

**PENGARUH TEKANAN AWAL *FRYING CHAMBER*
TERHADAP KARAKTERISTIK KELEMBABAN
PADA SISTEM PENGGORENGAN VAKUM**

**SKRIPSI
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Disusun oleh :

**WISNHU PURBOWASESO
NIM. 0210620131-62**

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN MESIN

MALANG

2007

**PENGARUH TEKANAN AWAL *FRYING CHAMBER*
TERHADAP KARAKTERISTIK KELEMBABAN
PADA SISTEM PENGGORENGAN VAKUM**

**SKRIPSI
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:
WISNHU PURBOWASESO
NIM. 0210620131-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Djoko Sutikno, M.Eng.
NIP. 131 276 249

Eko Siswanto, ST., MT.
NIP. 132 206 463

**PENGARUH TEKANAN AWAL *FRYING CHAMBER*
TERHADAP KARAKTERISTIK KELEMBABAN
PADA SISTEM PENGGORENGAN VAKUM**

Disusun Oleh:

**WISNHU PURBOWASESO
NIM. 0210620131-62**

**Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus
pada tanggal 30 Agustus 2007**

DOSEN PENGUJI

Skripsi I

Skripsi II

**Ir. Masduki, MM.
NIP. 130 350 754**

**Ir. Suharto, MT.
NIP. 131 131 025**

Komprehensif

**Ir. Saifuddin Baedowie
NIP. 130 350 753**

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin

**Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.
NIP. 132 159 708**

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang dengan limpahan rahmat, taufik dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul Pengaruh Tekanan Awal *Frying Chamber* terhadap Karakteristik Kelembaban pada Sistem 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 Dr. Ir. Rudy Soenoko, M.Eng.Sc, 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. Mas Ufi sekeluarga yang telah menyediakan fasilitas berupa mesin penggorengan vakum dan tempat penelitian serta memberikan masukan pada penulis.
6. Mas Sarip dan Mas Yudi yang telah banyak membantu selama proses penelitian.
7. Kedua orang tua yang telah memberikan segalanya yang terbaik untuk penulis, sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini
8. Semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung khususnya Keluarga Besar Mahasiswa Mesin Angkatan 2002 yang telah membantu kelancaran terselesaikannya skripsi ini dengan baik.

Penyusun menyadari sepenuhnya bahwa masih banyak terdapat kekurangan dalam skripsi ini, sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat kami 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 Mesin penggoreng Vakum (<i>Vacuum Fryer</i>).....	3
2.2.1 Unit Pemvakum	3
2.2.2 Kondensor.....	5
2.2.3 Ruang Penggorengan.....	5
2.2.4 Sistem Pemanas	6
2.2.5 Bak Air.....	6
2.3 Perpindahan Panas.....	6
2.3.1 Perpindahan Panas Konduksi.....	6
2.3.2 Perpindahan Panas Konveksi.....	7
2.3.3 Perpindahan Panas Radiasi.....	8
2.4 Kalor Sensibel dan Kalor Laten.....	10
2.5 Laju Penguapan.....	11
2.6 Tekanan.....	11
2.6.1 Macam-macam Tekanan.....	11
2.6.2 Tekanan Vakum.....	12
2.7 Kelembaban	12
2.7.1 Kelembaban Spesifik.....	12

2.7.2 Kelembaban Absolut.....	12
2.7.3 Kelembaban Relatif.....	12
2.8 Orifis-meter.....	13
2.8.1 Persamaan Gas Ideal.....	15
2.8.2 Kontinuitas Massa.....	16
2.8.3 Persamaan Bernoulli.....	17
2.9 Efisiensi Termal.....	19
2.10 Energi Listrik.....	19
2.11 Kadar Air.....	19
2.12 Hipotesis.....	20
BAB III METODE PENELITIAN.....	21
3.1 Metode Penelitian.....	21
3.2 Variabel Penelitian.....	21
3.3 Alat-alat Penelitian.....	22
3.4 Instalasi Alat Penelitian.....	24
3.5 Tempat Penelitian.....	26
3.6 Prosedur Penelitian.....	26
3.7 Diagram Alir Penelitian.....	27
BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN.....	28
4.1 Data Hasil Pengujian.....	28
4.2 Perhitungan Data.....	29
4.2.1 Efisiensi Termal.....	29
4.2.2 Energi Listrik.....	30
4.2.3 Debit Uap.....	30
4.3 Pembahasan.....	36
4.3.1 Karakteristik Kelembaban pada Mesin Penggorengan Vakum untuk Berbagai Variasi Tekanan Vakum Awal Penggorengan.....	36
4.3.2 Kelembaban Maksimum untuk Berbagai Variasi Tekanan Vakum Awal Penggorengan.....	37
4.3.3 Massa Alir Uap untuk Berbagai Variasi Tekanan Vakum Awal Penggorengan.....	38

4.3.4 Kadar Air yang Menguap untuk Berbagai Variasi Tekanan Vakum Awal Penggorengan	39
4.3.5 Kandungan Air pada Buah Hasil Penggorengan dengan Berbagai Variasi Tekanan Vakum Awal Penggorengan	40
4.3.6 Konsumsi Bahan Bakar untuk Berbagai Variasi Tekanan Vakum Awal Penggorengan	41
4.3.7 Efisiensi Termal untuk Berbagai Variasi Tekanan Vakum Awal Penggorengan	42
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	43
5.1 Kesimpulan	43
5.2 Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	44
LAMPIRAN	45

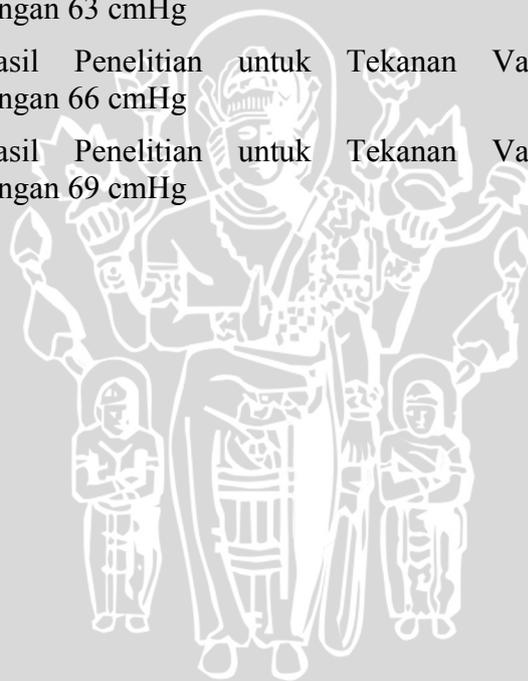


DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Hal.
Gambar 2.1.	Diagram Skematis Analitis Aliran Fluida Pendorong Ejektor	4
Gambar 2.2.	Ejektor dan Bagian-bagiannya	4
Gambar 2.3.	Bagian-bagian Kondensor	5
Gambar 2.4.	Perpindahan Panas Konduksi	6
Gambar 2.5.	Perpindahan Panas Radiasi	9
Gambar 2.6.	Skema Tekanan	11
Gambar 2.7.	Orifis-meter yang Digunakan	13
Gambar 2.8.	Koefisien orifis (C) untuk Berbagai Rasio Perbandingan Diameter	14
Gambar 2.9.	Aliran Fluida pada Suatu Aliran	16
Gambar 3.1.	Intalasi Alat Penelitian	25
Gambar 3.2.	Diagram Alir Penelitian	27
Gambar 4.1.	Orifis	31
Gambar 4.2.	Grafik Pengaruh Tekanan Vakum Awal Penggorengan terhadap Karakteristik Kelembaban	36
Gambar 4.3.	Nilai Kelembaban Maksimum untuk Berbagai Variasi Tekanan Vakum Awal Penggorengan	37
Gambar 4.4.	Diagram Batang Massa Alir Uap untuk Berbagai Variasi Tekanan Vakum Awal Penggorengan	38
Gambar 4.5.	Diagram Batang Kadar Air yang Diuapkan untuk Berbagai Variasi Tekanan Vakum Awal Penggorengan	39
Gambar 4.6.	Diagram Batang Kandungan Air pada Buah Hasil Penggorengan untuk Berbagai Variasi Tekanan Vakum Awal Penggorengan	40
Gambar 4.7.	Diagram Batang Konsumsi Bahan Bakar Berbagai Variasi Tekanan Vakum	41
Gambar 4.8.	Diagram Batang Efisiensi Termal untuk Berbagai Variasi Tekanan Vakum	42

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Hal.
Lampiran 1.	Tabel Temperatur Jenuh Uap Air	45
Lampiran 2.	Tabel Kalor Laten Air	45
Lampiran 3.	Tabel Kapasitas Kalor Buah	46
Lampiran 4.	Tabel <i>Low Heating Value</i> Bahan Bakar	47
Lampiran 5.	Tabel Viskositas Dinamik Uap Air	48
Lampiran 6.	Data Hasil Penelitian untuk Tekanan Vakum Awal Penggorengan 59 cmHg	
Lampiran 7.	Data Hasil Penelitian untuk Tekanan Vakum Awal Penggorengan 61 cmHg	
Lampiran 8.	Data Hasil Penelitian untuk Tekanan Vakum Awal Penggorengan 63 cmHg	
Lampiran 9.	Data Hasil Penelitian untuk Tekanan Vakum Awal Penggorengan 66 cmHg	
Lampiran 10.	Data Hasil Penelitian untuk Tekanan Vakum Awal Penggorengan 69 cmHg	



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}
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	kJ/kg	L
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_{H2O}
Temperatur saturasi	°C	t_{sat}



RINGKASAN

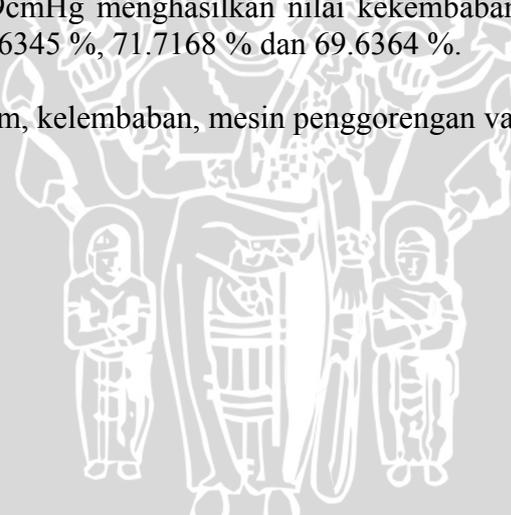
WISNHU PURBOWASESO, Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Agustus 2007, *Pengaruh Tekanan Awal Frying Chamber terhadap Karakteristik Kelembaban pada Sistem Penggorengan Vakum*, Dosen Pembimbing : Ir. Djoko Sutikno, M.Eng dan Eko Siswanto, ST., MT.

Proses penggorengan vakum dilakukan pada industri pengolahan aneka buah menjadi keripik yang bertujuan untuk mengurangi kadar air yang dikandung buah pada temperatur penggorengan rendah, sehingga aroma, rasa, dan warna asli buah yang digoreng tetap terjaga. Adapun masalah utama pada proses ini adalah masalah tekanan dan kelembaban di dalam ruang penggorengan. Untuk menghasilkan produk yang lebih baik, sangat diperlukan pengamatan kelembaban saat proses penggorengan berlangsung..

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh tekanan awal *frying chamber* terhadap karakteristik kelembaban pada sistem penggorengan vakum.

Hasil dari penelitian menunjukkan mesin penggorengan vakum dengan tekanan vakum penggorengan 69cmHg menghasilkan nilai kelembaban yang paling besar yaitu 83,4430 % yang berarti mesin penggorengan ini mampu melepaskan kandungan air dalam bahan goreng paling banyak. Sedangkan untuk variasi tekanan vakum 66cmHg, 63cmHg, 61cmHg dan 59cmHg menghasilkan nilai kelembaban maksimum berturut-turut yaitu 78.3369 %, 74.6345 %, 71.7168 % dan 69.6364 %.

Kata kunci : tekanan vakum, kelembaban, mesin penggorengan vakum.



BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Proses penggorengan vakum dilakukan pada industri pengolahan aneka buah menjadi keripik yang bertujuan untuk mengurangi kadar air yang dikandung buah pada temperatur penggorengan rendah, sehingga aroma, rasa, dan warna asli buah yang digoreng tetap terjaga. Proses ini dimulai dengan membuat ruang penggorengan menjadi vakum lalu dilakukan proses penggorengan dengan panas yang diberikan kompor. Adapun masalah utama pada proses ini adalah masalah tekanan dan kelembaban di dalam ruang penggorengan. Tekanan adalah gaya yang dialami oleh suatu titik pada suatu permukaan fluida persatuan luas dalam arah tegak lurus permukaan tersebut. Sedangkan kelembaban adalah kadar uap air yang terkandung didalam udara. Tekanan udara yang tinggi akan mengakibatkan titik didih air yang lebih tinggi. Berdasarkan sifat tersebut maka untuk merendahkan titik didih air yang terkandung pada buah yang digoreng maka dibuat ruang penggoreng yang vakum. Ini juga berdampak pada input panas yang dibutuhkan pada penggoreng vakum lebih rendah. Di sisi lain kelembaban yang terlalu tinggi pada ruang penggoreng akibat penguapan akan menyebabkan lambatnya proses pengeluaran air berikutnya yang terkandung di buah sehingga memungkinkan buah terlebih dahulu matang tapi masih memiliki *moisture content* yang tinggi. Ini berakibat menjadi problem lainnya, yaitu singkatnya durasi penyimpanan dan terutama rasa produk yang kurang diminati.

Oleh karena itu, untuk menghasilkan produk yang lebih baik, sangat diperlukan pengamatan kelembaban saat proses penggorengan berlangsung. Dengan mengacu bahwa kelembaban adalah fungsi dari tekanan dan temperatur ruang, maka penelitian karakteristik tingkat kelembaban akibat pengaruh tekanan dan temperatur ruang sangat perlu dilakukan. Adapun, pada penelitian ini akan difokuskan pada pengaruh tekanan awal penggorengan terhadap karakteristik kelembaban pada *frying chamber* penggorengan vakum.

Dengan kapasitas mesin pemvakum yang tetap, maka laju penguapan awal akan sangat mempengaruhi akumulasi uap yang terjadi pada ruang penggorengan sehingga mempengaruhi laju penguapan berikutnya. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian tentang tekanan vakum awal, agar diperoleh hasil penggorengan yang maksimal, yaitu semakin rendahnya kandungan air pada buah hasil penggorengan untuk waktu

penggorengan yang sama namun aroma, rasa dan warna buah hasil penggorengan tetap terjaga.

1.2. Rumusan Masalah

Dari latar belakang tersebut, maka dapat diambil rumusan masalah untuk penelitian ini sebagai berikut :

“Bagaimana pengaruh tekanan awal *frying chamber* terhadap karakteristik kelembaban pada sistem 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. Temperatur awal penggorengan adalah sama.
3. Berat buah awal penggorengan dan massa minyak goreng sama.
4. Waktu penggorengan sama

1.4. Tujuan Penulisan

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah :

“Mengetahui pengaruh tekanan awal *frying chamber* terhadap karakteristik kelembaban pada sistem 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* pada industri pengolahan buah yang menggunakan mesin penggorengan vakum dengan mengendalikan tekanan vakum awal penggorengan.
2. Sebagai bahan untuk pengembangan penelitian selanjutnya melalui simulasi.
3. Sebagai bahan pertimbangan 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 kolektor, pompa vakum, pompa minyak, trap dan water kolektor, 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 suhu 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 suhu penggorengan mencapai 90°C.

2.2. Mesin penggoreng Vakum (Vacuum Fryer)

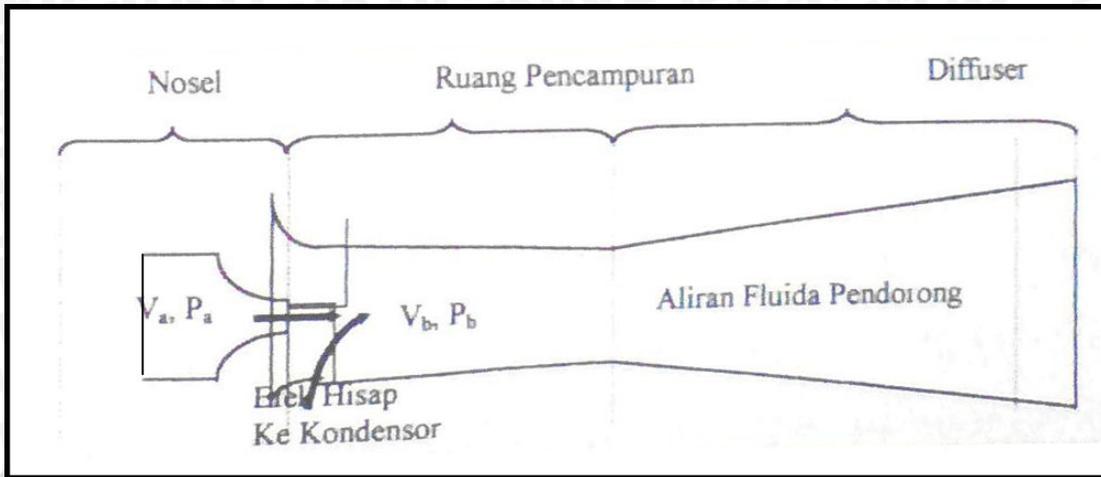
Mesin penggoreng vakum (*Vacuum Fryer*) adalah suatu alat yang berfungsi untuk menggoreng suatu bahan pada kondisi tekanan vakum. Mesin penggoreng vakum terdiri dari beberapa bagian yaitu : pembangkit tekanan vakum (*water jet*), kondensor, ruang penggorengan, kompor LPG, pompa air sentrifugal, dan tandon air.

2.2.1. Unit Pevakum

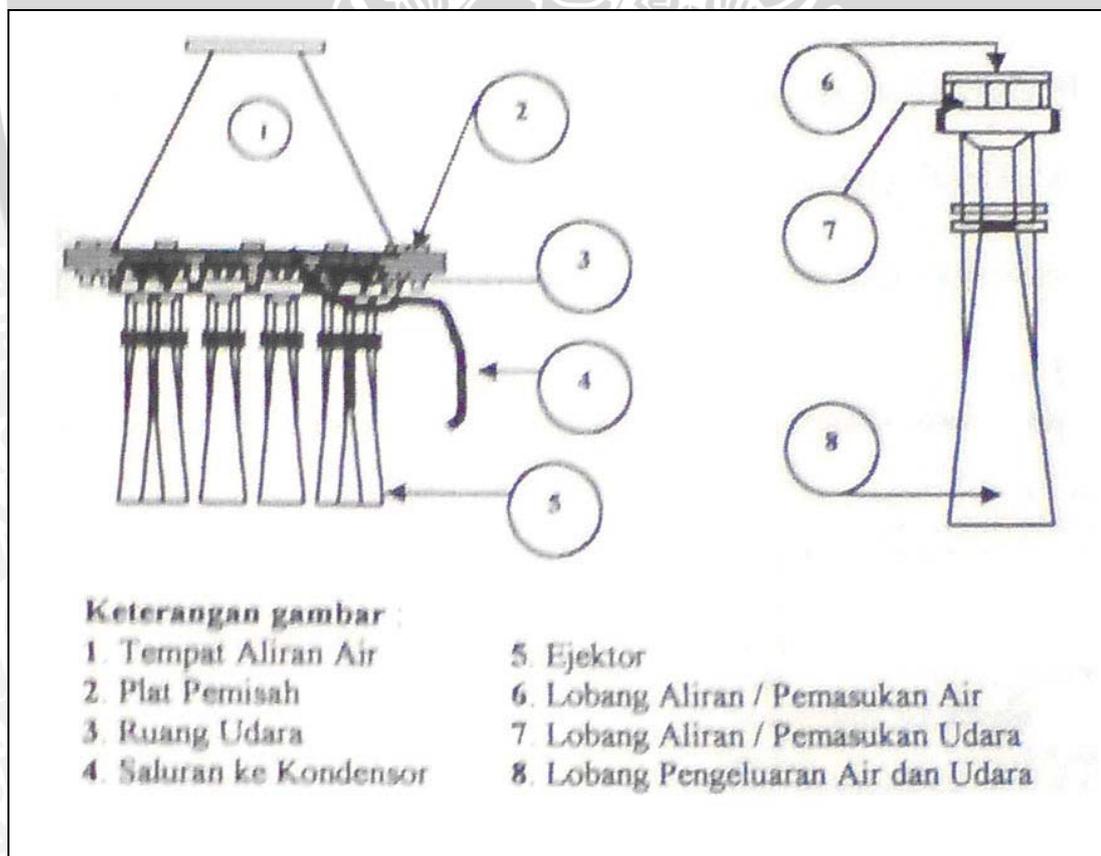
Unit pevakum terdiri dari ejektor dan pompa air. Ejektor berfungsi untuk menghasilkan tekanan vakum yang dihasilkan oleh efek dari perubahan energi tekan fluida menjadi kecepatan. Ejektor terdiri dari beberapa bagian yaitu nosel, ruang pencampuran, dan difuser. Pompa air berfungsi untuk mensirkulasikan air ke ejektor dan kondensor.

Ejektor atau *water jet* adalah suatu komponen yang dapat mengurangi besar tekanan statis pada suatu aliran fluida pada penampang a menjadi tekanan statis yang lebih kecil pada penampang b, dengan berdasarkan perbedaan luas penampang antara penampang tersebut, maka akan terjadi peningkatan kecepatan. Secara skematis dapat dilihat pada gambar 2.1. Sistem pevakuan oleh ejektor yaitu dengan menggunakan fluida pendorong (air) yang dialirkan melalui suatu ruangan yang dihubungkan ke kondensor. Akibat pengaruh kecepatan fluida pendorong yang tinggi, maka

menghasilkan efek hisap pada ruangan itu (ruangan yang dihubungkan dengan kondensor). Efek inilah yang akan menghisap uap air yang berada di ruang penggorengan, sehingga ruangan berada pada kondisi tetap vakum.



Gambar 2.1. Diagram Skematis Analitis Aliran Fluida Pendorong Ejektor
Sumber : Argo,1999

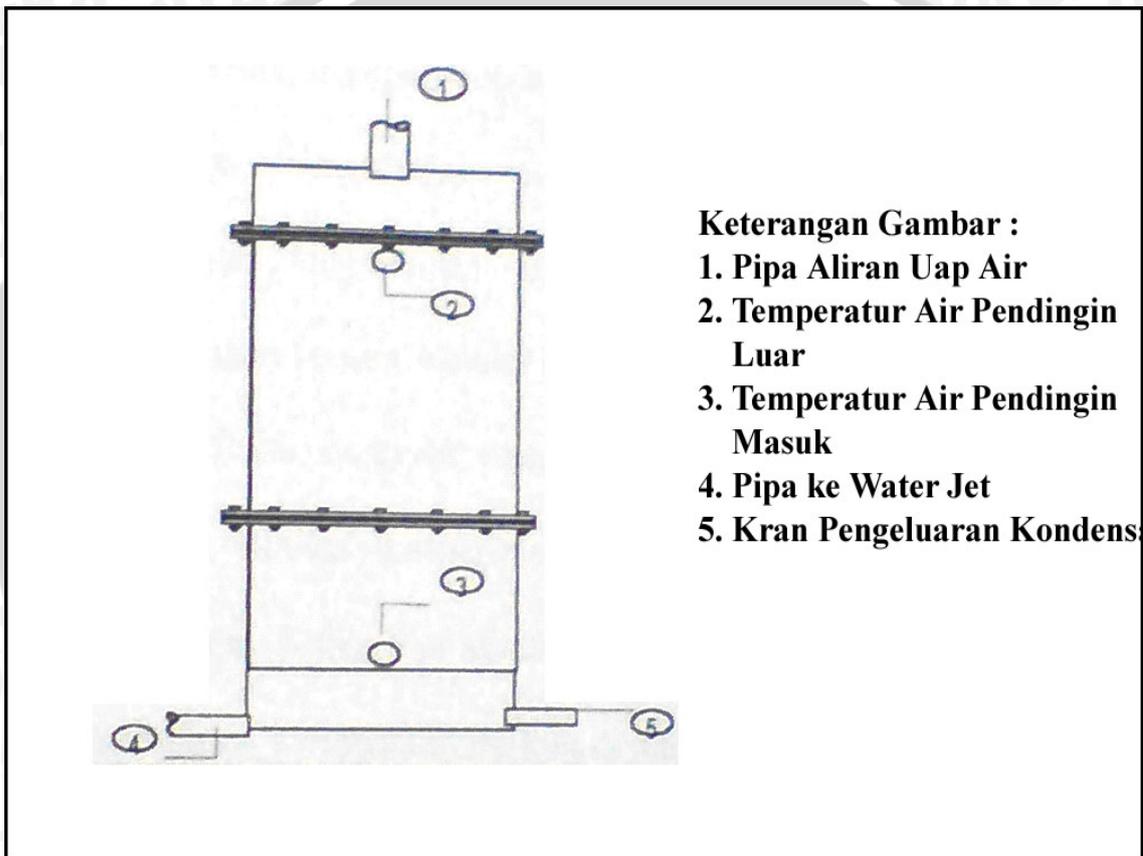


Gambar 2.2. Ejektor dan Bagian-bagiannya
Sumber : Argo, 1999

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,1999)

2.2.2. Kondensor

Kondensor berfungsi untuk menurunkan temperatur uap air yang terhisap dan mengembunkan uap air yang bersama dalam udara. Mekanisme pendinginan menggunakan sirkulasi air dari sistem *water jet*.



Keterangan Gambar :

1. Pipa Aliran Uap Air
2. Temperatur Air Pendingin Luar
3. Temperatur Air Pendingin Masuk
4. Pipa ke Water Jet
5. Kran Pengeluaran Kondensat

Gambar 2.3. Bagian – bagian Kondensor
Sumber : Argo, 1999

2.2.3. 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.

2.2.4. 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.

2.2.5. Bak Air

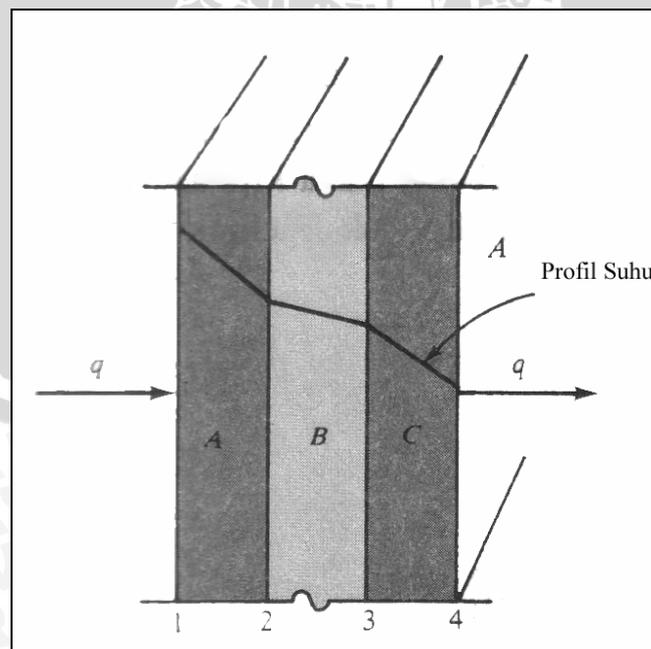
Bak air digunakan untuk menampung air yang akan disirkulasikan oleh pompa air sentrifugal.

2.3. Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah proses berpindahnya energi panas yang disebabkan oleh adanya perbedaan temperatur. Ada tiga macam cara perpindahan panas, yaitu konduksi, konveksi dan radiasi. Pada sistem penggorengan vakum, perpindahan panas yang terjadi adalah perpindahan panas konduksi dan konveksi.

2.3.1. Perpindahan Panas Konduksi

Pada sistem penggorengan vakum perpindahan panas konduksi terjadi pada dinding ruang penggoreng dan pada bahan goreng. Konduksi adalah perpindahan panas yang terjadi pada medium yang diam. Laju perpindahan panas konduksi sangat dipengaruhi oleh aktivitas atom dan molekul suatu medium. Konduksi dapat dianggap sebagai transfer energi dari partikel yang mempunyai lebih banyak energi ke partikel yang mempunyai energi lebih sedikit.



Gambar 2.4. Perpindahan Panas Konduksi
Sumber : J.P. Holman, 1986 : 27

Flux panas karena konduksi, satu dimensi dinyatakan dengan:

$$\dot{q}_x = -k \frac{dT}{dx} \quad (2-1)$$

(Sumber : J.P. Holman, 1986 : 2)

dengan:

\dot{q}_x = flux panas karena konduksi (W / m²)

k = konduktivitas termal bahan (W / (m.K))

dT/dx = gradien temperatur pada arah sumbu x (K / m)

Bila perpindahan panas terjadi dalam keadaan steady, maka distribusi temperatur sepanjang sumbu x adalah linier dan :

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{L} \quad (2-2)$$

Sehingga berlaku :

$$\dot{q}_x = -k \frac{T_2 - T_1}{L} \quad (2-3)$$

Laju perpindahan panas yang dipindahkan secara konduksi (\dot{q}_x) melalui dinding datar yang luasnya A adalah:

$$q_x = \dot{q}_x A \quad (2-4)$$

dengan

q_x = laju perpindahan panas konduksi (W)

A = luas permukaan (m²)

2.3.2. Perpindahan Panas Konveksi

Pada sistem penggorengan vakum perpindahan panas konveksi terjadi pada minyak goreng. Konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi antar suatu permukaan dan fluida yang bergerak, bila temperatur fluida dan permukaan berbeda. Perpindahan panas secara konveksi terdiri dari dua mekanisme, yaitu perpindahan energi karena gerakan molekuler sembarang (difusi) dan perpindahan energi oleh bulk (gerakan makroskopik) fluida. Gerakan fluida pada satu saat sembarang dapat dibayangkan sebagai sejumlah besar molekul yang bergerak secara kolektif atau bergerak dalam bentuk gumpalan-gumpalan fluida, yang akan mengakibatkan perpindahan panas bila terdapat perbedaan temperatur.

Fluida mengalir dengan kecepatan seragam U_∞ dan temperatur T_∞ , kemudian melewati suatu permukaan yang dipanaskan.

Karena interaksi antara fluida dan permukaan terdapat suatu daerah yang besar kecepatannya bervariasi dari nol pada permukaan hingga U_{∞} pada jarak tertentu dari permukaan. Daerah ini berkembang makin tebal dalam arah aliran, daerah ini disebut sebagai lapis batas hidrodinamik atau lapis batas kecepatan. Bila temperatur fluida dan temperatur permukaan berbeda, akan terdapat daerah dalam aliran fluida yang temperaturnya bervariasi dari T_s pada permukaan hingga T_{∞} pada satu titik tertentu. Daerah ini disebut lapis batas termal. Pemahaman mengenai sifat lapis batas merupakan hal yang sangat penting untuk memahami perpindahan panas secara konveksi.

Berdasarkan aliran fluidanya, konveksi dibedakan menjadi dua yaitu konveksi bebas (*free convection*) dan konveksi paksa (*forced convection*). Disebut konveksi paksa bila aliran fluidanya disebabkan oleh gaya dari luar, misalnya oleh kipas, pompa dan lain-lain. Bila aliran fluida disebabkan oleh gaya *bouyancy* (gaya apung) yang timbul akibat adanya perbedaan massa jenis, maka disebut sebagai konveksi alami.

Besarnya flux kalor karena konveksi dinyatakan dengan:

$$\dot{q} = h (T_s - T_{\infty}) \quad (2-5)$$

(Sumber : J.P. Holman, 1986 : 11)

dengan :

\dot{q} = flux panas karena konveksi (W / m^2)

T_s = temperatur permukaan (K)

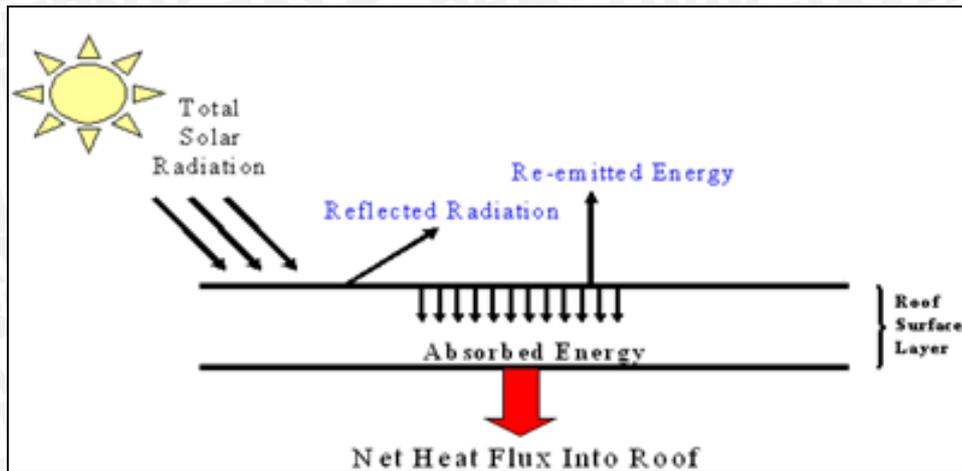
T_{∞} = temperatur bulk / fluida (K)

h = koefisien perpindahan panas konveksi ($W / m^2 \cdot K$)

Nilai h dipengaruhi oleh kondisi lapis batas, geometri permukaan, sifat gerakan fluida, serta sifat transport dan termodinamika fluida.

2.3.3. Perpindahan Panas Radiasi

Radiasi adalah proses perpindahan panas antara dua permukaan yang berbeda temperatur karena emisi energi dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Radiasi merupakan energi yang dipancarkan oleh suatu benda dalam bentuk gelombang elektromagnetik sebagai hasil dari perubahan konfigurasi elektron pada atom atau molekul. Perbedaan dengan konduksi dan konveksi, ialah perpindahan energi oleh radiasi tidak membutuhkan medium.



Gambar 2.5. Perpindahan Panas Radiasi
(Sumber : www.engr.mun.ca)

Perpindahan panas secara radiasi adalah proses perpindahan panas dimana panas mengalir dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah melalui gelombang elektromagnetik.

Energi radiasi bergerak dengan kecepatan cahaya dan gejalanya menyerupai radiasi cahaya. Besarnya perpindahan radiasi dapat dinyatakan secara matematik :

$$q_r = \varepsilon \sigma AT_s^4 \quad (2-6)$$

(Sumber : J.P.Holman, 1986 : 14)

dengan :

q_r = Laju perpindahan panas radiasi (Watt)

ε = emmisivitas

σ = konstanta Stefan-Boltzman ($5,67 \times 10^8 \text{ Watt/m}^2\text{K}^4$)

A = Luas permukaan (m^2)

T = temperatur mutlak (K)

Jumlah energi yang meninggalkan suatu permukaan sebagai panas radiasi tergantung pada suhu mutlak dan sifat permukaan tersebut. Benda hitam (*black body*) memancarkan energi radiasi dari permukaannya dengan perpindahan panas q_r sebesar :

$$q_r = \sigma A_1 T_1^4 \quad (2-7)$$

dengan :

q_r = Laju perpindahan panas radiasi (Watt)

A_1 = Luas permukaan (m^2)

T_1 = Suhu mutlak permukaan (K)

σ = Konstanta Stefan-Boltzman = $5,67 \times 10^{-8} \text{ (Watt/m}^2\text{K}^4)$

2.4. 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. Sebagian dari energi dalam dari sebuah sistem yang berhubungan dengan energi kinetik dari molekul di atas, 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 materi 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:

$$q_s = m \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (2-1)$$

(Sumber : William F.Riley, 1994 : 98)

dengan :

q_s = kalor sensibel (kJ)

m = massa (kg)

c_p = kalor spesifik pada tekanan konstan (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:

$$q_l = m \cdot L \quad (2-2)$$

(Sumber : William F.Riley, 1994 : 99)

dengan :

q_l = kalor laten (kJ)

m = massa (kg)

L = kalor laten spesifik (kJ/kg)

2.5. 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 diperlukan metode untuk menentukan massa air yang menguap. Massa air yang menguap dihitung 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.

2.6. Tekanan

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

2.6.1. Macam-macam tekanan

1. Tekanan atmosfer

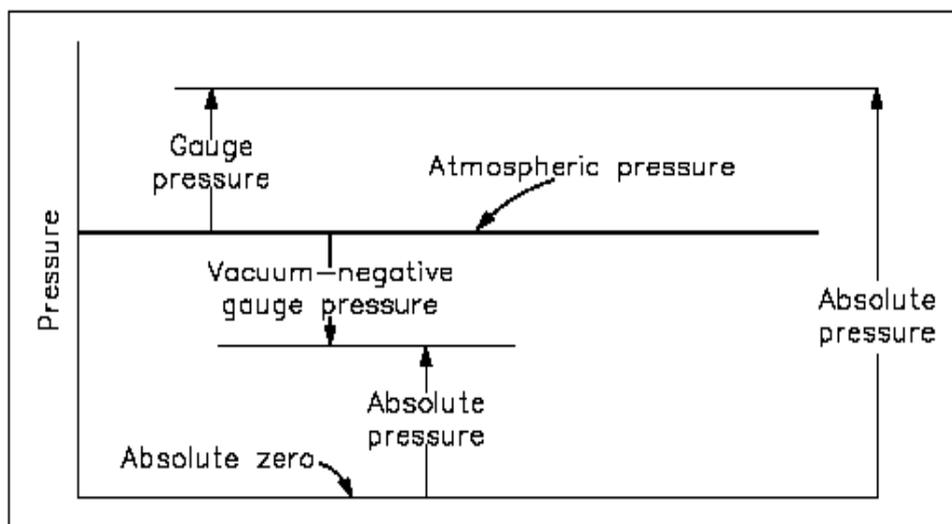
Tekanan atmosfer adalah tekanan lapisan udara bumi.

2. Tekanan absolut

Tekanan absolut adalah tekanan total yang dihasilkan oleh medium.

3. Tekanan gauge

Tekanan gauge adalah tekanan pengukuran relatif terhadap atmosfer setempat



Gambar 2.6. Skema Tekanan
Sumber : www.engineersedge.com

2.6.2. 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. Sehingga aroma, rasa dan warna buah tidak berubah.

2.7. Kelembaban

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

2.7.1. 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 : 15)

2.7.2. Kelembaban absolut

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

2.7.3. Kelembaban relatif (ϕ)

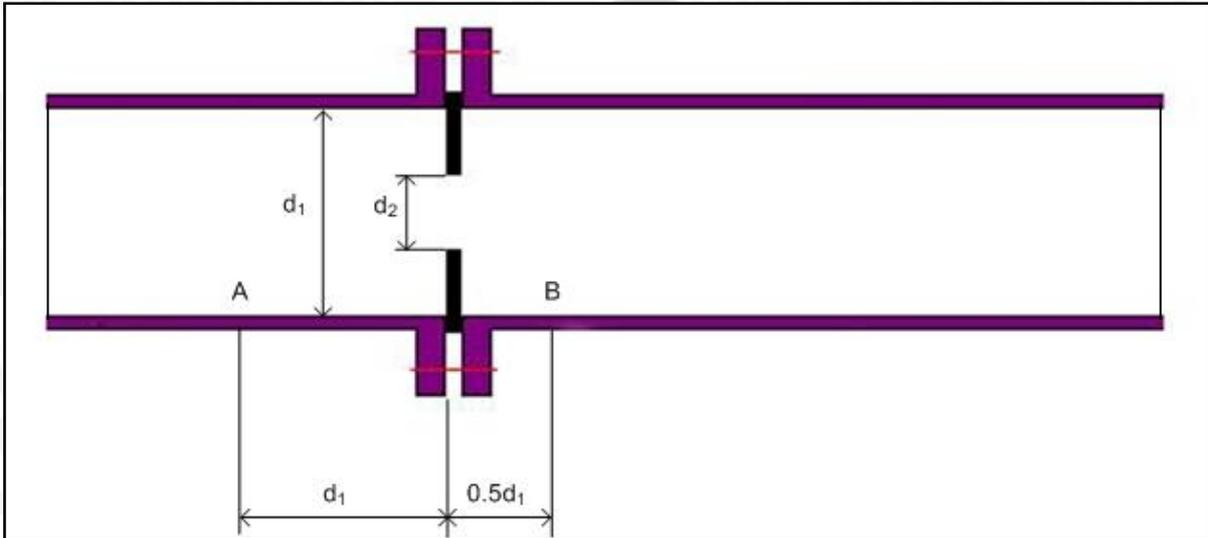
Kelembaban relatif yang dinyatakan dalam persen atau bilangan desimal adalah rasio tekanan parsial aktual uap air yang ada di udara dengan tekanan jenuh uap air pada temperatur bola kering.

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

(Sumber : Stoecker, 1990 : 15)

2.8. Orifis meter

Orifis meter digunakan untuk mengukur debit uap air. Debit uap air dihitung dari pengukuran perubahan tekanan di antara kedua sisi orifis akibat perubahan penampang secara tiba-tiba. Dari perbedaan tekanan tersebut maka akan diketahui nilai kecepatan aliran pada saluran.



Gambar 2.7 Orifis meter yang digunakan
(Sumber : Holman, JP.,1985).

Dimana :

d_1 = diameter saluran (m)

d_2 = diameter lubang penghalang (m)

Penempatan titik pengukuran pada titik 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 :

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

(Sumber : Holman, JP.,1985)

Dimana :

V = kecepatan aliran (m/s)

A = luas penampang saluran (m^2)

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

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

(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

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

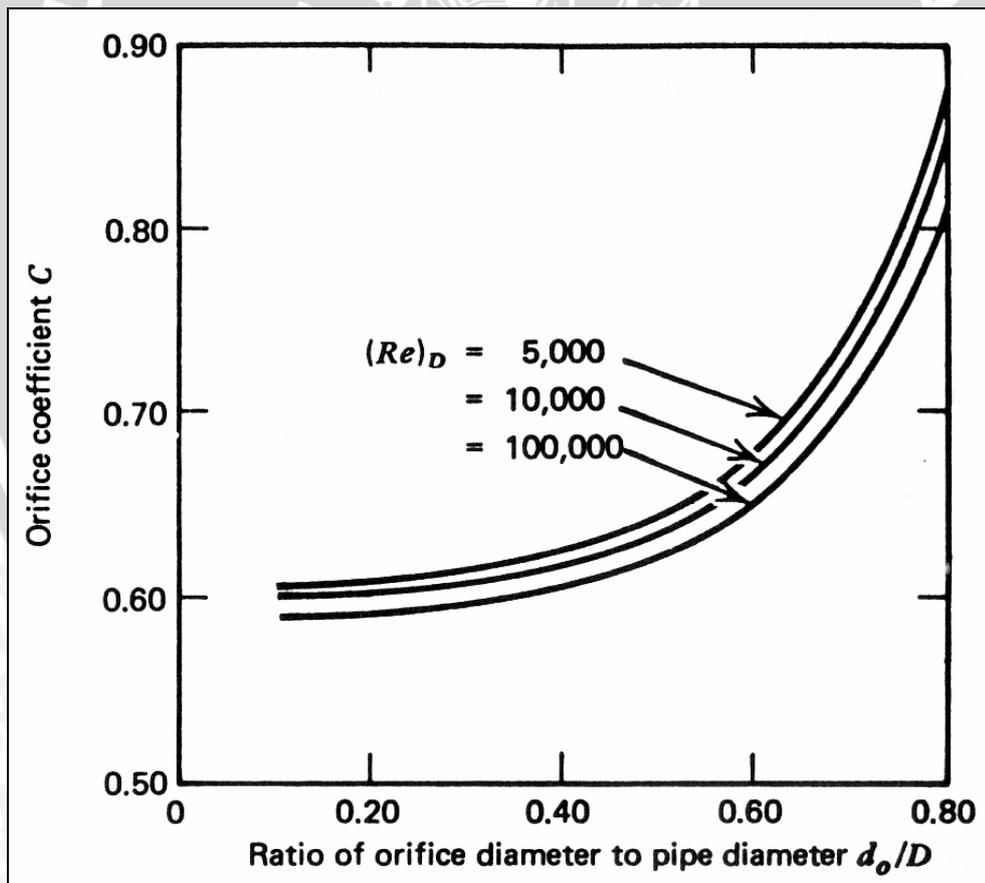
(Sumber : Holman, JP.,1985)

Dimana :

A_1 = luas penampang saluran (m^2)

A_2 = luas penampang lubang penghalang (m^2)

- Koefisien orifis, C



Gambar 2.8. 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/m^2)

- Faktor muai, Y

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

(Sumber : Holman, JP.,1985)

Dengan :

- P_1 = tekanan uap air pada saluran bagian hulu
- P_2 = tekanan uap air pada saluran bagian hilir
- γ = rasio kalor spesifik

2.8.1. Persamaan gas ideal

Persamaan ini dinyatakan sebagai berikut :

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

Dimana :

$$n = \frac{m}{M}; R = \frac{R_u}{M}; \rho = \frac{m}{V} \text{ maka persamaan (2-11) akan menjadi}$$

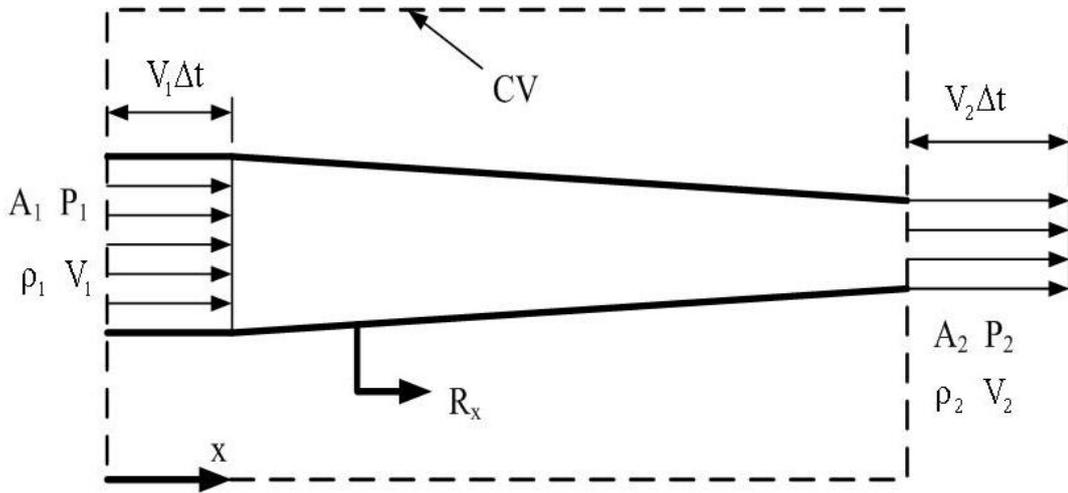
$$P = \rho R T \quad (2-12)$$

Dengan :

- P = tekanan gas (N/m^2)
- V = volume gas (m^3)
- T = temperatur gas ($^{\circ}\text{K}$)
- n = jumlah molar gas (kmol)
- m = massa gas (kg)
- M = berat molekular gas (kg/kmol)
- R_u = konstanta gas universal = $8314 \text{ (J/kmol } ^{\circ}\text{K)}$
- R = konstanta gas spesifik ($\text{J/kg } ^{\circ}\text{K}$)

2.8.2. Kontinuitas massa

Jumlah massa fluida yang masuk ke suatu sistem sama dengan massa yang fluida yang keluar dari sistem tersebut. Pada kontrol volume seperti berikut :



Gambar 2.9 Aliran fluida pada suatu saluran
(Sumber: www.princeton.edu/nugroho)

Maka dari konservasi massa :

$$\begin{aligned}
 m_{\text{masuk}} &= m_{\text{keluar}} + \Delta m \\
 \rho_1 A_1 v_1 \Delta t &= \rho_2 A_2 v_2 \Delta t + \Delta m \quad (2-13)
 \end{aligned}$$

(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 :

$$\begin{aligned}
 \rho A_1 V_1 &= \rho A_2 V_2 \quad (2-14) \\
 \dot{m}_{\text{masuk}} &= \dot{m}_{\text{keluar}} \\
 \dot{m} &= \text{konstan}
 \end{aligned}$$

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)

2.8.3. 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 :

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

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

Dengan asumsi:

- Fluida ideal yaitu tanpa ada gesekan antara fluida dan saluran
- Aliran stedi 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 :

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

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

Persamaan bernoulli (2-17) dapat diterapkan untuk meninjau perubahan energi aliran fluida pada orifis yang akan digunakan. Persamaan ini menjadi :

$$\frac{P_a}{\rho.g} + \frac{V_a^2}{2.g} + Z_a = \frac{P_b}{\rho.g} + \frac{V_b^2}{2.g} + Z_b$$

$$\frac{P_a - P_b}{\rho.g} + \frac{V_a^2 - V_b^2}{2.g} + Z_a - Z_b = 0$$

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

Untuk fluida mampu mampat maka persamaan bernoulli (2-18) 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 :

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

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

Dengan menyelesaikan suku $\int_{P_a}^{P_b} \frac{dP}{g\rho}$ 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 (2-15) dan (2-21) 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 (2-22), (2-23), maka persamaan bernoulli (2-19) menjadi :

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

2.9. 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.

2.10 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 :

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

Dengan :

V = voltase (volt)

I = arus listrik (A)

t = waktu (jam)

θ = sudut fase ($^{\circ}$)

2.11. 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 berat awal dan akhir buah nanas sehingga diketahui kadar air buah nanas. Kadar air buah nanas diperoleh dari :

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

Dengan :

m_{bhi1} = massa irisan buah awal proses (gr)

m_{bho} = 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 :

$$MC_2 = \frac{m_{bhi2} - m_{bho}}{m_{bhi2}} \times 100\% \quad (2-28)$$

Dimana :

m_{bhi2} = massa irisan buah akhir proses (gr)

m_{bho} = 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 :

$$MC_3 = \frac{(m_{bhi1} - m_{bho}) - (m_{bhi2} - m_{bho})}{(m_{bhi1} - m_{bho})} \times 100\% \quad (2-29)$$

Dimana :

m_{bhi1} = massa irisan buah awal proses (gr)

m_{bhi2} = massa irisan buah akhir proses (gr)

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

2.12. Hipotesis

Dari uraian di atas dapat diambil hipotesis bahwa selama proses penggorengan, semakin besar tekanan vakum, maka massa uap air di ruang penggorengan semakin meningkat, kondisi ini menyebabkan kelembaban dalam ruang penggorengan semakin tinggi. Namun pada akhir penggorengan, semakin besar tekanan vakum penggorengan maka kelembaban ruang penggorengan semakin rendah, hal ini disebabkan kandungan air dalam buah yang makin menipis dan massa uap air yang dihisap lebih besar.

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 (*independent variable*)

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 tekanan awal penggorengan pada sistem penggorengan vakum. Variasi tekanan awal yang akan digunakan adalah 69 cmHg, 66 cmHg, 63 cmHg, 61cmHg dan 59 cmHg.

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 :

- Temperatur awal penggorengan adalah 82 °C.
- Massa buah (bahan goreng) = 1 kg
- Waktu penggorengan adalah satu jam

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

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

3. Ejektor

Teknologi jet air 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. Sensor kelembaban

Sensor kelembaban menggunakan tipe hs15p, dengan spesifikasi:

Temperatur operasi minimum : 0°C

Temperatur operasi maksimum : 80°C

Kelembaban operasi : 20 – 100% RH

Impedansi (25°C, 50%RH) : 60 kohm +/-30 kohm (+/- 5% RH)

Voltase : DC 5 Volt

Frekuensi : 50 Hz

Daya : 0,3 mW

6. Sensor Temperatur

Sensor temperatur menggunakan tipe LM35CZ, dengan spesifikasi:

Voltase : DC 5 Volt

Temperatur operasi : -55°C – 150°C

- Frekuensi : 50 Hz
- Faktor Skala : Linear + 10 mV/°C
7. Sensor Tekanan
- Sensor tekanan yang digunakan JUMO tipe 432-22, dengan spesifikasi:
- Voltase : 24 Volt
- Tekanan operasi : 0 – 4 bar
8. ADC (Analog Digital Converter)
- Dengan spesifikasi sebagai berikut :
- Tipe : PICO ADC 11/12
 - Tegangan input : 0 – 2.5V
 - Tegangan output : 5V
 - Resolusi : 12 bits
 - Sampling : 10000 sampel/detik
9. Tang Ampere Digital
- Tang Ampere Digital digunakan untuk mengukur tegangan dan arus listrik.
10. Tabung gas dan LPG
- Tabung gas digunakan untuk menampung bahan bakar gas LPG sebagai sumber panas
11. Timbangan buah
- Timbangan digunakan untuk mengukur massa buah sebelum dan sesudah digoreng.
12. Timbangan LPG
- Timbangan digunakan untuk mengukur massa LPG sebelum dan sesudah proses penggorengan
13. Termometer
- Termometer digunakan untuk mengukur temperatur atmosfer di tempat penelitian dilakukan
14. Barometer
- Barometer digunakan untuk mengukur tekanan barometer di tempat penelitian dilakukan
15. Hygrometer
- Hygrometer digunakan untuk mengukur kelembaban relatif udara di tempat penelitian dilakukan

16. Komputer

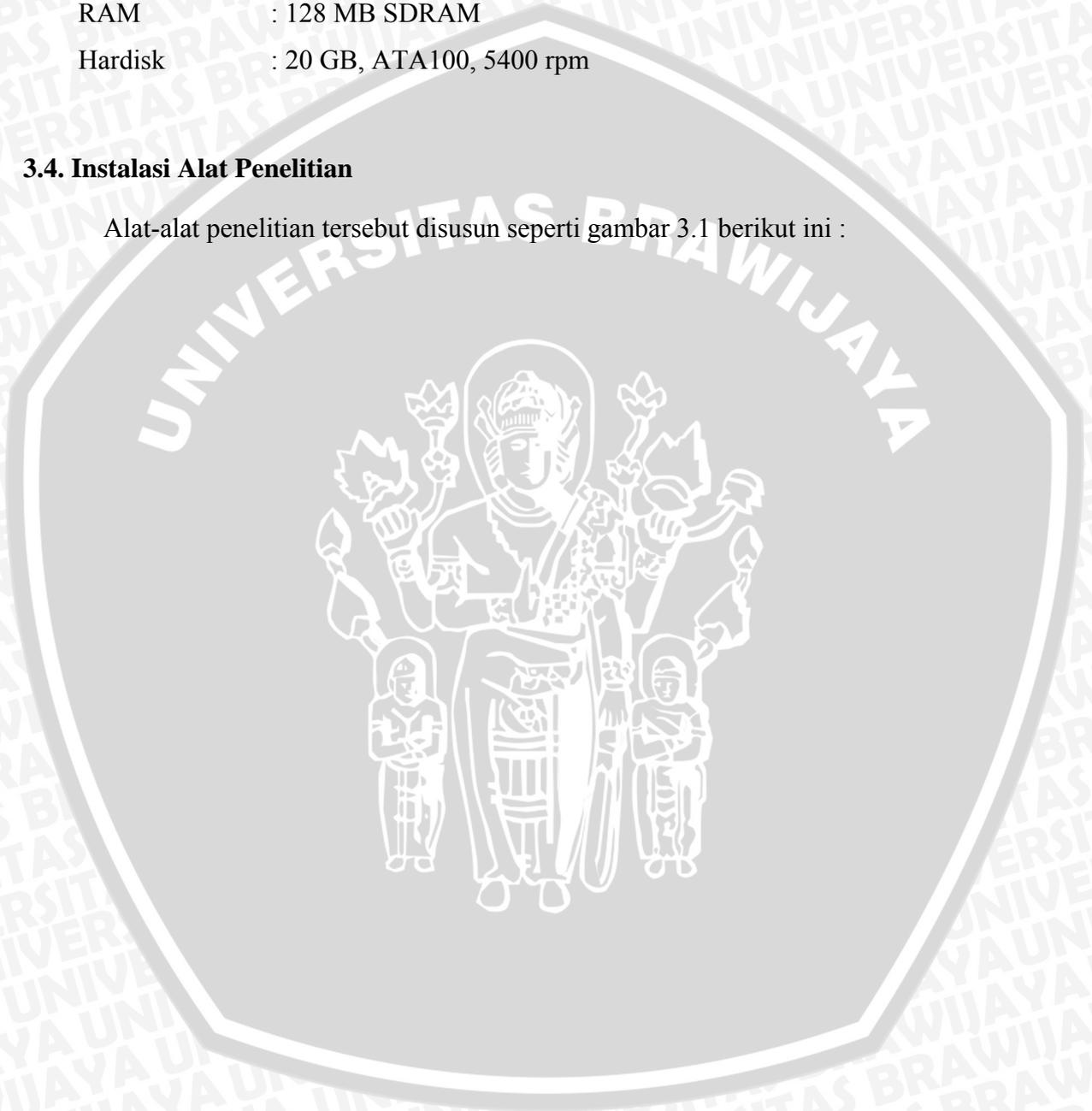
Komputer digunakan untuk menerima, memproses dan merekam sinyal dari sensor sesudah mengalami pengkonversian sinyal dari analog ke sinyal digital pada ADC.

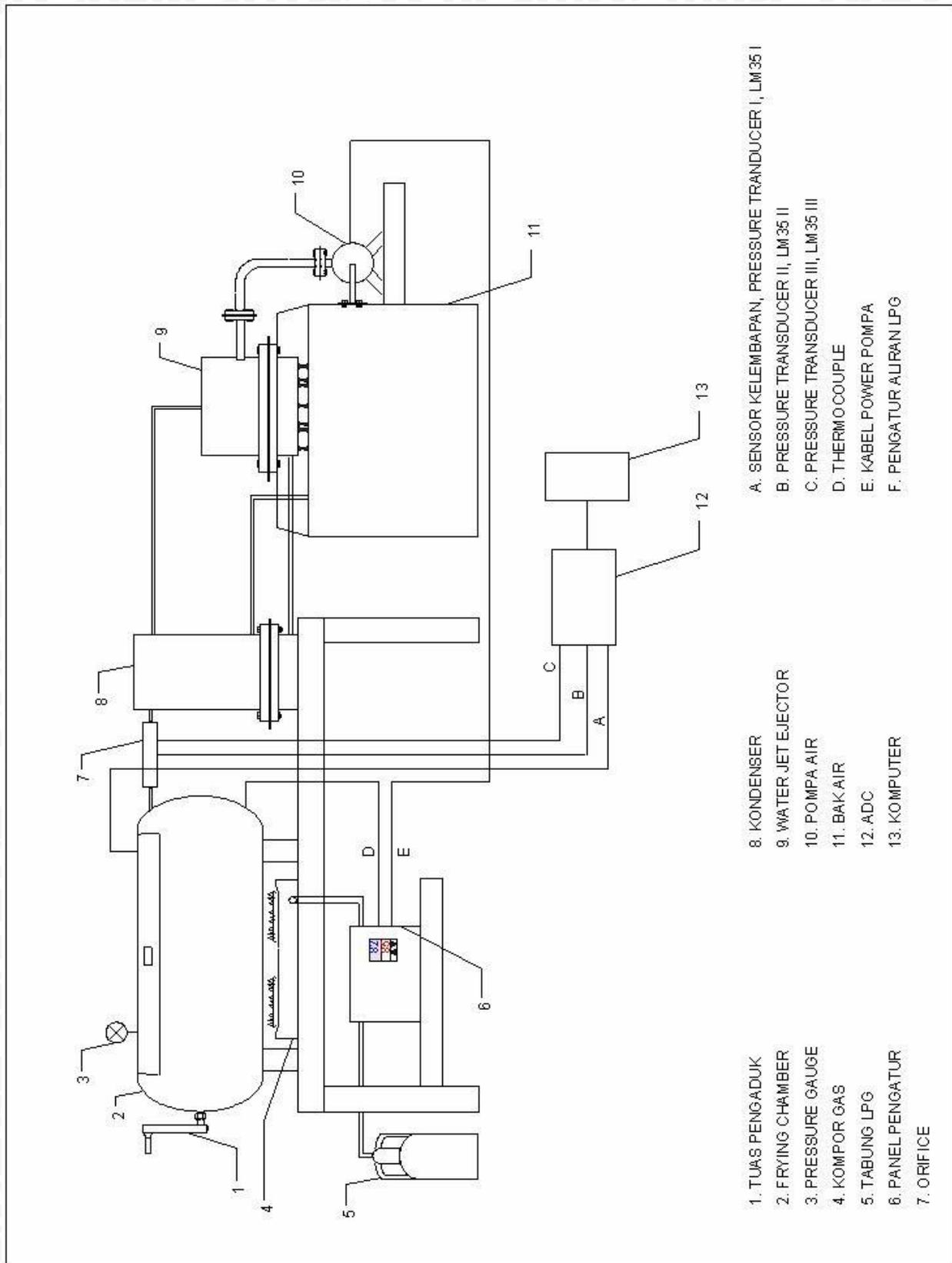
Adapun spesifikasi yang digunakan :

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. Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di industri rumah tangga Palem Ijo, desa Torongrejo Kecamatan Beji, Kota Batu, Malang.

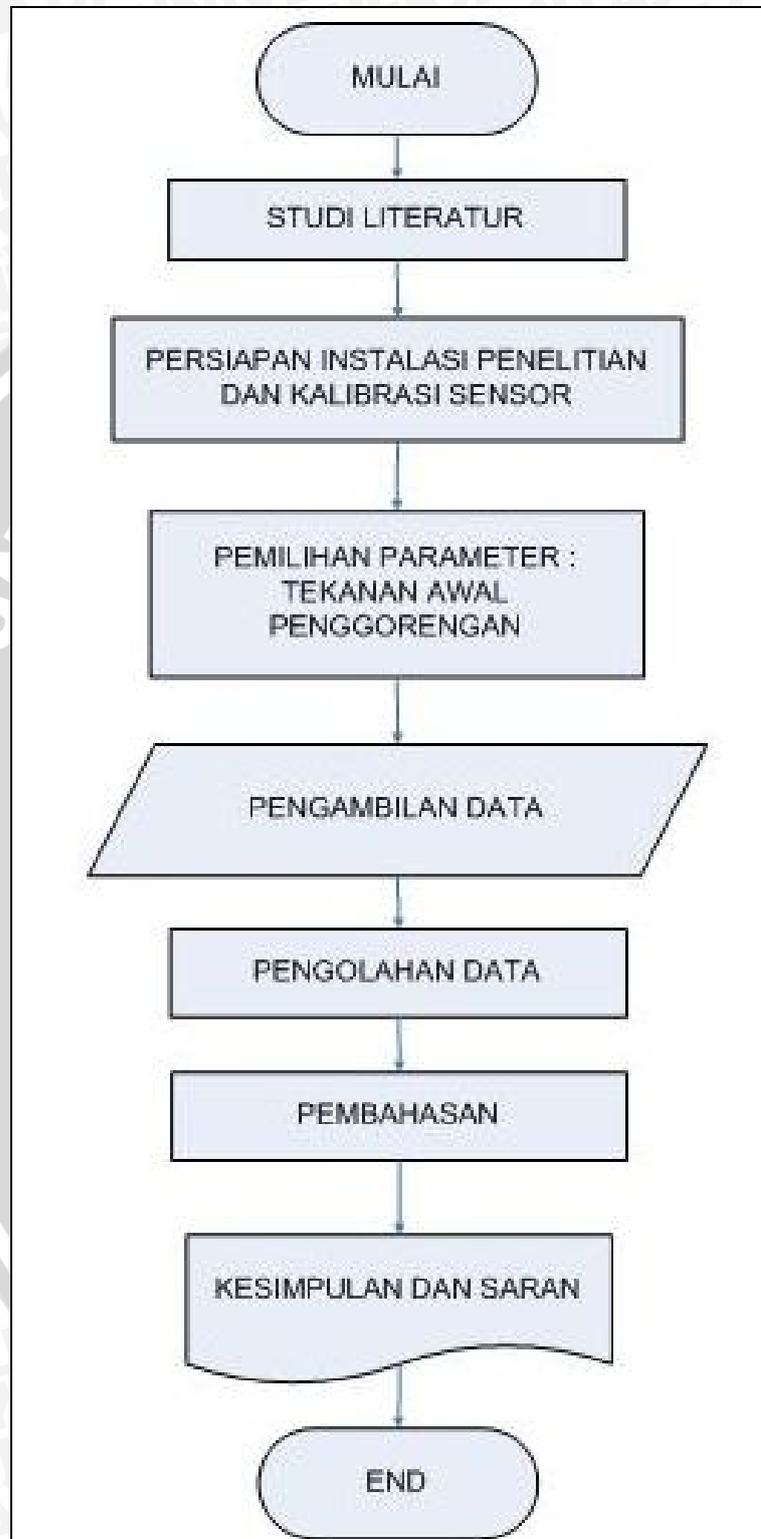
3.6. Prosedur Penelitian

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. Menutup nosel di ejektor sehingga di dapatkan tekanan vakum yang diinginkan.
3. Mengeset temperatur penggorengan ke angka 82°C dan menyalakan kompor.
4. Memasukkan buah nanas ke ruang penggorengan (belum tercelup minyak).
5. Menyalakan pompa air.
6. Mencelupkan buah ke dalam minyak goreng bila tekanan dan temperatur telah mencapai angka yang ditentukan (proses penggorengan dimulai).
7. Mengambil data kelembaban udara keluar ruang penggorengan.
8. Mengulangi langkah 2 sampai 7 untuk tekanan vakum awal *frying chamber* yang berbeda.
9. Data diolah, kemudian dianalisa fenomena yang terjadi bila dihubungkan dengan teori yang ada
10. Menarik kesimpulan.

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 variasi tekanan awal *frying chamber*. Berikut ini adalah salah satu data hasil penelitian untuk tekanan vakum 69cmHg. Data diambil pada detik ke 650 :

- Data untuk perhitungan debit uap :
 1. Temperatur *frying chamber*, t_{fc} : 51,071°C
 2. Temperatur sebelum orifis, t_a : 48,794°C
 3. Temperatur setelah orifis, t_b : 47,858°C
 4. Kelembaban relatif *frying chamber*, RH : 82,8075 %
 5. Tekanan vakum *frying chamber*, P_{fc} : 62.4824 cmHg
 6. Tekanan vakum sebelum orifis, P_{va} : 64,0534 cmHg
 7. Tekanan vakum setelah orifis, P_{vb} : 65,1904 cmHg
- Data untuk perhitungan konsumsi listrik :
 1. Arus listrik pompa air rata-rata, I : 5,7 A
 2. Tegangan listrik pompa air, V : 204 V
- Data untuk perhitungan efisiensi termal :
 1. Massa tabung LPG awal proses, m_{LPG1} : 9,6 kg
 2. Massa tabung LPG akhir proses, m_{LPG2} : 9,2 kg
 3. Low Heating Value LPG, LHV_{LPG} : 47309 kJ/kg
 4. Massa minyak, m_{minyak} : 89 kg
 5. Kapasitas Kalor spesifik minyak, C_{minyak} : 2,018 kJ/kg °C
 6. Temperatur mula minyak goreng, t_{mk1} : 50 °C
 7. Temperatur akhir minyak goreng, t_{mk2} : 82 °C
 8. Kalor laten air pada tekanan vakum 69cmHg: 2393 kJ/kg
- Data spesifikasi buah nanas :
 1. Kapasitas Kalor spesifik buah nanas, C_{buah} : 3,43 kJ/kg °C
 2. Tebal irisan buah, t_{bh} : 10 mm
 3. Massa buah awal proses, m_{bh1} : 1 kg
 4. Massa buah akhir proses, m_{bh2} : 0,217 kg
 5. Massa irisan buah awal proses, m_{bhi1} : 5 gr
 6. Massa irisan buah akhir proses, m_{bhi2} : 1,09 gr

7. Massa irisan buah dioven, m_{bho} : 0,7 gr
8. Temperatur irisan buah awal proses, t_{bh1} : 23 °C
9. Temperatur irisan buah akhir proses, t_{bh2} : 77 °C
- Data penunjang :
 1. Tekanan Barometer, P_{bar} : 74 cmHg
 2. Temperatur atmosfer, T_{atm} : 20 °C
 3. Kelembaban atmosfer, RH_{atm} : 70 %
 4. Konstanta gas universal, R_u : 8314 J/kmol °K
 5. Berat molekul uap air, M_{H2O} : 18 kg/kmol
 6. Temperatur saturasi pada tekanan vakum 69cmHg, T_{sat} : 37,818°C

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* sesuai dengan yang diinginkan. 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 tekanan vakum awal *frying chamber* 69 cmHg. Sedangkan untuk perhitungan data pada perlakuan yang lain sama dengan perhitungan ini.

4.2.1. Efisiensi Termal

Untuk menghitung efisiensi termal diperlukan data temperatur penggorengan dan data konsumsi bahan bakar. Pada tekanan vakum 69 cmHg atau tekanan absolut 5 cmHg, air mempunyai nilai kalor laten sebesar 2393 kJ/kg dan temperatur saturasi 37,818 °C

Dari data di atas, maka kita akan menghitung efisiensi termal

$$\text{Efisiensi termal} = \frac{Q_{\text{sensibel min yak}} + Q_{\text{sensibel buah}} + Q_{\text{laten air}}}{\text{Kalor LPG}} \times 100\%$$

- Menghitung kalor sensibel minyak

$$\begin{aligned} Q_{\text{sensibel minyak}} &= m_{\text{minyak}} \cdot C_{\text{minyak}} \cdot (t_{mk2} - t_{mk1}) \\ &= 89\text{kg} \cdot 2,018\text{kJ/kg}^\circ\text{C} \cdot (82-50)^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$= 5747.264 \text{ kJ}$$

- Menghitung panas sensibel buah

$$\begin{aligned} Q_{Sbh} &= m_{bh1} \cdot C_{bh} \cdot (t_{bh2} - t_{bh1}) + m_{bh2} \cdot C_{bh} \cdot (t_{bhi2} - t_{bhi1}) \\ &= 1 \text{ kg} \cdot 3,43 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} \cdot (37,818 - 23)^\circ\text{C} + 0,217 \text{ kg} \cdot 3,43 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} \cdot \\ &\quad (77 - 37,818)^\circ\text{C} \\ &= 79.989 \text{ kJ} \end{aligned}$$

- Menghitung panas laten air

$$\begin{aligned} Q_{Lair} &= m_{uap \text{ air}} \cdot L_{air} \\ &= 0,783 \text{ kg} \cdot 2393 \text{ kJ/kg} \\ &= 1873.719 \text{ kJ} \end{aligned}$$

- Menghitung kalor LPG

$$\begin{aligned} Q_{LPG} &= (m_{LPG1} - m_{LPG2}) \cdot LHV_{LPG} \\ &= (9,6 \text{ kg} - 9,2 \text{ kg}) \cdot 47309 \text{ kJ/kg} \\ &= 18923,6 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Sehingga Efisiensi termalnya adalah :

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi termal} &= \frac{5747,264 \text{ kJ} + 79.989 \text{ kJ} + 1873,719 \text{ kJ}}{18923,6 \text{ kJ}} \times 100\% \\ &= 40,6942 \% \end{aligned}$$

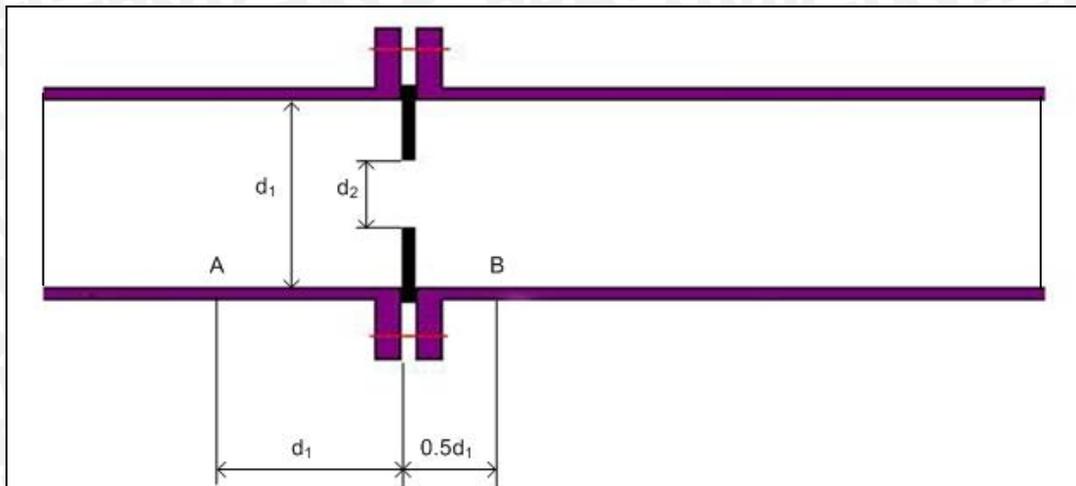
4.2.1 Energi Listrik

Dari data di atas maka kita akan menghitung energi listrik selama proses penggorengan

$$\begin{aligned} E &= V I t \cos\theta \\ &= 204 \text{ volt} \cdot 5,7 \text{ Ampere} \cdot 1 \text{ hour} \cdot 0,8 \\ &= 930,24 \text{ watt hour} \\ &= 0,93024 \text{ kWh} \end{aligned}$$

4.2.2 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 sbb:



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

Dimana :

- $d_1 = 1,25 \text{ in}$
 $= 0,03175 \text{ m}$
- $d_2 = \frac{1}{2} d_1$
 $= 0,015875 \text{ m}$
- $P_{va} = 64,0534 \text{ cmHg}$
- $P_a = P_{bar} - P_{va}$
 $= 74 - 64,0534$
 $= 9,9466 \text{ cmHg}$
 $= 13261,04 \text{ Pa}$
- $P_{vb} = 65,1904 \text{ cmHg}$
- $P_b = P_{bar} - P_{vb}$
 $= 74 - 66,701$
 $= 7,299 \text{ cmHg}$
 $= 9731,2 \text{ Pa}$
- $T_a = 48,794^\circ\text{C}$
 $= 321,794 \text{ K}$
- $T_b = 47,858^\circ\text{C}$
 $= 320,858 \text{ K}$

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

- $R_u = 8314 \text{ J/kmol } ^\circ\text{K}$

- $M_{H_2O} = 18 \text{ kg/kmol}$
- $R = \frac{Ru}{M_{H_2O}}$
 $= \frac{8314 \text{ J/kmol } ^\circ\text{K}}{18 \text{ kg/kmol}}$
 $= 461,9 \text{ J/kg } ^\circ\text{K}$

- Fluida yang mengalir melewati orifis adalah uap air
- Persamaan gas ideal

$$P \cdot V = m R T$$

$$P = \frac{m}{V} R T = \rho R T$$

$$\rho = \frac{P}{R T}$$

- Menghitung massa jenis sebelum orifis

$$\begin{aligned} \rho_a &= \frac{P_a}{R T_a} \\ &= \frac{13261,04}{461,9 \cdot 321,794} \\ &= 0,08922 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

- Menghitung massa jenis setelah orifis

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{P_b}{R T_b} \\ &= \frac{9731,2}{461,9 \cdot 320,858} \\ &= 0,06566 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

- Persamaan kontinuitas massa

$$\rho_a \cdot A_a \cdot V_a = \rho_b \cdot A_b \cdot V_b$$

$$0,08922 \text{ kg/m}^3 \cdot \left[\frac{\pi}{4} \cdot 0,03175^2 \right] \cdot v_a = 0,06566 \text{ kg/m}^3 \cdot \left[\frac{\pi}{4} \cdot 0,015875^2 \right] \cdot v_b$$

$$0,08922 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,000792 \cdot v_a = 0,06566 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,000198 \cdot v_b$$

$$7,0662 \cdot 10^{-5} \cdot v_a = 1,3 \cdot 10^{-5} \cdot v_b$$

$$v_a = 0,184 v_b$$

Dari data tersebut di atas, akan dihitung debit uap :

$$Q = CMAVY$$



- Mencari nilai Y (faktor muai) :

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

Dimana :

$$\beta = \frac{d_2}{d_1} = 0,5$$

γ = rasio isentropik untuk gas triatomik = 1,3

Maka :

$$Y = 1 - \left[0,333 + 1,145(0,5^2 + 0,7(0,5)^5 + 12(0,5)^{13}) \right] \frac{13261,04 - 9731,2}{1,3 \cdot 13261,04}$$

$$= 0,8677$$

- Mencari nilai M (faktor kecepatan masuk) :

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

$$= \frac{1}{\sqrt{1 - (0,25)^2}}$$

$$= 1,0328$$

- Nilai V (kecepatan fluida) diperoleh dengan penurunan persamaan bernoulli

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

Dengan asumsi :

- pengukuran pada elevasi yang sama $z_a = z_b$
- Untuk gas triatomik (H₂O) $k=1,3$

Maka :

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

$$\left[\frac{1}{g} \left(\frac{1,3}{1,3-1} \right) \frac{8663,287}{0,05809} + \left(\frac{7064,752}{8663,287} \right)^{2/1,3} (0,25)^2 \frac{V_b^2}{2g} + z_a \right]$$

$$= \left[\frac{1}{g} \left(\frac{1,3}{1,3-1} \right) \left(\frac{8663,287}{0,05809} \right) \left(\frac{7064,752}{8663,287} \right)^{(1,3-1)/1,3} + \frac{V_b^2}{2g} + z_b \right]$$

$$V_b = 253,9431 \text{ m/s}$$

- Mencari nilai V_a

$$\begin{aligned}v_a &= 0,184 v_b \\ &= 0,184 \cdot 253,9431 \text{ m/s} \\ &= 46,7255 \text{ m/s}\end{aligned}$$

- Mencari Koefisien Orifis, C

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

uap.

Reynold number, Re

$$\begin{aligned}Re &= \frac{\rho_a \cdot V_a \cdot d_2}{\mu} \\ &= \frac{0,08922 \cdot 46,7255 \cdot 0,015875}{0,000892} \\ &= 74,193\end{aligned}$$

Didapat nilai C yaitu 0,65

- Menghitung debit uap

$$\begin{aligned}Q &= CMA_a V_a Y \\ &= 0,65 \cdot 1,0328 \cdot 0,000792 \cdot 46,7255 \cdot 0,8677 \\ &= 0,02155 \text{ m}^3 / \text{s}\end{aligned}$$

- Massa Alir

$$\begin{aligned}\dot{m} &= \rho_a CMA_a V_a Y \\ &= 0,08922 \cdot 0,65 \cdot 1,0328 \cdot 0,000792 \cdot 46,7255 \cdot 0,8677 \\ &= 0,00192327 \text{ kg/s}\end{aligned}$$

- Massa alir rata-rata selama proses

$$\begin{aligned}\dot{m}_{\text{avg}} &= 0,0002471 \text{ kg/s} \\ &= 0,8896 \text{ kg/jam}\end{aligned}$$

4.2.3 Kadar air

- Menghitung kadar air buah, MC_1 (%)

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

- Menghitung kadar air hasil penggorengan, MC_2 (%)

$$\begin{aligned}MC_2 &= \frac{m_{bhi2} - m_{bho}}{m_{bhi2}} \times 100\% \\ &= \frac{1,09 - 0,7}{1,09} \times 100\% \\ &= 35,78 \%\end{aligned}$$

- Menghitung kadar air yang menguap, MC_3 (%)

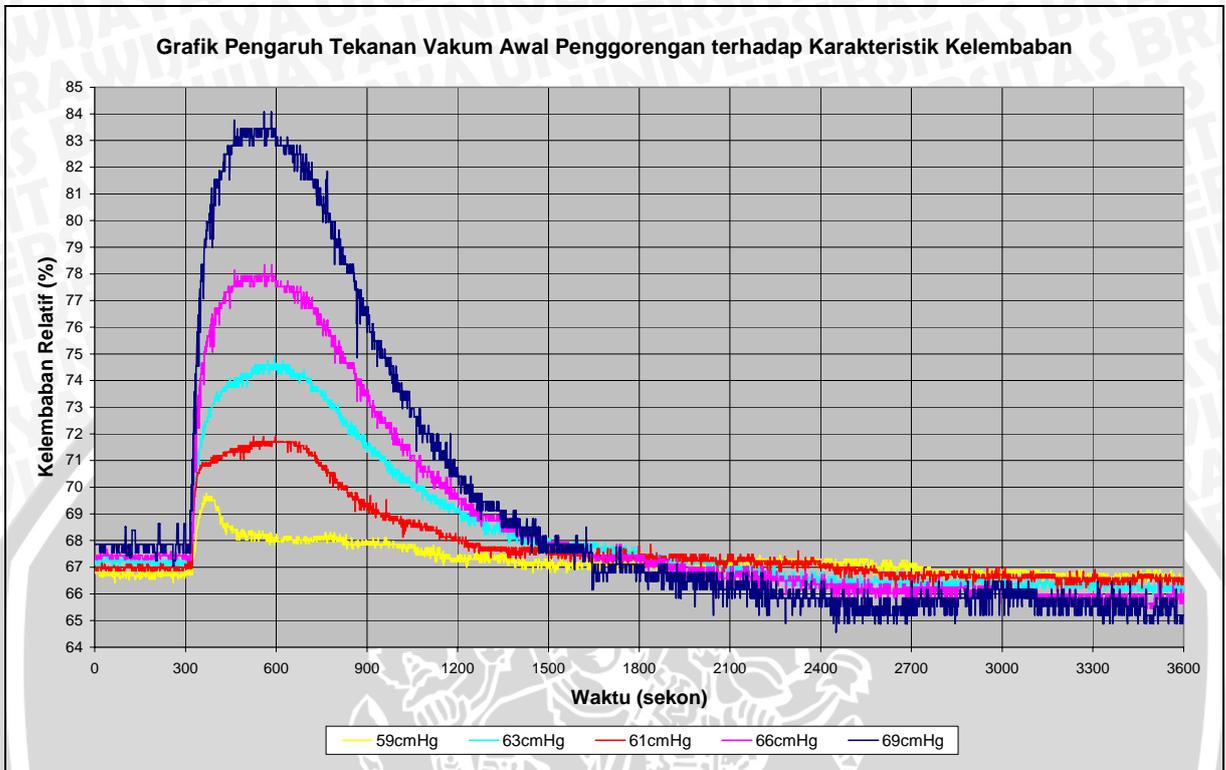
$$\begin{aligned}MC_3 &= \frac{(m_{bhi1} - m_{bho}) - (m_{bhi2} - m_{bho})}{(m_{bhi1} - m_{bho})} \times 100\% \\ &= \frac{(5 - 0,7) - (1,09 - 0,7)}{(5 - 0,7)} \times 100\% \\ &= 90,93 \%\end{aligned}$$

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



4.3 Pembahasan

4.3.1 Karakteristik Kelembaban pada Mesin Penggorengan Vakum untuk Berbagai Variasi Tekanan Vakum Awal Penggorengan.

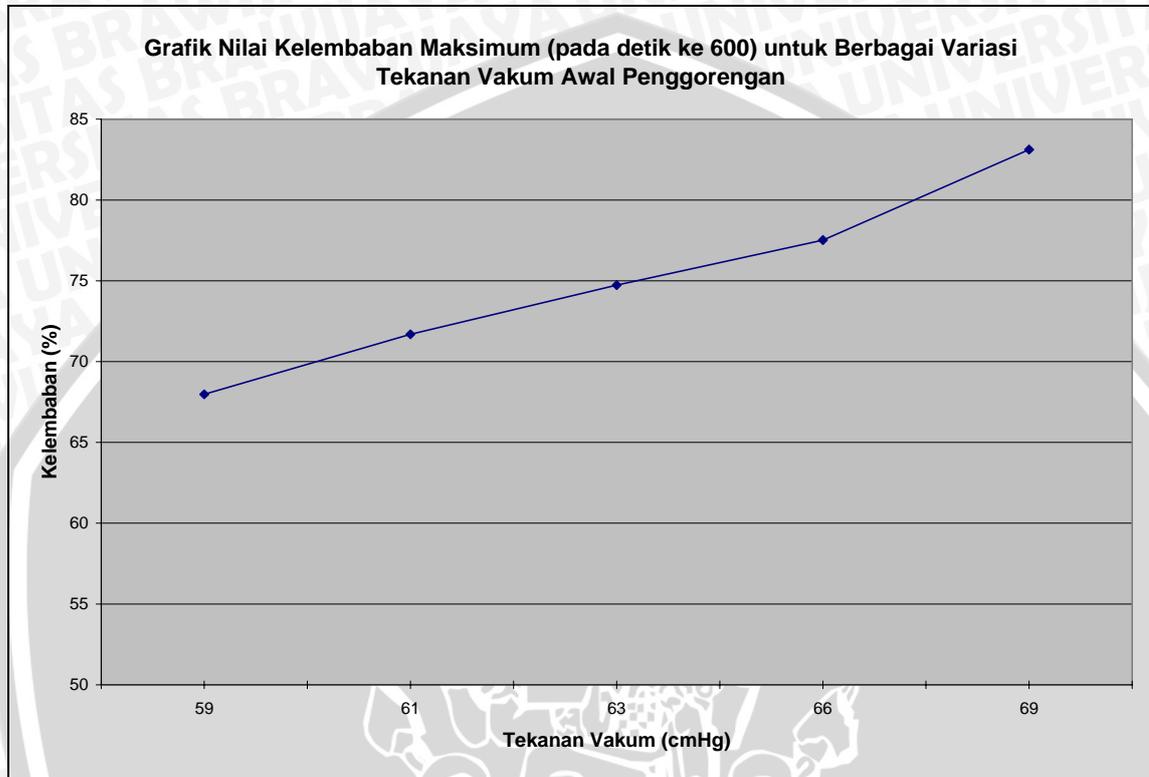


Gambar 4.2 : Grafik pengaruh tekanan vakum awal Penggorengan terhadap karakteristik kelembaban

Pada gambar 4.2 terlihat bahwa nilai kelembaban tertinggi untuk masing-masing variasi terjadi pada detik ke-350 hingga detik ke-650. Pada rentang waktu tersebut terlihat bahwa tekanan vakum awal penggorengan 69 cmHg menghasilkan nilai kelembaban tertinggi yaitu 83,4430 %, sedangkan tekanan vakum awal penggorengan 59 cmHg menghasilkan nilai kelembaban terendah yaitu 69,6364 %. Pada akhir penggorengan nilai kelembaban terendah diperoleh untuk tekanan vakum awal penggorengan 69 cmHg dan nilai kelembaban tertinggi diperoleh untuk tekanan vakum awal penggorengan 59 cmHg. Hal ini disebabkan pada awal penggorengan, kondisi yang lebih vakum menyebabkan temperatur uap jenuh semakin rendah sehingga air yang terkandung dalam buah lebih mudah menguap yang menyebabkan uap air yang terbentuk lebih banyak. Namun pada akhir penggorengan, untuk kondisi yang lebih vakum nilai kelembabannya lebih rendah, hal ini disebabkan karena kandungan air yang terkandung dalam buah telah menipis. Demikian pula sebaliknya, untuk kondisi tekanan vakum penggorengan rendah, uap yang dihasilkan lebih sedikit pada awal

penggorengan, namun pada akhir penggorengan nilai kelembabannya lebih tinggi, hal ini disebabkan kandungan air dalam buah masih cukup banyak.

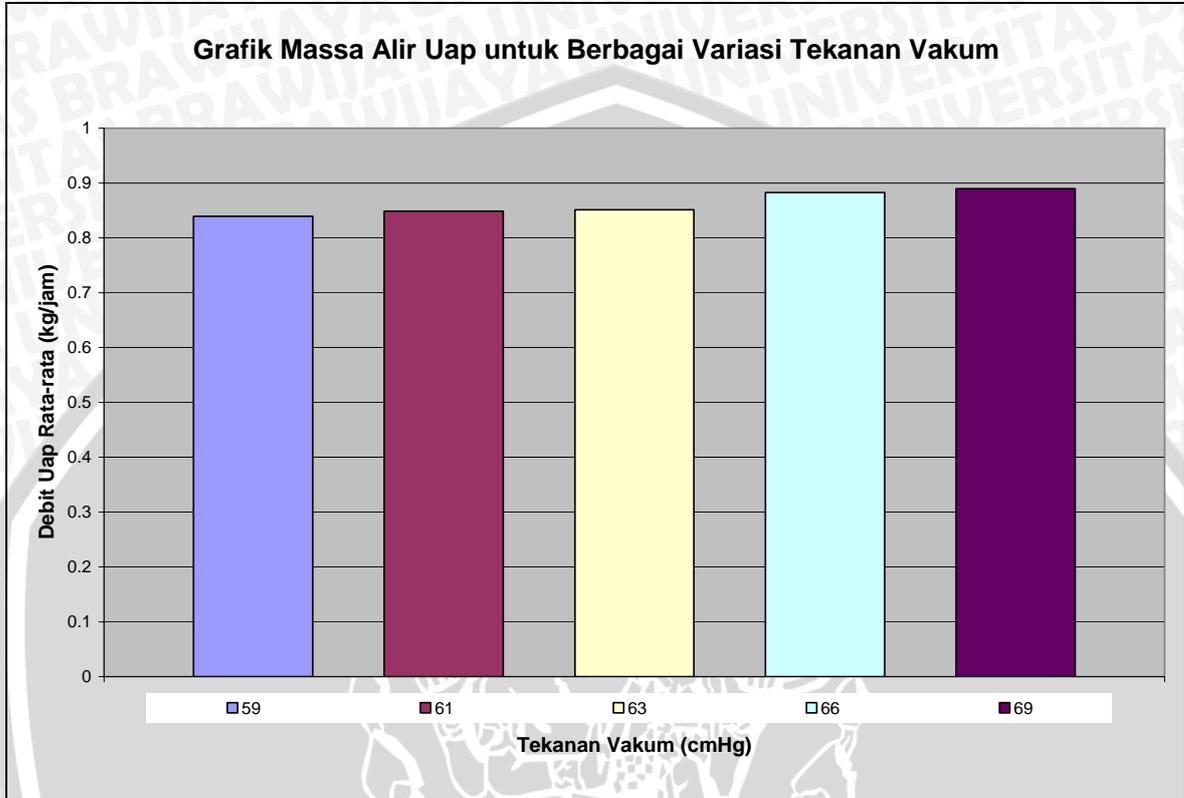
4.3.2. Kelembaban Maksimum untuk Berbagai Variasi Tekanan Vakum Awal Penggorengan.



Gambar 4.3 : Nilai kelembaban maksimum untuk berbagai variasi tekanan vakum awal penggorengan

Pada gambar 4.3 tersebut di atas terlihat bahwa semakin tinggi tekanan vakum maka nilai kelembaban maksimumnya juga semakin besar. Nilai kelembaban maksimum tersebut diperoleh pada detik ke-600, yang menunjukkan bahwa pada detik ke-600 merupakan waktu optimal yang terjadi selama proses penggorengan berlangsung. Nilai kelembaban maksimum pada detik ke-600 untuk variasi tekanan vakum awal penggorengan 59 cmHg, 61 cmHg, 63 cmHg, 66 cmHg, dan 69 cmHg berturut-turut adalah 67,974 %, 71,6896 %, 74,7345312 %, 77,520332 %, dan 83,1255 %. Hal ini disebabkan untuk tekanan vakum yang lebih tinggi maka temperatur uap jenuhnya semakin rendah sehingga kandungan air dalam buah lebih mudah menguap yang menyebabkan uap air yang terbentuk semakin banyak. Hal ini menyebabkan kelembaban pada ruang penggorengan semakin tinggi dan mencapai nilai kelembaban tertinggi pada detik ke-600.

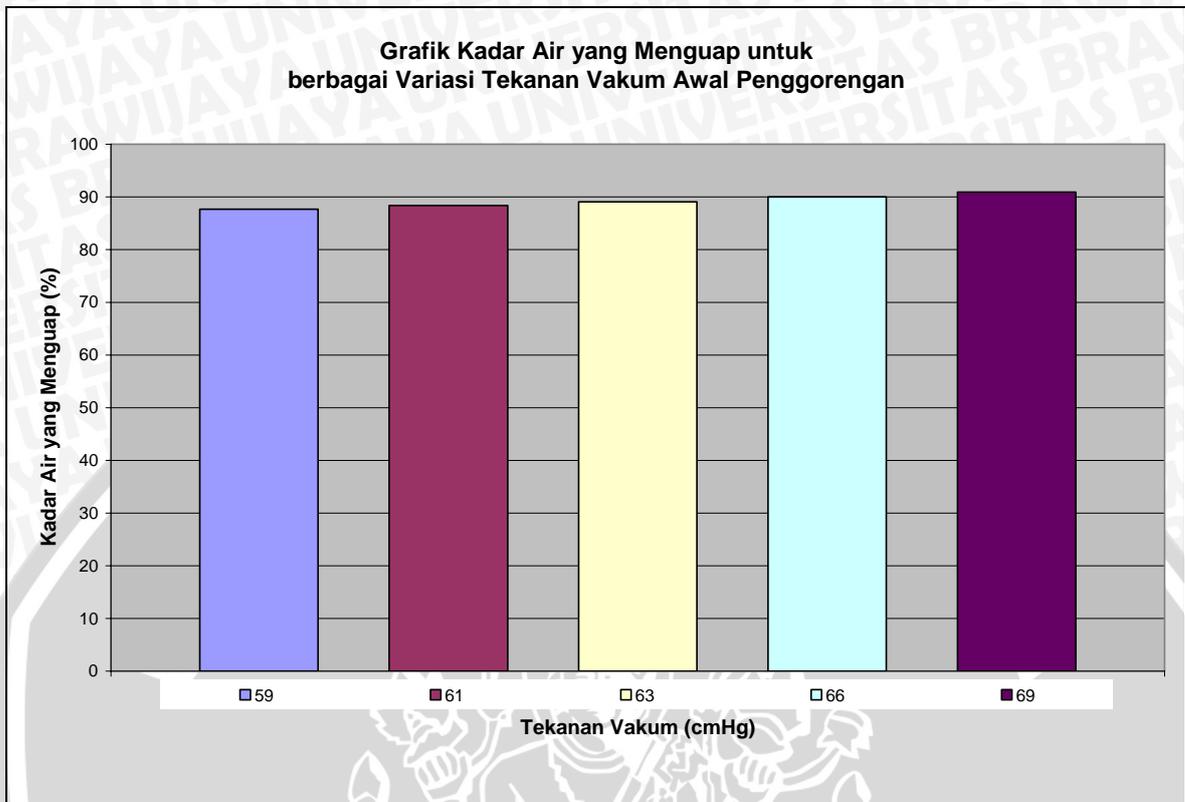
4.3.3. Massa Alir Uap untuk Berbagai Variasi Tekanan Vakum Awal Penggorengan



Gambar 4.4 : Diagram batang massa alir uap untuk berbagai variasi tekanan vakum awal penggorengan

Pada gambar 4.4 terlihat bahwa nilai tertinggi untuk massa alir uap air di orifis adalah 0,8896 kg/jam pada tekanan vakum awal penggorengan 69cmHg dan terendah pada 0,8391 kg/jam pada tekanan vakum awal penggorengan 59cmHg. Hal ini disebabkan semakin tinggi tekanan vakum awal penggorengan, massa uap air yang dihasilkan semakin besar, sehingga massa uap air yang terhisap melalui orifis juga semakin besar. Demikian pula sebaliknya, semakin rendah tekanan vakum awal penggorengan, massa uap air yang dihasilkan semakin kecil, sehingga massa uap air yang terhisap melalui orifis juga semakin kecil. Nilai massa alir uap air di orifis untuk variasi tekanan vakum awal penggorengan 61 cmHg, 63cmHg, 66cmHg berturut-turut adalah 0,8486 kg/jam, 0,8511 kg/jam dan 0,8826 kg/jam.

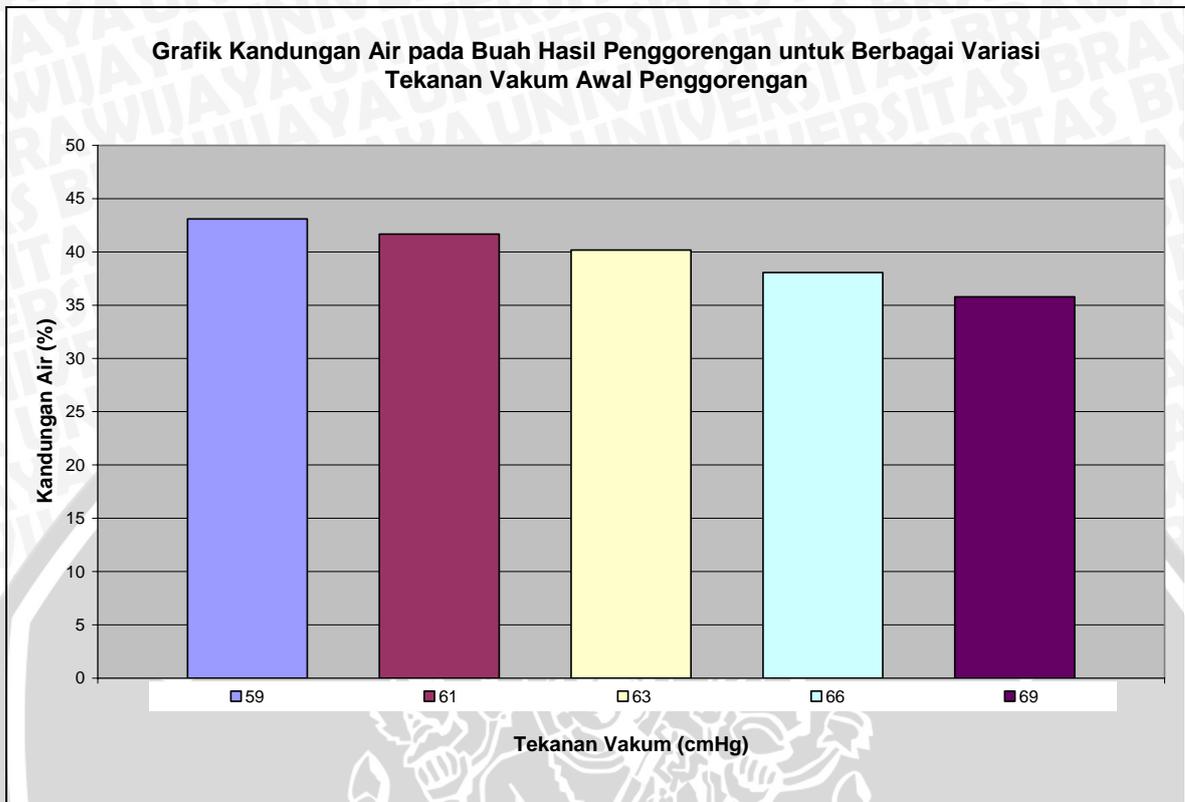
4.3.4. Kadar Air yang Menguap untuk Berbagai Variasi Tekanan Vakum Awal Penggorengan



Gambar 4.5 : Diagram batang kadar air yang diuapkan untuk berbagai variasi tekanan vakum awal penggorengan

Pada gambar 4.5 terlihat bahwa semakin besar tekanan vakum penggorengan maka kadar air yang menguap semakin besar. Nilai kadar air yang menguap tertinggi diperoleh pada tekanan vakum awal penggorengan 69cmHg yaitu 90,93 %. Sedangkan Nilai kadar air yang menguap terendah diperoleh pada tekanan vakum awal penggorengan 59cmHg yaitu 87,67 %. Hal ini disebabkan pada tekanan vakum penggorengan yang lebih tinggi, temperatur saturasinya lebih rendah sehingga air dalam bahan goreng lebih mudah menguap. Nilai kadar air yang menguap untuk variasi tekanan vakum awal penggorengan 61cmHg, 63cmHg, 66cmHg berturut-turut adalah 90 %, 89,07 % dan 88,37 %

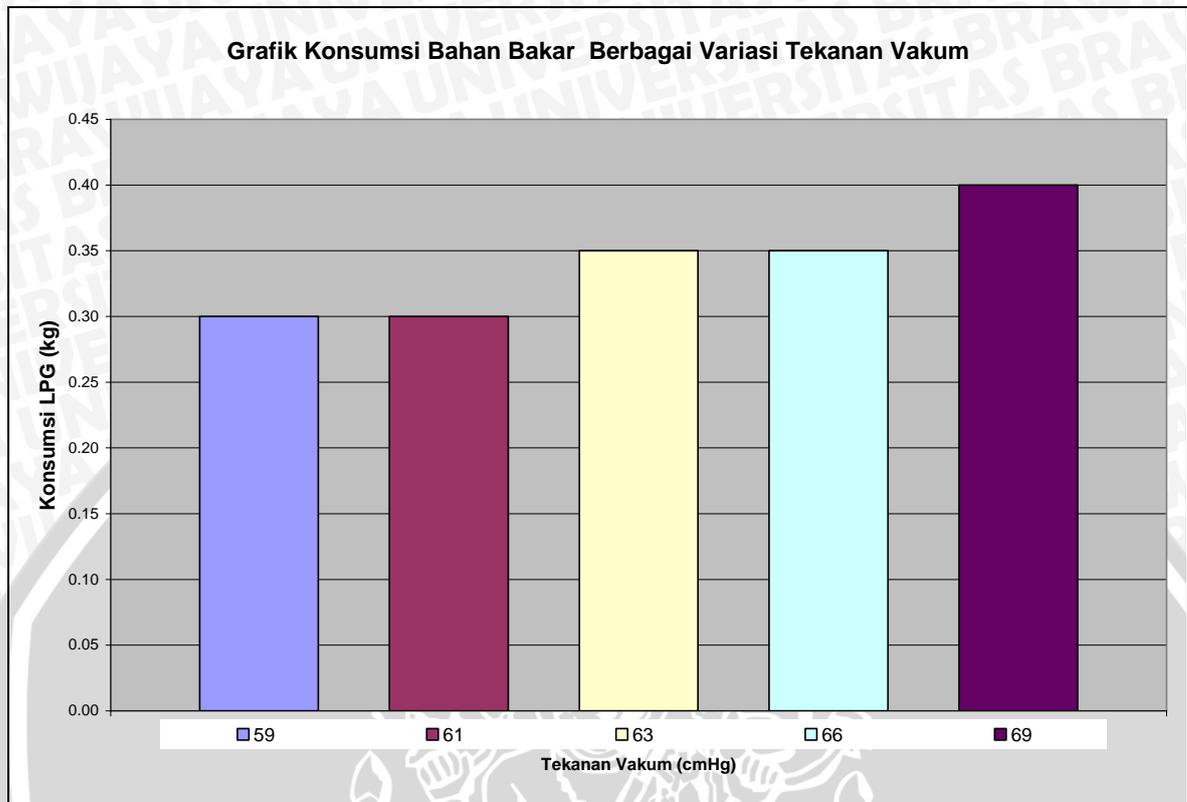
4.3.5. Kandungan Air pada Buah Hasil Penggorengan dengan Berbagai Variasi Tekanan Vakum Awal Penggorengan



Gambar 4.6 : Diagram batang kandungan air pada buah hasil penggorengan untuk berbagai variasi tekanan vakum awal penggorengan

Pada Gambar 4.6 terlihat bahwa semakin tinggi tekanan vakum awal penggorengan maka tekanan vakum penggorengan, semakin rendah kandungannya. Nilai kandungan air terendah diperoleh pada tekanan vakum awal penggorengan 69cmHg dengan nilai 35,78 %. Sedangkan nilai kandungan air tertinggi pada tekanan vakum awal penggorengan 59cmHg dengan nilai 43,09 %. Hal ini disebabkan karena pada proses penggorengan dengan tekanan vakum awal yang lebih tinggi mengakibatkan massa air dalam buah yang diuapkan lebih banyak. Nilai kandungan air pada buah hasil penggorengan untuk variasi tekanan vakum awal penggorengan 61cmHg, 63cmHg, 66cmHg berturut-turut adalah 41,67 %, 40,17 % dan 38,05 %

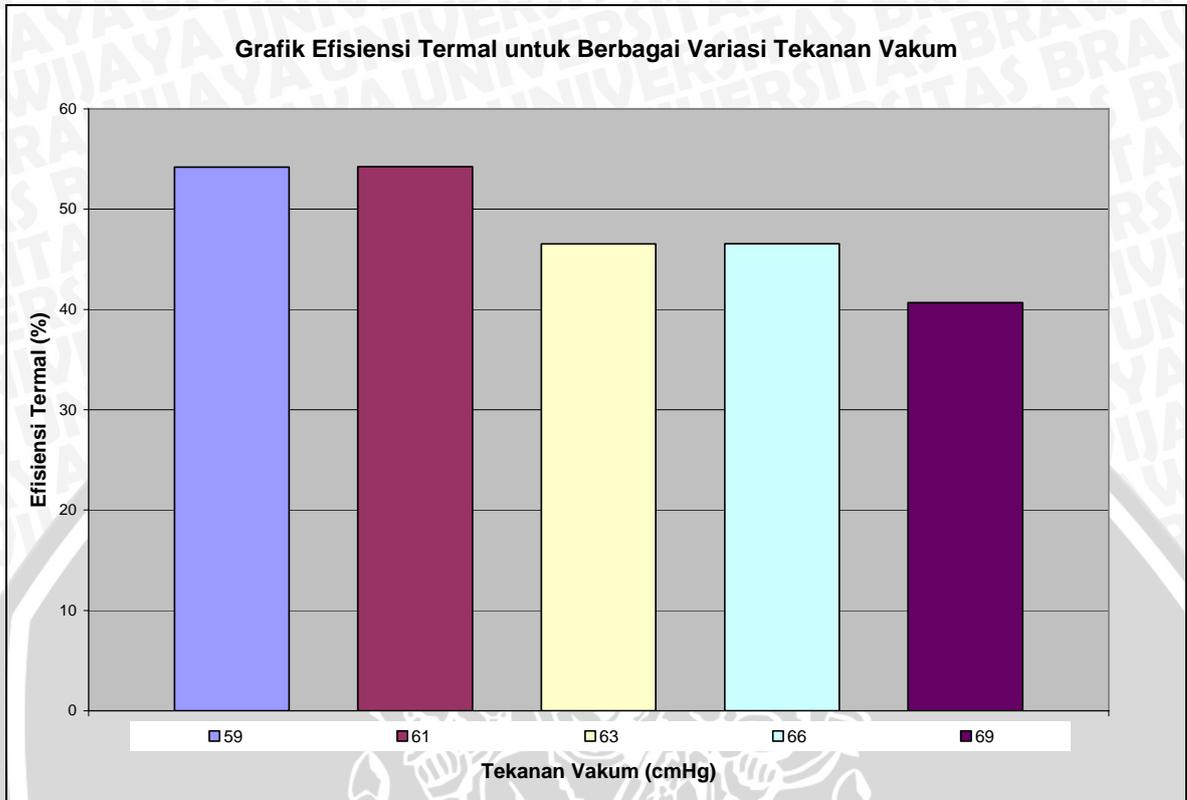
4.3.6. Konsumsi Bahan Bakar untuk Berbagai Variasi Tekanan Vakum Awal Penggorengan



Gambar 4.7 : Diagram batang konsumsi bahan bakar berbagai variasi tekanan vakum

Pada gambar 4.7 terlihat bahwa untuk berbagai variasi tekanan vakum konsumsi LPG-nya cenderung meningkat jika tekanan vakumnya lebih tinggi. Hal ini disebabkan pada kondisi penggorengan yang lebih vakum, massa uap air yang dihasilkan semakin banyak yang berakibat turunnya temperatur minyak goreng. Akibat menurunnya temperatur minyak goreng, maka panas yang dibutuhkan semakin meningkat untuk menjaga temperatur minyak goreng tetap pada kondisi yang telah ditentukan (82°C). Konsumsi bahan bakar (LPG) untuk variasi tekanan vakum awal penggorengan 61 cmHg, 63cmHg, 66cmHg berturut-turut adalah 0,3 kg, 0,35 kg dan 0,35 kg.

4.3.7. Efisiensi Termal untuk Berbagai Variasi Tekanan Vakum Awal Penggorengan.



Gambar 4.8 : Diagram batang efisiensi termal untuk berbagai variasi tekanan vakum

Pada gambar 4.8 terlihat bahwa efisiensi tertinggi dicapai untuk tekanan vakum awal penggorengan 59 cmHg dengan nilai 54,2027 %, sedangkan nilai efisiensi terendah dicapai untuk tekanan vakum awal penggorengan 69 cmHg. Nilai efisiensi termal sangat dipengaruhi oleh konsumsi bahan bakar, semakin tinggi konsumsi bahan bakarnya, semakin rendah efisiensi termalnya. Nilai efisiensi termal untuk variasi tekanan vakum awal penggorengan 61 cmHg, 63cmHg, 66cmHg, 69cmHg berturut-turut adalah 54,2418%, 46,5374 %, 46,5443 % dan 40,6942 %

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Variasi tekanan vakum penggorengan berpengaruh pada jumlah uap yang dihasilkan sehingga berpengaruh terhadap kelembaban pada ruang penggorengan.
2. Mesin penggorengan vakum dengan tekanan vakum penggorengan 69cmHg menghasilkan nilai kelembaban yang paling besar yaitu 83,4430 % yang berarti mesin penggorengan ini mampu melepaskan kandungan air dalam bahan goreng paling banyak. Sedangkan untuk variasi tekanan vakum 66cmHg, 63cmHg, 61cmHg dan 59cmHg menghasilkan nilai kelembaban maksimum berturut-turut yaitu 78.3369 %, 74.6345 %, 71.7168 % dan 69.6364 %.

5.2 Saran

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh jumlah ejektor terhadap kevakuman *frying chamber*.
2. Dalam pengukuran debit uap air sebaiknya dilakukan dengan alat ukur dengan ketelitian yang lebih baik, 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. *Thermodynamic Pressure Scales*. <http://www.engineersedge.com>
- 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 Jenuh 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

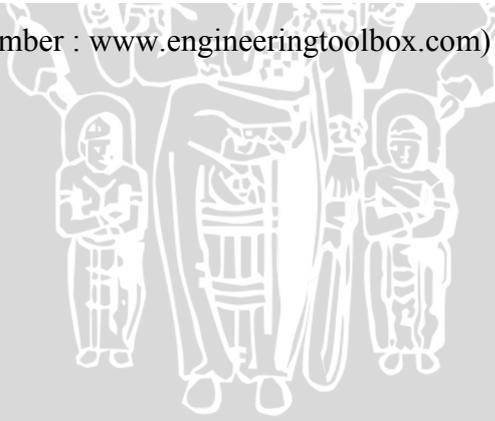
(Sumber : www.engineeringtoolbox.com)

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		
<u>LPG</u> (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)