (44 - 23)^\circ\text{C} + 0,205 \text{ kg} \cdot 3,43 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} \cdot \\ &\quad (83 - 44)^\circ\text{C} \\ &= 100,859 \text{ kJ} \end{aligned}$$

- Menghitung Konsumsi LPG

$$\begin{aligned} Q_{\text{LPG}} &= (m_{\text{LPG}1} - m_{\text{LPG}2}) \cdot \text{LHV}_{\text{LPG}} \\ &= (9,2 - 8,8) \text{ kg} \cdot 47310 \text{ kJ/kg} \\ &= 18924 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Sehingga didapatlah nilai efisiensi termal

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi termal} &= \frac{Q_{\text{sensibel minyak}} + Q_{\text{sensibel buah}} + Q_{\text{laten air}}}{\text{Konsumsi LPG}} \times 100 \% \\ &= \frac{6286,07 + 100,859 + 1914,4}{18924} \times 100 \% \\ &= 43,8 \% \end{aligned}$$

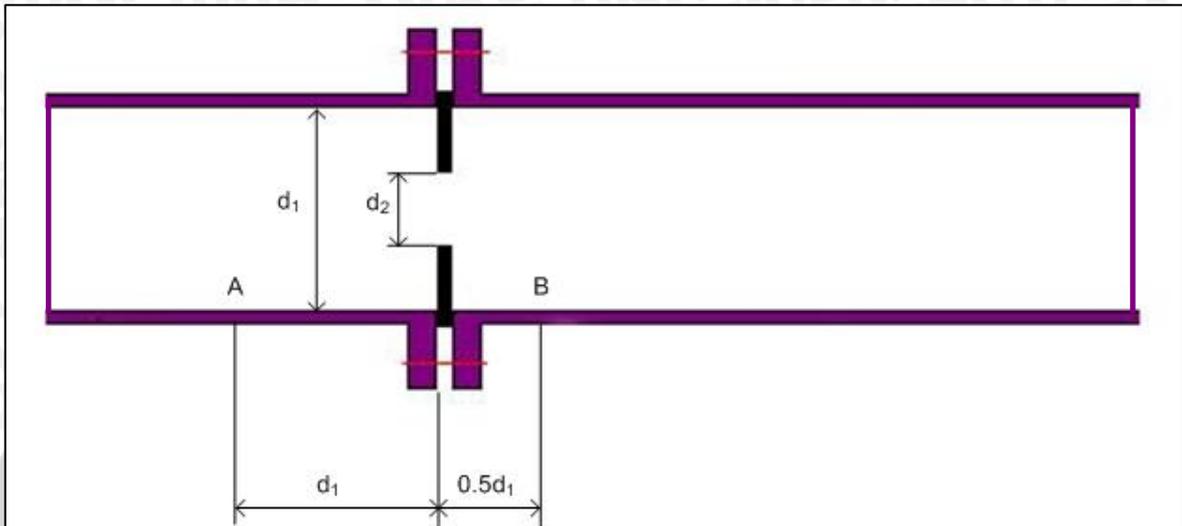
4.2.2 Energi Listrik

Energi listrik yang digunakan adalah :

$$\begin{aligned} E &= V I t \cos \phi \\ &= 204 \cdot 5,7 \cdot 1 \cdot 0,7 \\ &= 813,96 \text{ WH} \\ &= 0,814 \text{ kWh} \end{aligned}$$

4.2.3 Debit Uap

Untuk mengukur debit uap adalah dengan memanfaatkan data tekanan dan temperatur uap pada titik sebelum dan sesudah orifis. Serta data spesifikasi orifis seperti yang terlihat pada gambar sebagai berikut :



Gambar 4.1 Orifis yang digunakan
(Sumber : Holman, JP., 1985)

Debit uap yang terjadi yaitu

$$Q = C M A V Y$$

Dari data diketahui :

- $d_1 = 1,25 \text{ in} = 0,03175 \text{ m}$
- $d_2 = \frac{1}{2} d_1 = 0,015875 \text{ m}$
- Rasio diameter, β

$$\beta = \frac{d_1}{d_2} = 0,5$$
- $P_{va} = 64,9084 \text{ cmHg}$
- $P_a = P_{bar} - P_{va}$

$$= 74 - 62,909$$

$$= 11,091 \text{ cmHg}$$

$$= 14786,79 \text{ Pa}$$

- $P_{vb} = 64,146 \text{ cmHg}$
- $P_b = P_{\text{bar}} - P_{vb}$
 $= 74 - 64,146$
 $= 7,854 \text{ cmHg}$
 $= 13137,59 \text{ Pa}$
- $T_a = 53,671 \text{ }^\circ\text{C} = 326,671 \text{ }^\circ\text{K}$
- $T_b = 52,735 \text{ }^\circ\text{C} = 325,735 \text{ }^\circ\text{K}$

Fluida yang mengalir melewati orifis adalah uap air yaitu fluida kompresibel dimana massa jenis sebelum dan sesudah melewati orifis berbeda.

- $R_u = 8314 \text{ J/kmol }^\circ\text{K}$
- $M_{H_2O} = 18 \text{ kg/kmol}$
- $R = \frac{R_u}{M_{H_2O}}$

$$= \frac{8314 \text{ J/kmol }^\circ\text{K}}{18 \text{ kg/kmol}}$$

$$= 461,9 \text{ J/kg }^\circ\text{K}$$

- Massa jenis uap, ρ_{uap}

$$\rho_a = \frac{P_a}{RT_a}$$

$$= \frac{14786,79 \text{ N/m}^2}{461,9 \frac{\text{Nm}}{\text{kg }^\circ\text{K}} \cdot 326,671 \text{ }^\circ\text{K}}$$

$$= 0,1 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_a = \frac{P_a}{RT_a}$$

$$= \frac{13137,59 \text{ N/m}^2}{461,9 \frac{\text{Nm}}{\text{kg }^\circ\text{K}} \cdot 325,735 \text{ }^\circ\text{K}}$$

$$= 0,089 \text{ kg/m}^3$$

- Persamaan kontinuitas massa

$$\rho_a \cdot A_a \cdot v_a = \rho_b \cdot A_b \cdot v_b$$

$$0,1 \text{ kg/m}^3 \cdot \left[\frac{\pi}{4} \cdot 0.03175^2 \right] \cdot v_a = 0,089 \text{ kg/m}^3 \cdot \left[\frac{\pi}{4} \cdot 0.015875^2 \right] \cdot v_b$$

$$\begin{aligned}
 0,1 \cdot 0,000792 \cdot v_a &= 0,089 \cdot 0,000198 \cdot v_b \\
 7,92 \cdot 10^{-5} \cdot v_a &= 1,672 \cdot 10^{-5} \cdot v_b \\
 v_a &= 0,211 v_b
 \end{aligned}$$

- Persamaan Bernouli

$$\left[\left(\frac{k}{k-1} \right) \frac{P_a}{\rho_a} + \left(\frac{P_b}{P_a} \right)^{\frac{2}{k}} \left(\frac{A_b}{A_a} \right)^2 \frac{V_b^2}{2} \right] = \left[\left(\frac{k}{k-1} \right) \left(\frac{P_a}{\rho_a} \right) \left(\frac{P_b}{P_a} \right)^{\frac{(k-1)}{k}} + \frac{V_b^2}{2} \right]$$

Asumsi :

- Pengukuran pada elevasi yang sama, $Z_A = Z_B$
- Untuk gas triatomik (H_2O), $k = 1,3$ maka persamaan bernouli diatas menjadi:

$$\begin{aligned}
 &\left[\left(\frac{1,3}{1,3-1} \right) \left(\frac{14786,79}{0,1} \right) + \left(\frac{13137,59}{14786,79} \right)^{\frac{2}{1,3}} \left(\frac{0,000198}{0,000792} \right)^2 \frac{V_b^2}{2} \right] = \\
 &\left[\left(\frac{1,3}{1,3-1} \right) \left(\frac{14786,79}{0,1} \right) \left(\frac{13137,59}{14786,79} \right)^{\frac{(1,3-1)}{1,3}} + \frac{V_b^2}{2} \right] \\
 &\left[(4,334) \cdot (147867,9) + (0,889)^{1,54} (0,25)^2 \frac{V_b^2}{2} \right] = \left[(4,334) (147867,9) (0,889)^{0,231} + \frac{V_b^2}{2} \right]
 \end{aligned}$$

$$\left[640859,48 + 0,834 \cdot (0,0625) \frac{V_b^2}{2} \right] = \left[640859,48 \cdot (0,973) + \frac{V_b^2}{2} \right]$$

$$[640859,48 + 0,0522 V_b^2] = [623556,28 + 0,5 V_b^2]$$

$$0,448 V_b^2 = 17303,2$$

$$V_b = 196,53 \text{ m/s}$$

$$V_a = 0,211 V_b = 41,48 \text{ m/s}$$

- Mencari nilai M (faktor kecepatan masuk) :

$$\begin{aligned}
 M &= \frac{1}{\sqrt{1 - (A_2/A_1)^2}} \\
 &= \frac{1}{\sqrt{1 - (0,000198/0,000792)^2}} \\
 &= 1,03
 \end{aligned}$$

- Mencari nilai Y (faktor muai) :

$$Y = 1 - \left[0,333 + 1,145(\beta^2 + 0,7\beta^5 + 12\beta^{13}) \right] \frac{P_a - P_b}{k P_a}$$

$$Y = 1 - \left[0,333 + 1,145(0,5^2 + 0,7(0,5)^5 + 12(0,5)^{13}) \right] \frac{1649,198}{1,3 \cdot (14786,79)}$$

$$= 0,643$$

- Mencari Koefisien Orifis, C

Dari gambar 2.7 didapat nilai C dengan meninjau nilai Reynold number aliran uap.

Reynold number, Re

$$\begin{aligned} \text{Re} &= \frac{\rho_a \cdot V_a \cdot d_1}{\mu} \\ &= \frac{0,1 \cdot 41,48 \cdot 0,03175}{0,000892} \\ &= 147,6 \end{aligned}$$

Didapat nilai C yaitu 0,65

- Debit uap

$$\begin{aligned} Q &= C M A_a V_a Y \\ &= 0,65 \cdot 1,03 \cdot 0,000792 \cdot 41,48 \cdot 0,643 \\ &= 0,01415 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

- Massa alir

$$\begin{aligned} \dot{m} &= \rho_a C M A_a V_a Y \\ &= 0,1 \cdot 0,65 \cdot 1,03 \cdot 0,000792 \cdot 41,48 \cdot 0,643 \\ &= 0,001415 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

- Massa alir rata – rata selama proses, \dot{m}_{avg}

$$\begin{aligned} \dot{m}_{\text{avg}} &= 0,000265 \text{ kg/s} \\ &= 0,954 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

4.2.4 Kadar air

- Menghitung kadar air buah, MC_1 (%)

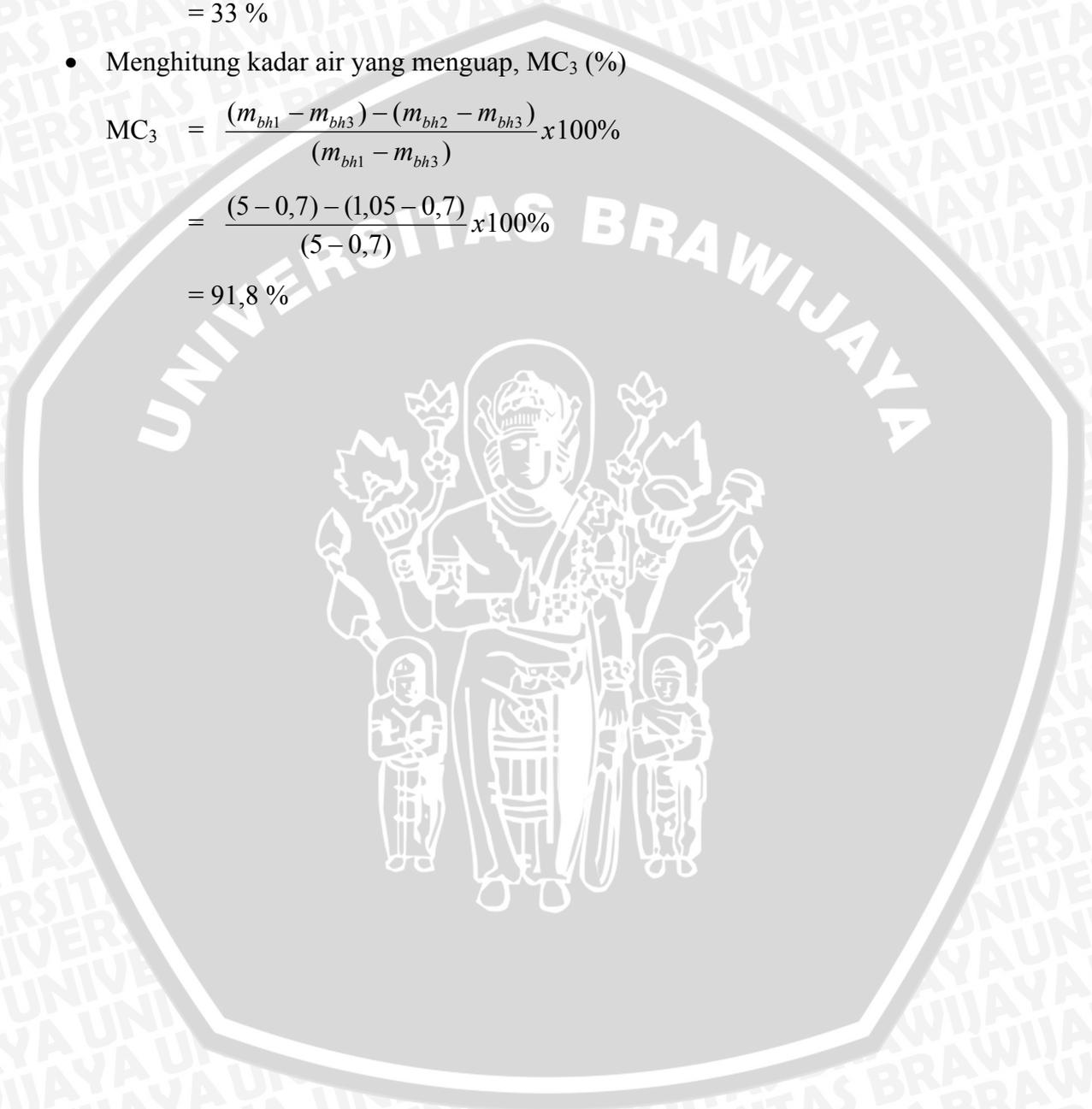
$$\begin{aligned} MC_1 &= \frac{m_{bh1} - m_{bh3}}{m_{bh1}} \times 100\% \\ &= \frac{5,0 - 0,7}{5,0} \times 100\% \\ &= 86\% \end{aligned}$$

- Menghitung kadar air hasil penggorengan, MC_2 (%)

$$\begin{aligned} MC_2 &= \frac{m_{bh2} - m_{bh3}}{m_{bh2}} \times 100\% \\ &= \frac{1,05 - 0,7}{1,05} \times 100\% \\ &= 33\% \end{aligned}$$

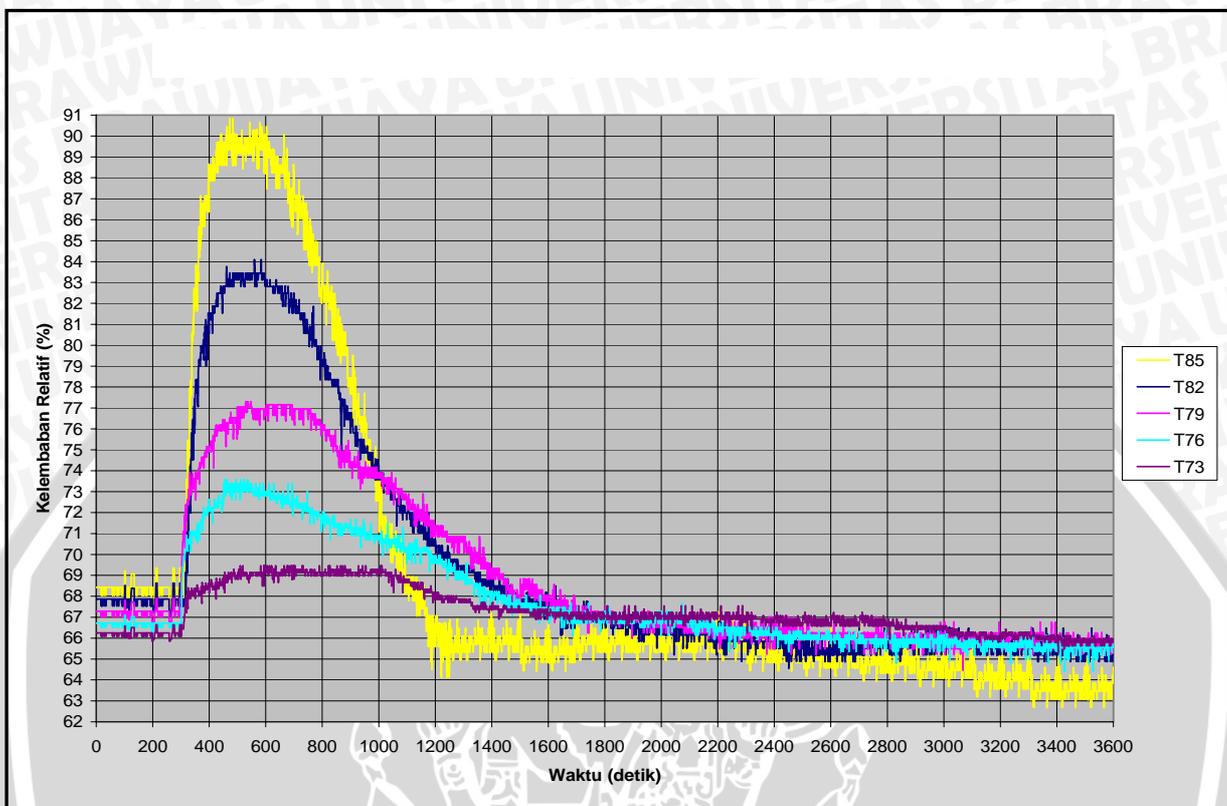
- Menghitung kadar air yang menguap, MC_3 (%)

$$\begin{aligned} MC_3 &= \frac{(m_{bh1} - m_{bh3}) - (m_{bh2} - m_{bh3})}{(m_{bh1} - m_{bh3})} \times 100\% \\ &= \frac{(5 - 0,7) - (1,05 - 0,7)}{(5 - 0,7)} \times 100\% \\ &= 91,8\% \end{aligned}$$



4.3 Pembahasan

4.3.1 Pengaruh Temperatur Awal Penggorengan terhadap Karakteristik Kelembaban *Frying Chamber*



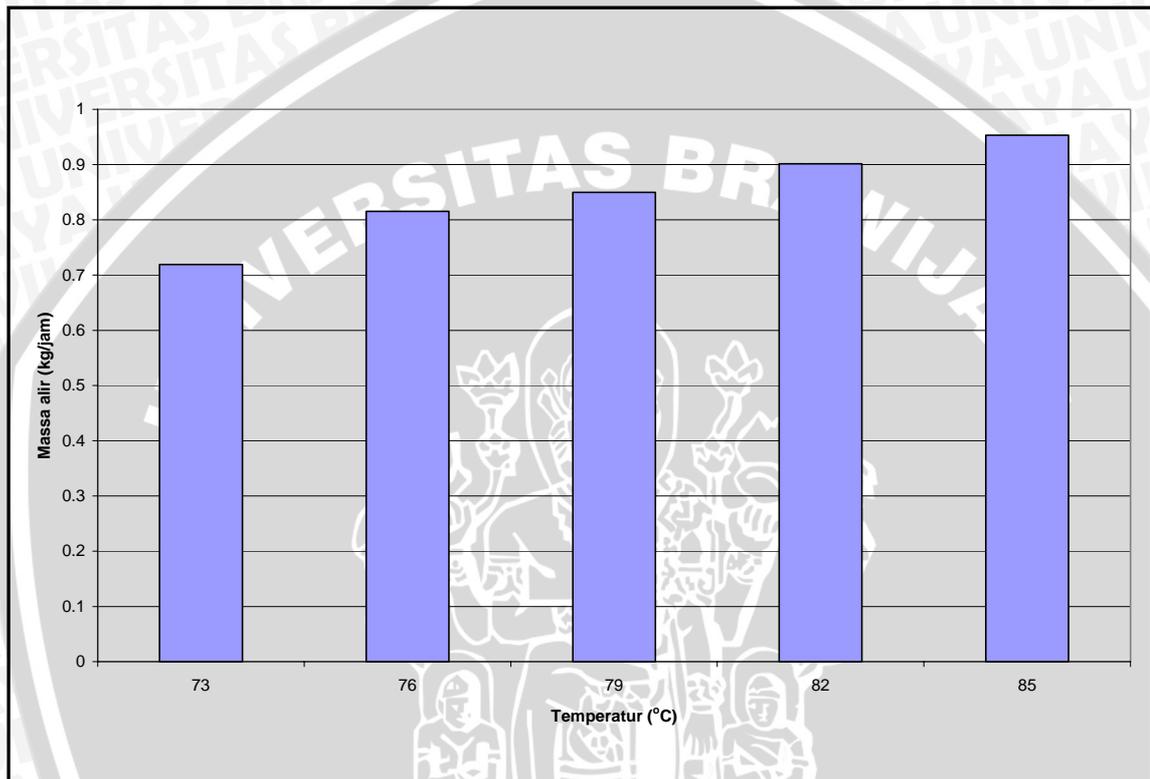
Gambar 4.2 Grafik perubahan kelembaban *frying chamber* terhadap waktu dengan variasi temperatur awal penggorengan

Pada gambar 4.2 terlihat bahwa nilai kelembaban tertinggi terjadi pada saat sekitar 200 hingga 300 detik setelah pencelupan atau 600 detik setelah mulai pengukuran. Pada rentang waktu tersebut, temperatur awal penggorengan 85 °C menghasilkan kelembaban tertinggi dengan nilai kelembaban 90,802 % sedangkan nilai kelembaban terendah adalah dengan temperatur awal penggorengan 73 °C dengan nilai kelembaban 69,415 %. Hal ini dikarenakan temperatur awal yang lebih tinggi akan lebih banyak panas yang diterima oleh buah sehingga dalam rentang waktu yang sama maka jumlah uap air yang terkandung dalam buah akan terlepas lebih banyak ke *frying chamber*. Hal inilah yang akan mempengaruhi nilai kelembaban pada *frying chamber* menjadi lebih besar dibandingkan dengan temperatur awal yang rendah.

Pada akhir penggorengan nilai kelembaban terendah diperoleh untuk temperatur awal penggorengan 85 °C dengan nilai kelembaban 63,462 % dan nilai kelembaban tertinggi diperoleh untuk temperatur 73 °C dengan nilai kelembaban 65,942 %.. Hal ini

disebabkan pada temperatur awal penggorengan yang lebih tinggi, kandungan air yang terkandung dalam buah telah menipis. Demikian pula sebaliknya, untuk kondisi temperatur penggorengan rendah, pada awal penggorengan uap yang dihasilkan lebih sedikit, namun pada akhir penggorengan nilai kelembabannya lebih tinggi, hal ini disebabkan kandungan air dalam buah masih cukup banyak.

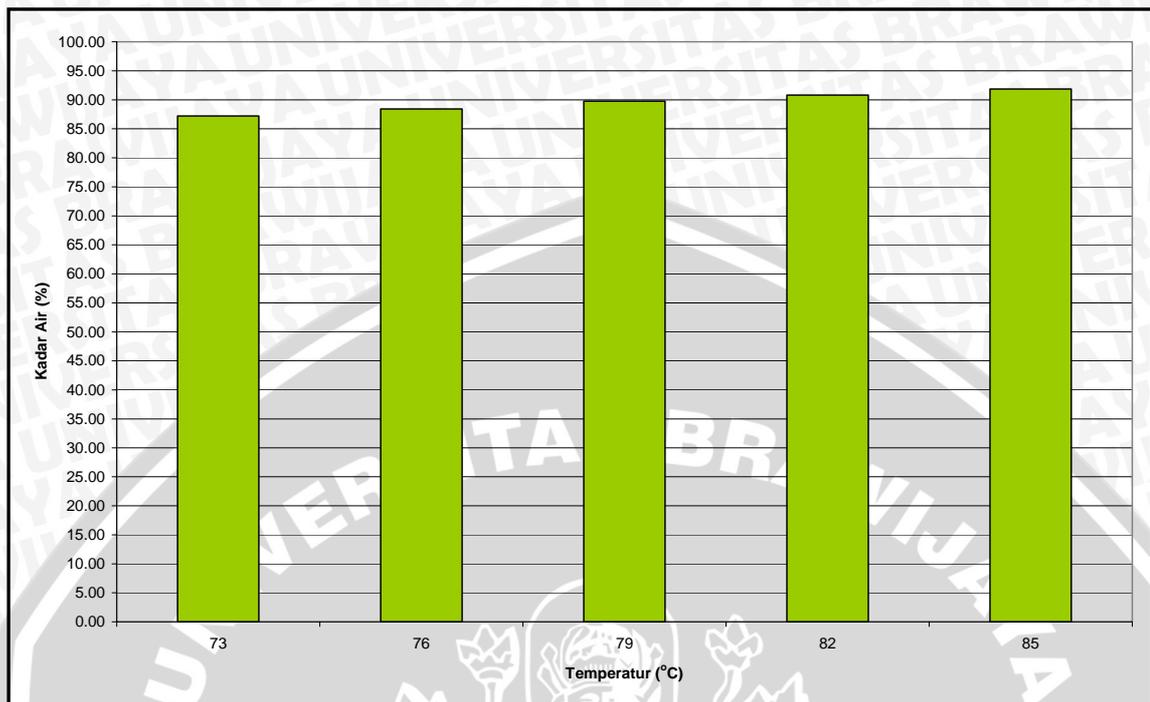
4.3.2 Pengaruh Temperatur Awal Penggorengan terhadap Massa Alir Uap di Orifis



Gambar 4.3 Diagram batang massa alir uap di orifis dengan temperatur awal penggorengan

Pada gambar 4.3 terlihat bahwa nilai tertinggi untuk massa alir uap air di orifis adalah 0,963 kg/jam pada temperatur awal penggorengan 85 °C dan terendah pada 0,573 kg/jam pada temperatur awal penggorengan 73 °C. Kemudian untuk temperatur awal penggorengan 82 °C, 79°C dan 76 °C menghasilkan nilai massa alir uap di orifis berturut-turut yaitu 0,902 kg/jam, 0,85 kg/jam dan 0,815 kg/jam. Pada temperatur awal 85 °C, panas yang masuk lebih besar sehingga uap yang dihasilkan lebih banyak dalam waktu yang sama. Uap yang dihasilkan di dalam *frying chamber* akan mengalir keluar melewati orifis. Atau dengan kata lain semakin banyak uap yang mengalir tiap satuan waktu melewati orifis. Semakin menurun temperatur awal maka semakin sedikit uap yang dihasilkan sehingga semakin menurun massa aliran uap air di orifis.

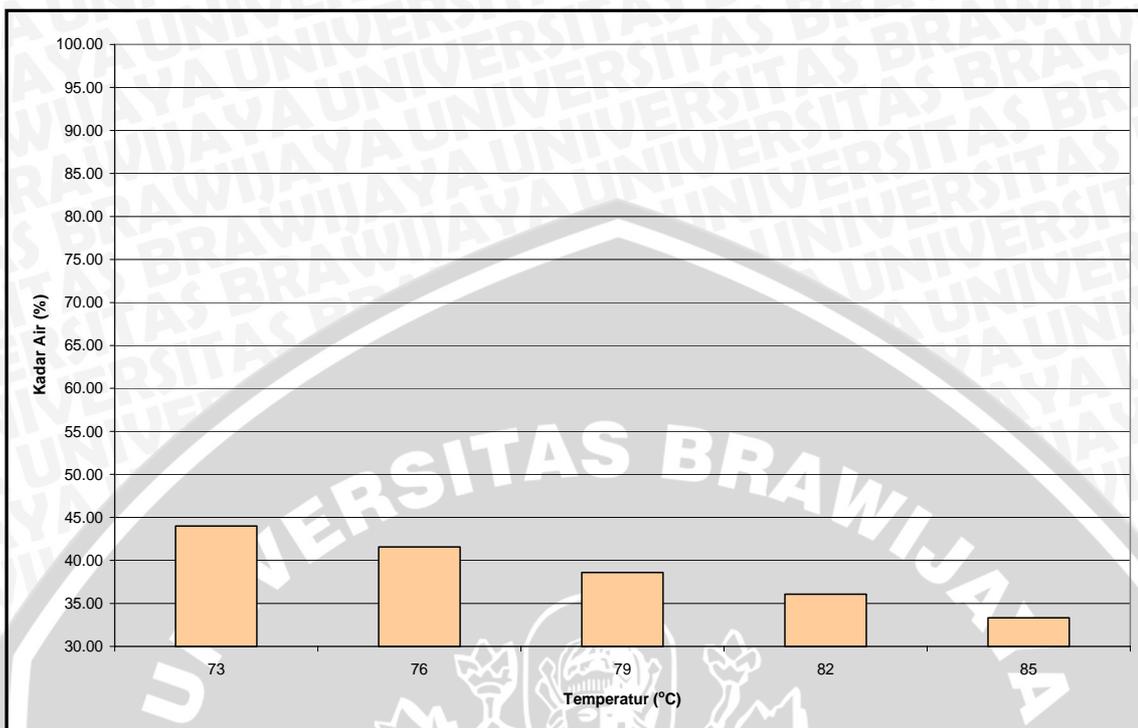
4.3.3 Pengaruh Temperatur Awal Penggorengan terhadap Kadar Air Buah yang Menguap selama Proses Penggorengan



Gambar 4.4 Diagram batang kadar air buah yang menguap selama proses penggorengan dengan variasi temperatur awal penggorengan

Dari gambar 4.4 dapat terlihat bahwa nilai tertinggi kadar air buah yang menguap adalah 91,86 % pada temperatur awal penggorengan 85 °C. Sedangkan nilai terendah untuk kadar air buah yang menguap adalah 87,21 % pada temperatur awal 73°C. Kemudian untuk temperatur awal penggorengan 82 °C, 79°C dan 76 °C menghasilkan nilai kadar air buah yang menguap berturut-turut yaitu 90,81 %, 89,77 % dan 88,42 %. Pada temperatur awal 73 °C, energi panas yang diterima buah lebih kecil sehingga lebih sedikit kandungan air didalam buah yang menguap. Atau dengan kata lain, energi panas yang diterima buah akan mempengaruhi laju penguapan yang terjadi. Semakin meningkat temperatur awal penggorengan, laju penguapan kandungan air didalam buah akan semakin meningkat pula.

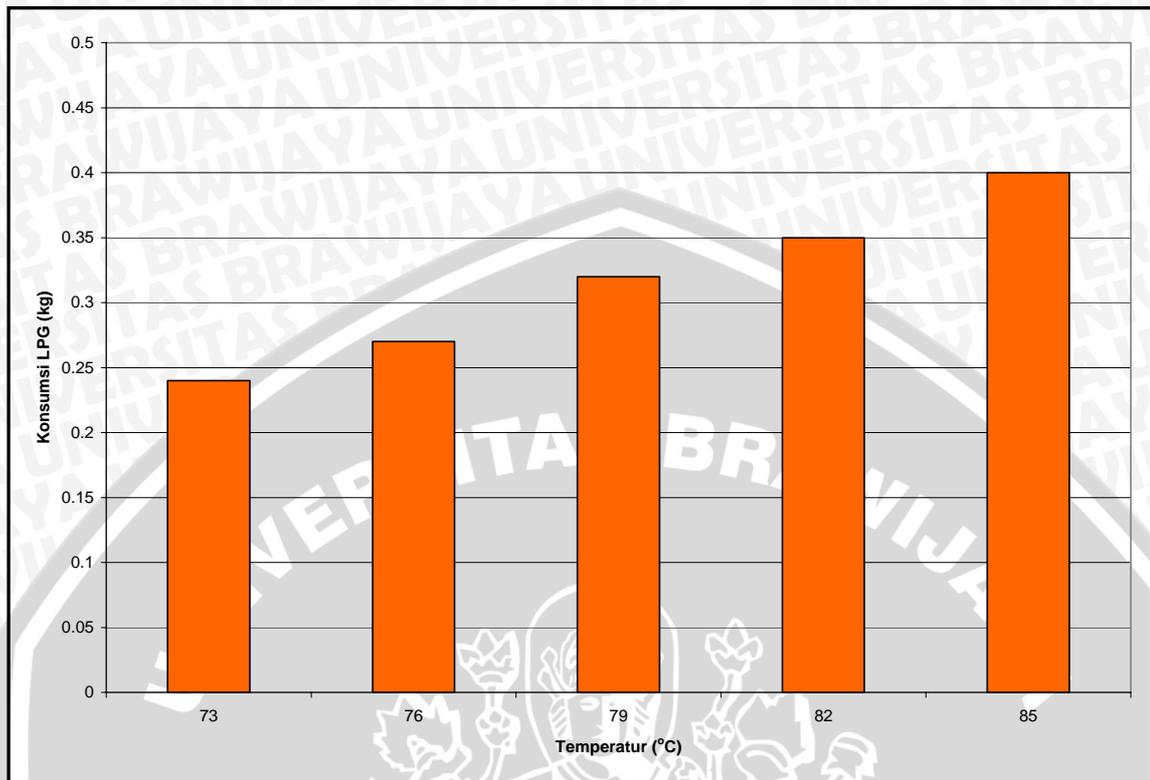
4.3.4 Pengaruh Temperatur Awal Penggorengan terhadap Kadar Air Buah Akhir Goreng



Gambar 4.5 Diagram batang kadar air buah akhir goreng dengan variasi temperatur awal penggorengan

Pada gambar 4.5 dapat dilihat bahwa nilai tertinggi untuk kadar air buah akhir goreng adalah 44 % pada temperatur awal penggorengan 73 °C. Sedangkan nilai terendah adalah 33,33 % pada temperatur awal penggorengan 85 °C. Kemudian untuk temperatur awal penggorengan 82 °C, 79°C dan 76 °C menghasilkan nilai kadar air buah akhir goreng berturut-turut yaitu 36,07 %, 38,6 % dan 41,57 %. Pada temperatur awal 85 °C, selama proses penggorengan kandungan air didalam buah yang menguap lebih banyak sehingga pada akhir proses akan memiliki kandungan air yang lebih sedikit. Atau dengan kata lain semakin menurun temperatur awal penggorengan maka akan semakin sedikit kandungan air pada buah di akhir proses penggorengan.

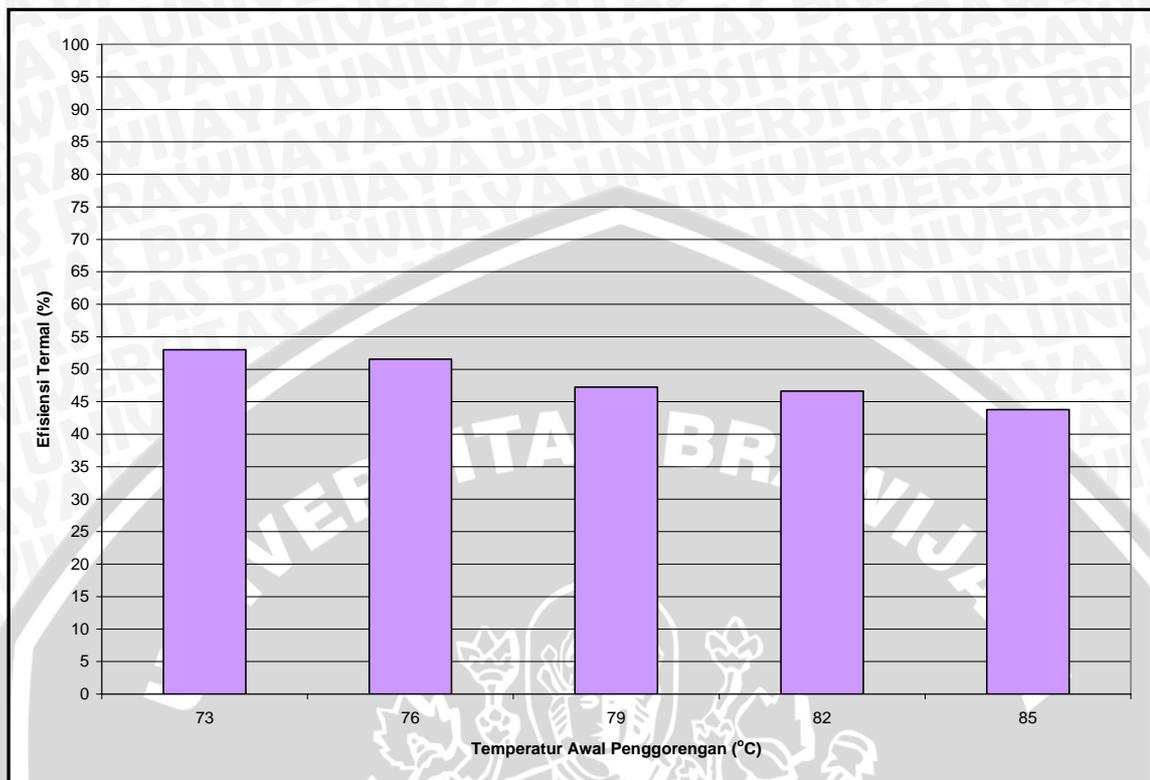
4.3.5 Pengaruh Temperatur Awal Penggorengan terhadap Konsumsi Bahan Bakar selama Proses Penggorengan.



Gambar 4.6 Diagram batang konsumsi LPG dengan variasi temperatur awal penggorengan

Pada gambar 4.6 dapat dilihat bahwa nilai konsumsi LPG tertinggi adalah 0,4 kg untuk temperatur awal penggorengan 85 °C dan terendah pada nilai 0,24 kg untuk temperatur awal penggorengan 73 °C. Kemudian untuk temperatur awal penggorengan 82 °C, 79°C dan 76 °C menghasilkan nilai konsumsi LPG selama proses penggorengan berturut-turut yaitu 0,35 kg, 0,32 kg, dan 0,27 kg. Pada temperatur awal penggorengan 85 °C panas yang masuk lebih besar sehingga uap yang dihasilkan lebih banyak dalam waktu yang sama. Temperatur uap air lebih rendah dari temperatur minyak maka pada saat pencelupan dan penguapan air, temperatur minyak mengalami penurunan sehingga bukaan katup gas akan lebih besar mengingat temperatur minyak dijaga konstan. Bukaan katup gas yang lebih besar berarti konsumsi LPG sebagai bahan bakar juga lebih besar. Sedangkan untuk temperatur awal 79 °C, panas yang masuk lebih kecil kemudian uap yang dihasilkan lebih sedikit sehingga penurunan temperatur minyak juga lebih kecil yang mengakibatkan bukaan katup gas lebih kecil pula. Hal ini lah yang menyebabkan nilai terendah konsumsi LPG berada pada saat menggunakan temperatur awal minyak goreng sebesar 73 °C.

4.3.6 Pengaruh Temperatur Awal Penggorengan terhadap Efisiensi Termal Proses Penggorengan



Gambar 4.7 Diagram batang efisiensi termal dengan variasi temperatur awal penggorengan

Pada gambar 4.7 dapat dilihat bahwa nilai efisiensi termal tertinggi dicapai untuk temperatur awal penggorengan 73 °C dengan nilai 53,02 % dan nilai efisiensi terendah terjadi pada temperatur awal penggorengan 85 °C dengan nilai 43,8 %. Kemudian untuk temperatur awal penggorengan 82 °C, 79°C dan 76 °C menghasilkan nilai efisiensi termal berturut-turut yaitu 46,64%, 47,24% dan 51,55%. Semakin meningkat temperatur awal penggorengan, semakin meningkat pula nilai panas sensibel buah. Hal ini dapat diartikan bahwa semakin banyak energi panas yang diterima buah. Semakin besar energi panas yang diterima buah maka semakin banyak uap air yang keluar dari buah. Uap yang keluar dari buah akan menyerap panas yang ada pada minyak. Hal ini mengakibatkan minyak mengalami penurunan temperatur. Akibat turunnya temperatur minyak, maka konsumsi LPG akan meningkat pula. Peningkatan kebutuhan panas lebih besar dibandingkan peningkatan panas yang dimanfaatkan untuk proses. Pada akhirnya nilai efisiensi termal akan menurun.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Variasi temperatur awal berpengaruh pada jumlah uap yang dihasilkan sehingga berpengaruh terhadap kelembaban pada ruang penggorengan.
2. Mesin penggorengan vakum dengan temperatur awal penggorengan 85 °C menghasilkan nilai kelembaban yang paling besar yaitu 90,802 % yang berarti mesin penggorengan ini mampu melepaskan kandungan air dalam bahan goreng paling banyak. Sedangkan untuk variasi temperatur awal penggorengan 82 °C, 79 °C, 76 °C, 73 °C menghasilkan nilai kelembaban maksimum berturut-turut yaitu 83,125 %, 76,91 %, 72,99 % dan 69.134 %. Hal ini berarti bahwa semakin rendah temperatur awal penggorengan maka semakin menurun kelembaban *frying chamber* yang terjadi.

5.3 Saran

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh tekanan vakum awal terhadap terhadap karakteristik kelembaban *frying chamber*.
2. Dalam pengukuran debit uap air sebaiknya dilakukan dengan alat ukur dengan ketelitian yang lebih tinggi, sehingga didapatkan hasil yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Argo, Bambang Dwi. 1999. *Rekayasa Mesin Penggoreng Hampa semi Kontinyu dan Penerapannya Pada Industri Kripik Buah*. Malang : Universitas Brawijaya.
- Arismunandar, Wiranto. 2002. *Penyegaran Udara*. Edisi keenam. Jakarta : PT. Pradnya Paramita.
- Cengel, Yunus A. 1998. *Heat Transfer : A Practical Approach*. International edition. New York : McGraw-Hill.
- Cengel, Yunus A. 1994. *Thermodynamic : An Engineering Approach*. Second edition. New York : McGraw-Hill.
- Fox , Robert W. dan Mc Donald, Alan T. 1994. *Introduction to fluid Mechanics. Fourth Edition*. New York : John Wiley & Sons Inc. New York.
- Holman, J.P. 1985. *Metode Pengukuran Teknik*. Jakarta : Erlangga.
- Potter, C. P., David, C. W. dan Midhat, Hondzo. 1997. *Mechanics of fluids*, Singapore: Prentice – Hall, Inc.
- Riley, William F. 1984. *Instrumentation for Engineering Measurements*. New York : John Wiley & Sons Inc. New York.
- Stoecker, W.F. 1989. *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*. Alih bahasa : Ir. Supratman Hara. Edisi kedua, cetakan kedua. Jakarta : Erlangga.
- Yamsaengsung, R. and Rungsee, C. 2003. *Transient changes in temperatures and pressure during vacuum frying of bananas in a pilot-scale*. Thailand. <http://phoenix.eng.psu.ac.th/chem/File/polngan/2548/ram/2.Transientchangesintemperaturesandpressureduringvacuumfryingofbananasinapilot-scale.pdf>
- Anonim. 2007. *Fundamentals of Pressure Scheme*. <http://www.globalsecurity.org>
- Anonim. 2006. *Heat transfer*. www.engr.mun.ca
- Anonim. 2007. *Water Temperature Saturation at Different Pressure Table*. <http://www.engineeringtoolbox.com>

Lampiran 1

Tabel Temperatur Saturasi Uap Air

Saturated water—Pressure table												
Press., P kPa	Sat. temp., T_{sat} °C	Specific volume, m ³ /kg		Internal energy, kJ/kg			Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/kg · K		
		Sat. liquid, v_f	Sat. vapor, v_g	Sat. liquid, u_f	Evap., u_{fg}	Sat. vapor, u_g	Sat. liquid, h_f	Evap., h_{fg}	Sat. vapor, h_g	Sat. liquid, s_f	Evap., s_{fg}	Sat. vapor, s_g
0.6113	0.01	0.001000	206.14	0.00	2375.3	2375.3	0.01	2501.3	2501.4	0.0000	9.1562	9.1562
1.0	6.98	0.001000	129.21	29.30	2355.7	2385.0	29.30	2484.9	2514.2	0.1059	8.8697	8.9756
1.5	13.03	0.001001	87.98	54.71	2338.6	2393.3	54.71	2470.6	2525.3	0.1957	8.6322	8.8279
2.0	17.50	0.001001	67.00	73.48	2326.0	2399.5	73.48	2460.0	2533.5	0.2607	8.4629	8.7237
2.5	21.08	0.001002	54.25	88.48	2315.9	2404.4	88.49	2451.6	2540.0	0.3120	8.3311	8.6432
3.0	24.08	0.001003	45.67	101.04	2307.5	2408.5	101.05	2444.5	2545.5	0.3545	8.2231	8.5776
4.0	28.96	0.001004	34.80	121.45	2293.7	2415.2	121.46	2432.9	2554.4	0.4226	8.0520	8.4746
5.0	32.88	0.001005	28.19	137.81	2282.7	2420.5	137.82	2423.7	2561.5	0.4764	7.9187	8.3951
7.5	40.29	0.001008	19.24	168.78	2261.7	2430.5	168.79	2406.0	2574.8	0.5764	7.6750	8.2515
10	45.81	0.001010	14.67	191.82	2246.1	2437.9	191.83	2392.8	2584.7	0.6493	7.5009	8.1502
15	53.97	0.001014	10.02	225.92	2222.8	2448.7	225.94	2373.1	2599.1	0.7549	7.2536	8.0085
20	60.06	0.001017	7.649	251.38	2205.4	2456.7	251.40	2358.3	2609.7	0.8320	7.0766	7.9085
25	64.97	0.001020	6.204	271.90	2191.2	2463.1	271.93	2346.3	2618.2	0.8931	6.9383	7.8314
30	69.10	0.001022	5.229	289.20	2179.2	2468.4	289.23	2336.1	2625.3	0.9439	6.8247	7.7686
40	75.87	0.001027	3.993	317.53	2159.5	2477.0	317.58	2319.2	2636.8	1.0259	6.6441	7.6700
50	81.33	0.001030	3.240	340.44	2143.4	2483.9	340.49	2305.4	2645.9	1.0910	6.5029	7.5939
75	91.78	0.001037	2.217	384.31	2112.4	2496.7	384.39	2278.6	2663.0	1.2130	6.2434	7.4564

(Sumber : *Engineering Thermodynamics, An engineering Approach*, 2002)

Lampiran 2

Tabel Kalor Laten Air

Absolute pressure (kPa)	Latent heat of vaporization (kJ kg ⁻¹)	Saturation temperature (°C)
1	2485	7
2	2460	18
5	2424	33
10	2393	46
20	2358	60
50	2305	81
100	2258	99.6
101.35 (1 atm)	2257	100
110	2251	102
120	2244	105
200	2202	120
500	2109	152

(Sumber : www.nzifst.org.nz/unitoperations/drying1.htm)

Lampiran 3

Tabel Kapasitas Kalor Buah

Food	Specific Heat Capacity above Freezing		Specific Heat Capacity below Freezing	
	(kJ/kg°C)	(kca/kg°C)	(kJ/kg°C)	(kcal/kg°C)
Apples	3.64	0.87	1.76	0.42
Avocados	3.01	0.72	1.55	0.37
Bananas	3.35	0.8	1.67	0.4
Blackberries	3.64	0.87	1.76	0.42
Blueberries	3.64	0.87	1.76	0.42
Cranberries	3.77	0.9	1.59	0.38
Grapefruit	3.81	0.91	1.84	0.44
Grapes	3.6	0.86	1.76	0.42
Guavas	3.6	0.86	1.76	0.42
Lemons	3.81	0.91	1.84	0.44
Lemon juice	3.85	0.92	1.84	0.44
Lime juice	3.89	0.93	1.84	0.44
Nuts	1.17	0.28	1	0.24
Olives, green	3.35	0.8	1.67	0.4
Oranges, fresh	3.77	0.9	1.8	0.43
Orange juice	3.73	0.89	1.8	0.43
Peach juice fresh	3.73	0.89	1.8	0.43
Pears, dried	1.63	0.39	1.09	0.26
Peppers, ripe	3.81	0.91	1.84	0.44
Pineapple, fresh	3.68	0.88	1.8	0.43
Pineapple, sliced or crushed	3.43	0.82	1.72	0.41
Pineapple, juice	3.77	0.9	1.8	0.43
Plums	3.73	0.89	1.8	0.43
Pumpkin	3.85	0.92	1.84	0.44
Strawberries	3.98	0.95	1.88	0.45
Strawberry juice	3.31	0.79	1.63	0.39
Sweet potatoes	3.14	0.75	1.59	0.38
Tomatoes, red	3.98	0.95	1.88	0.45
Tomatoes, green	4.02	0.96	1.88	0.45
Tomato, juice	3.98	0.95	1.88	0.45
Watermelon	3.94	0.94	1.88	0.45

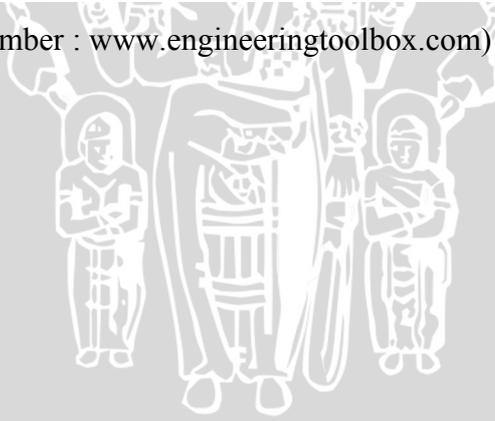
(Sumber : www.engineeringtoolbox.com)

LAMPIRAN 4

TABEL LOW HEATING VALUE BAHAN BAKAR

Fuel Gas	kcal/kg		kcal/Nm ³	
	Gross Heating Values	Net Heating Values	Gross Heating Values	Net Heating Values
Hydrogen	33,889	28,555	3,050	2,570
Methane	13,284	11,946	9,530	8,570
Ethane	12,400	11,350	16,700	15,300
Ethylene	12,020	11,270	15,100	14,200
Natural Gas	16,206	14,642	10,060	9,090
Propane	12,030	11,080	24,200	22,250
Propylene	11,700	10,940	22,400	20,900
n-Butane	11,830	10,930	31,900	29,400
Iso-Butane	11,810	10,900	31,700	29,200
Butylene-1	11,580	10,830	29,900	27,900
Iso-Pentane (liquid)	11,600	10,730		
LPG (average)	11,920	10,997	28,000	25,775
Acetylene	11,932	11,514	13,980	13,490
Carbon Monoxide	2,411	2,411	3,014	3,014

(Sumber : www.engineeringtoolbox.com)



LAMPIRAN 5

TABEL VISKOSITAS DINAMIK UAP AIR

Temperature - t - (°C)	Absolute pressure - p - (kN/m ²)	Dynamic viscosity - μ - (Centipoise)	Kinematic viscosity - ν - (m ² /s) x 10 ⁻⁶	Expansion coefficient (1 / K) x 10 ⁻³	Specific enthalpy (kJ/kg)	Prandtl's no.
0.01	0.6	1.78	1.792	-0.07	0	13.67
5	0.9	1.52		0.160	21.0	
10	1.2	1.31	1.304	0.088	41.9	9.47
15	1.7	1.14		0.151	62.9	
20	2.3	1.00	1.004	0.207	83.8	7.01
25	3.2	0.890		0.257	104.8	
30	4.3	0.798	0.801	0.303	125.7	5.43
35	5.6	0.719		0.345	146.7	
40	7.7	0.653	0.658	0.385	167.6	4.34
45	9.6	0.596		0.420	188.6	
50	12.5	0.547	0.553	0.457	209.6	3.56
55	15.7	0.504		0.486	230.5	
60	20.0	0.467	0.474	0.523	251.5	2.99
65	25.0	0.434		0.544	272.4	
70	31.3	0.404	0.413	0.585	293.4	2.56
75	38.6	0.378		0.596	314.3	
80	47.5	0.355	0.365	0.643	335.3	2.23
85	57.8	0.334		0.644	356.2	
90	70.0	0.314	0.326	0.665	377.2	1.96

(Sumber : www.engineeringtoolbox.com)