

Perancangan Mesin Pengering Beku Vakum (*Vacuum Freeze Dryer*) Bengkuang

Awaludin Martin, Romy, Awal Januari S

Laboratorium Konversi Energi

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Riau Kampus Bina Widya Km.12,5 Simpang Baru Pekanbaru 28293

E-mail : djounero@gmail.com

Abstrak

Salah satu daerah penghasil bengkuang di Propinsi Riau adalah Desa Bukit Payung Kecamatan Bangkinang Seberang, Kabupaten Kampar. Pemanfaatan bengkuang masih terbatas dan mempunyai beberapa kelemahan diantaranya ialah daya tahan bengkuang segar tidak lama yaitu ± 5 hari, pemasaran tidak bisa menyebar luas, dan nilai jualnya rendah sehingga pada saat panen raya para petani bengkuang akan mengalami kerugian besar. Untuk itu diperlukan suatu penelitian yang berkaitan dengan teknologi pascapanen agar bengkuang tersebut dapat lebih tahan lama, mudah dipasarkan dan ditransportasikan serta memiliki harga jual yang relatif lebih tinggi. Tulisan ini merupakan perancangan alat yang berkaitan dengan teknologi pascapanen bengkuang dimana bengkuang akan diawetkan dengan menggunakan metode pengeringan beku pembekuan vakum (*vacuum freeze drying*). Bengkuang kering yang dihasilkan dapat dimanfaatkan sebagai bahan campuran pembuatan kosmetika, obat herbal, dan lain-lain. Proses perancangan mesin pengering beku bengkuang dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Teknik Mesin Universitas Riau, mesin pengering yang dirancang terdiri dari ruang pengering dan sistem refrigerasi. Bengkuang yang akan dikeringkan sebanyak 1kg dimana sistem pembekuannya menggunakan daur kompresi uap yang menggunakan R134a sebagai refrigeran. Waktu pembekuan cepat (20 menit) dengan suhu dan tekanan dibawah *triple point* dalam diagram fasa air. Ruang pengering yang direncanakan berbentuk silindris dengan diameter 30 cm dan panjang 30 cm. Temperatur akhir bahan dalam ruang pengering yang diharapkan ialah -18°C dengan tekanan vakum direncanakan 10 Pa atau 0,1 mbar. Dalam perancangan dihasilkan rancangan evaporator dengan panjang total pipa 4,22 m dan rancangan kondensor dengan panjang total pipa 15,09 m. Untuk mendinginkan kondensor digunakan kipas motor yang kapasitasnya disesuaikan dengan kecepatan udara yaitu $0,08 \text{ m}^3/\text{s}$. Dari hasil perhitungan kompresor yang digunakan ialah kompresor dengan daya 0,5 hp.

Keywords : Bengkuang, *Vacuum Freeze Drying*, Sistem Refrigerasi, Refrigeran R134a.

Pendahuluan

Bengkuang (*Pachyrrhizus erosus*) merupakan tumbuhan semak semusim yang tumbuh membelit. Menurut Yuli Puji Rahayu salah satu daerah penghasil komoditi bengkuang di Propinsi Riau adalah Desa Bukit Payung Kecamatan Bangkinang Seberang, Kabupaten Kampar. Ciri-ciri bengkuang adalah umbi berakar tunggal, kulit luar berwarna krem atau cokelat, warna daging putih, daunnya majemuk, bunganya berkelopak dan berwarna cokelat, sedangkan mahkota bunganya berwarna ungu, biru atau putih. Tumbuhan ini berasal dari Amerika tropis dan termasuk dalam suku polong-polongan atau *Fabaceae*. Bengkuang mempunyai rasa khas dengan kadar air yang sangat tinggi yaitu 85,75 %.

Selain rasa manis, bengkuang juga mampu

memberikan rasa segar saat dimakan. Pemanfaatan hasil panen bengkuang saat ini umumnya masih terbatas dikonsumsi sebagai buah segar, rujak, maupun asinan. Pemanfaatan seperti ini mempunyai beberapa kelemahan diantaranya daya tahan bengkuang segar tidak lama (± 5 hari), pemasaran tidak bisa menyebar luas, dan nilai jualnya rendah sehingga keuntungan juga rendah dan pada saat panen raya dapat menyebabkan petani mengalami kerugian besar.

Menurut Angwar beberapa hal yang menimbulkan kerusakan pada bengkuang antara lain terjadinya fermentasi yang mengakibatkan pembusukan oleh bakteri atau jamur, serta proses enzimatik dalam umbi bengkuang menyebabkan bengkuang susut atau keriput dan mengalami kehilangan nutrisi. Oleh karena itu diperlukan suatu penanganan berupa teknologi pengolahan pascapanen bengkuang menjadi produk yang lebih awet. Dengan demikian,

akan dapat menambah nilai jual bengkuang. Teknologi pengolahannya dapat dilakukan dengan mengolah buah bengkuang menjadi produk olahan yang lebih menarik dan memiliki daya tahan lama seperti dikalengkan, dibuat manisan, tepung, keripik, sari umbi, produk kosmetik untuk kesehatan kulit dan lain-lain yang belum dilakukan.

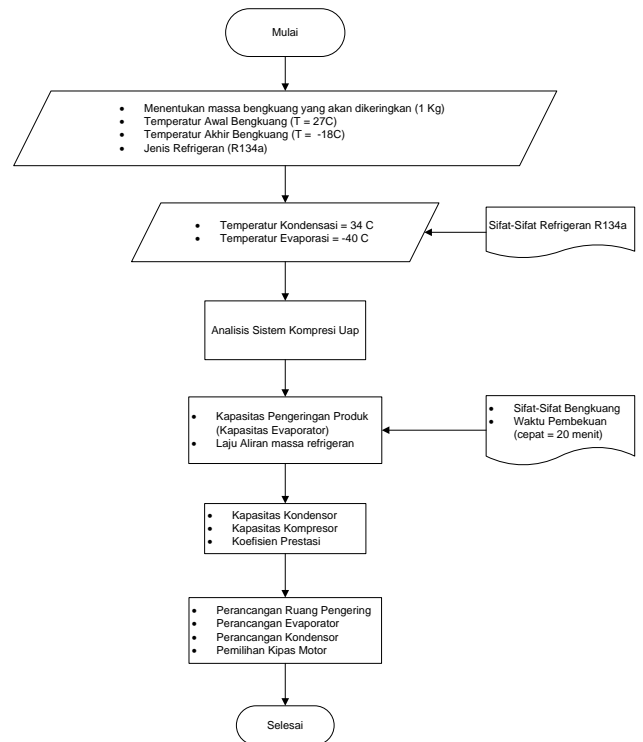
Teknologi pengolahan pascapanen bengkuang dengan cara pengawetan menggunakan metode pengeringan beku pembekuan vakum masih belum pernah dilakukan walaupun metode ini memiliki prospektif yang baik untuk diterapkan. Metode pengawetan ini memang masih terbilang baru dalam bidang industri pengolahan bahan pangan. Untuk itu, dilakukan penelitian yang menghasilkan perancangan mesin pengeringan beku vakum bengkuang.

Metode pengeringan beku pembekuan vakum merupakan metode yang menakjubkan seperti yang dijelaskan oleh Liapis dan Bruttini, 1995; Martinez et al., 2001; Horadczyk dan Viernstein, 2004 dalam Julian Arlisdianto, 2012, dimana pengeringan beku diakui sebagai metode pengeringan terbaik tetapi sangat intensif energi. Pengeringan beku pembekuan vakum bengkuang ini bertujuan untuk mengatasi masalah daya simpan bengkuang yang tidak tahan lama terkait kadar airnya yang tinggi, memperluas daerah distribusinya, dan meningkatkan nilai jualnya.

Kegunaan hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan informasi dan bahan pertimbangan bagi para petani dan industri-industri pengolahan bengkuang untuk teknik pengawetan bengkuang, teknologi proses penanganan pascapanen bengkuang sebelum dijadikan produk olahan sehingga dapat memperluas daerah distribusinya dan dapat meningkatkan nilai jual bengkuang. Disamping itu kegunaan hasil penelitian ini yakni diharapkan metode pengeringan beku vakum yang efisien dapat dikembangkan dan lebih diterapkan untuk berbagai macam produk lainnya, khususnya bahan pangan/hasil pertanian khas tropik Indonesia.

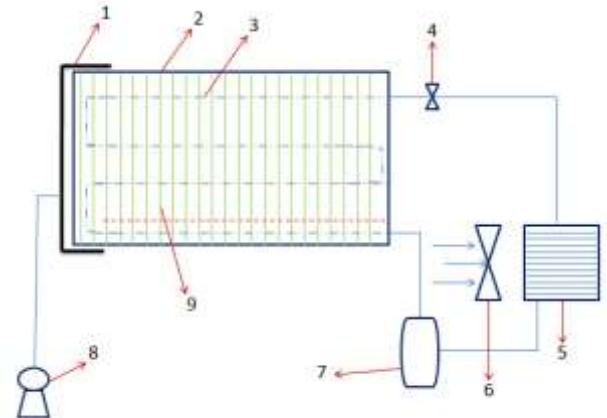
Metode

Proses perancangan mesin pengering beku vakum bengkuang dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Riau. Mesin pengering beku vakum yang dirancang terdiri dari dua komponen utama yakni ruang pengering dan sistem kompresi uap. Dalam perancangan sistem kompresi uap yang dirancang ialah evaporator dan kondensor. Adapun diagram alir perancangan mesin pengering beku vakum bengkuang yakni seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Perancangan Alat Pengering Beku

Skema gambar mesin pengering beku vakum bengkuang yang dirancang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema Rancangan Alat Pengering Beku Bengkuang; 1. Pintu Ruang Pengering, 2. Ruang Pengering, 3. Evaporator, 4. Katup Ekspansi, 5. Kondensor, 6. Kipas Motor, 7. Kompresor, 8. Pompa Vakum, 9. Isolator.

Pada perancangan alat pengering beku vakum bengkuang untuk mengeringkan 1 kg bengkuang, mesin pengering beku vakum yang dirancang menurut jenis ruang pengeringnya ialah tipe *Shelf Freeze Dryer* sedangkan menurut ukuran dan penggunaannya ialah tipe *Laboratory Bench-Top Freeze Dryer*.

Bahan yang digunakan ialah bengkuang. Adapun karakteristik bengkuang seperti yang ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Bengkuang

No	Parameter	Nilai Rataan
1.	Sifat Fisik	
a.	Bebot buah/tumbu (gram)	594,92
b.	Kulit ubah (%)	3,87
c.	Daging buah (%)	96,13
2.	Sifat Kimiawi	
a.	Kadar air (%)	85,75
b.	Total Padatan Terlarut (°Brix)	5,80
c.	Total Asam (%)	0,28
d.	Vitamin C (%)	0,02
e.	P (ppm)	73,84
f.	Ca (ppm)	139,20
g.	Mg (ppm)	68,44
h.	K (ppm)	632,20
i.	Zn (ppm)	4,23
j.	Fe (ppm)	66,76

Belyamin dan Julian Arlisdianto telah berhasil melakukan pengeringan beku lidah buaya (*aloevera*) yang mengandung kadar air sebesar 98,7%. Isti Pujihastuti telah melakukan pengeringan beku tomat yang mengandung kadar air sebesar 93,4%. L. G Marques and J. T Freire, telah melakukan pengeringan beku nenas yang mengandung kadar air sebesar 85,30%. Kiman Siregar, telah melakukan kajian pengeringan beku dengan pembekuan vakum terhadap daging buah durian yang mengandung kadar air sebesar 60,82%. Yulia Lisnawati dan Armansyah H Tambunan telah melakukan kajian dan simulasi karakteristik pengeringan beku daging sapi giling, yang mengandung kadar air sebesar 60%.

Data awal yang diperlukan dalam perancangan alat pengering beku vakum ialah massa bahan, sifat fisik bahan, jenis refrigeran, waktu pembekuan.

Dalam perancangan alat pengering beku vakum, analisis sistem kompresi uap dilakukan untuk mengetahui kapasitas evaporator, kondensor, kompresor, dan koefisien prestasi.

Untuk menghitung total jumlah kalor yang dibutuhkan untuk mendinginkan produk ialah melalui penjumlahan panas yang dihasilkan sebelum beku, panas yang dihasilkan sesudah beku, dan panas laten bahan. Adapun persamaan yang digunakan ialah :

$$Q_{sbb} = m \cdot C_p \cdot \Delta t \quad (1)$$

$$Q_{ssb} = m \cdot C_p \cdot \Delta t \quad (2)$$

$$Q_l = m \cdot h_{fg} \quad (3)$$

$$Q_{produk} = \frac{Q_{total}}{t} \quad (4)$$

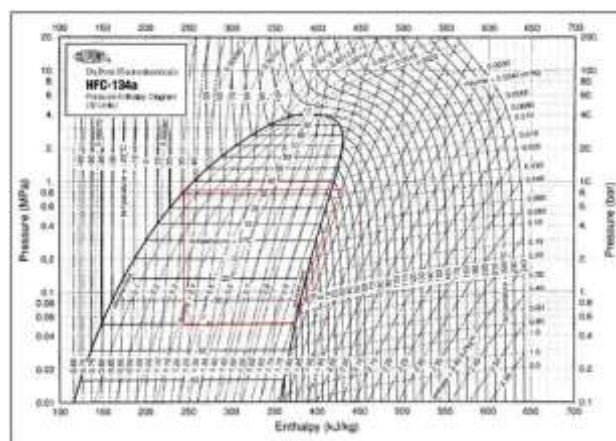
Dimana :

Q_{sbb} = panas yang dihasilkan sebelum beku

Q_{ssb} = panas yang dihasilkan sesudah beku

Q_l = panas laten bahan

Diagram P-h rancangan berdasarkan sifat-sifat refrigeran ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Diagram P-h Rancangan

Dalam perancangan sistem kompresi uap jumlah total kalor yang dibutuhkan untuk pengeringan sama dengan kapasitas evaporator sehingga untuk menghitung laju aliran massa refrigeran digunakan persamaan sebagai berikut:

$$m_{refrigeran} = \frac{Q_{evaporator}}{h_1 - h_4} \quad (5)$$

Laju perpindahan panas pada kondensor dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Q_{kondensor} = m_{refrigerant} (h_2 - h_3) \quad (6)$$

Sedangkan Laju perpindahan panas pada kompresor dihitung dengan persamaan berikut:

$$Q_{kompresor} = m_{refrigerant} (h_2 - h_1) \quad (7)$$

Koefisien Prestasi Siklus dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$COP_r = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (8)$$

Kecepatan aliran refrigeran dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$V_{refrigeran} = \frac{m_{refrigeran}}{\rho_{refrigeran} \times A_i} \quad (9)$$

Dalam perancangan sistem kompresi uap komponen yang dirancang ialah evaporator dan kondensor.

2.1. Perancangan Evaporator

Berikut adalah tahapan perancangan evaporator:

- 1) Panjang koil evaporator di asumsikan
- 2) Sifat fisik bahan (air) dihitung (dilihat pada tabel termodinamika).

- 3) Laju aliran massa bahan dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$m_w = \frac{Q_{\text{evaporator}}}{C_{p_w} (T_{in} - T_{out})} \quad (10)$$

- 4) Kecepatan aliran bahan dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$V_w = \frac{\dot{m}}{\rho} \quad (11)$$

- 5) Beda temperatur logaritmik dihitung dengan persamaan:

$$\Delta T_{lm} = \frac{(\Delta T_1 - \Delta T_2)}{\ln \left[\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right]} \quad (12)$$

- 6) Temperatur fluida rata-rata dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$T_{\text{rata-rata}} = \frac{T_i + T_o}{2} \quad (13)$$

- 7) Properties fluida dihitung berdasarkan temperatur fluida rata-rata.

- 8) Proses Penguapan Refrigeran.

Aliran refrigeran didalam pipa evaporator merupakan aliran dua fase. Pada saat masuk evaporator, persentase uap refrigeran rendah tetapi pada saat melewati bagian lebih dalam lagi persentase uapnya meningkat sehingga laju alirannya juga meningkat. Penguapan refrigeran disertai perpindahan panas dari lingkungan ke dalam refrigeran, dimana prosesnya kompleks. Kecepatan rata-rata aliran refrigeran dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$v_m = \frac{\dot{m}_{ref}}{\rho_{ref} \times A_i} \quad (14)$$

Angka Reynold,

$$R_e = \frac{v_m \times D_h}{\nu} \quad (15)$$

Koefisien konveksi rata-rata pada sisi refrigeran

$$h_i = \frac{K}{D_h} N_u \quad (16)$$

- 9) Proses konveksi paksa pada sisi air
Kecepatan rata-rata aliran air dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$V_m = \frac{\dot{m}}{\rho A_h} \quad (17)$$

Angka Reynold, Koefisien konveksi rata-rata pada sisi air.

$$h_o = C_1 C_2 \frac{K_w}{D_o} R_e^m P_r^{0,36} \left(\frac{P_r}{P_{rs}} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (18)$$

- 10) Koefisien perpindahan panas menyeluruh dihitung menggunakan persamaan:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}} \quad (19)$$

- 11) Luas permukaan evaporator dihitung menggunakan persamaan:

$$Q = U A_s F \Delta T_{lm} \quad (20)$$

- 12) Penghitungan faktor pengotoran

Penggunaan evaporator secara normal sering mengalami faktor pengotoran akibat endapan kotor atau korosi yang dapat menyebabkan meningkatnya tahanan perpindahan panas diantara fluida kerjanya. Adapun nilai faktor pengotoran terdapat pada tabel 2.

Tabel 2. Faktor Pengotoran Fluida

Jenis Fluida	Faktor Pengotoran	
	ft ² ·F/Btu	m ² ·C/W
Air laut di bawah 125°F	0,0005	0,00009
Air laut di atas 125°F	0,001	0,002
Air umpan ketel yang diolah	0,001	0,0002
Minyak bakar	0,005	0,0009
Minyak celup	0,004	0,0007
Uap alkohol	0,0005	0,00009
Uap (tidak mengandung minyak)	0,0005	0,0009
Udara industri	0,002	0,0004
Zat cair pendingin	0,001	0,0002

Perhitungan faktor pengotoran dihitung dengan menggunakan persamaan 21.

$$R = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{R_{fi}}{A_i} + \frac{\ln(D_o / D_i)}{2\pi K L} + \frac{R_{fo}}{A_o} + \frac{1}{h_o A_o} \quad (21)$$

- 13) Total dimensi evaporator dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$A_s = \frac{Q}{\frac{1}{R A_o} \Delta T_{lm}} \quad (22)$$

$$L_{\text{total}} = \frac{A_s}{\pi D} \quad (23)$$

2.2. Perancangan Kondenser

Berikut adalah tahapan perancangan perancangan kondensor ialah sebagai berikut :

- 1) Panjang koil kondensor di asumsikan
- 2) Kipas motor digunakan sebagai alat pendingin dimana udara sebagai media pendinginnya, diasumsikan kenaikan temperatur dari 27°C menjadi 30°C. Pemilihan kapasitas kipas disesuaikan dengan kecepatan aliran udara, sedangkan untuk *blade*-nya disesuaikan dengan luas penampang kondensor dan ketinggiannya. Luas penampang kondensor yang direncanakan ialah 0,15 x 0,45 m².
- 3) Sifat fisik udara dihitung (dilihat pada tabel termodinamika)
- 4) Laju aliran massa udara dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$m_{udara} = \frac{Q_{kondensor}}{C_{p_{udara}} (T_{in} - T_{out})} \quad (24)$$

- 5) Kecepatan aliran udara dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$V_{udara} = \frac{\dot{m}}{\rho} \quad (25)$$

- 6) Beda temperatur logaritmik dihitung dengan persamaan 12.
- 7) Temperatur fluida rata-rata dihitung dengan menggunakan persamaan 13.
- 8) Properties fluida dihitung berdasarkan temperatur fluida rata-rata.
- 9) Proses Pengembunan Refrigeran. Angka Reynold kondensasi,

$$R_e = \frac{4m_{refrigeran}}{\pi D \mu_l} \quad (26)$$

Koefisien konveksi rata-rata pada sisi refrigeran Menggunakan persamaan 16.

- 10) Proses konveksi paksa pada sisi udara. Pipa kondensor disusun dengan pola selang-seling dengan jarak antar pipa sedemikian rupa. Kecepatan rata-rata aliran air dihitung dengan menggunakan persamaan:

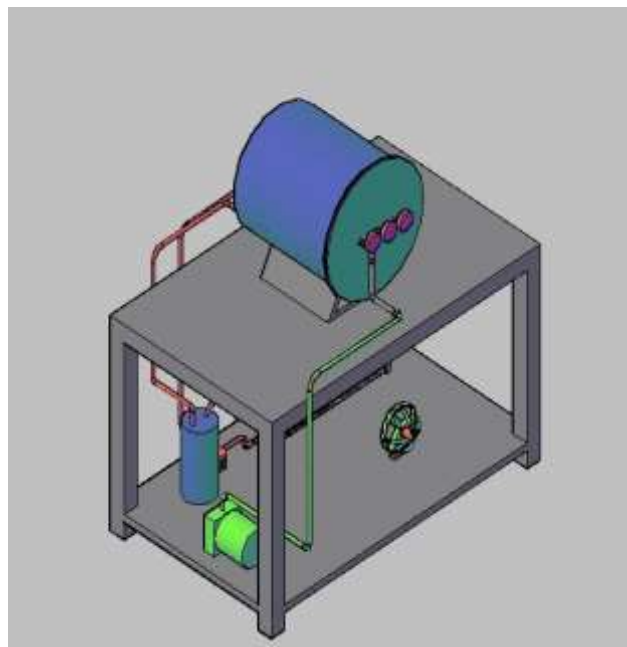
$$V_{udara} = \frac{\dot{m}}{\rho A_h} \quad (27)$$

Angka Reynold dihitung dengan menggunakan persamaan 15, Koefisien konveksi rata-rata pada sisi udara dihitung dengan menggunakan persamaan 16.

- 11) Koefisien perpindahan panas menyeluruh dihitung menggunakan persamaan 19.
- 12) Dimensi kondensor dihitung menggunakan

persamaan 20, 21, 22 dan 23.

Adapun gambar perancangan mesin pengering beku vakum bengkuang seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Perancangan Mesin Pengering Beku Vakum Bengkuang

Hasil dan Pembahasan

Mesin pengering beku vakum bengkuang dirancang berdasarkan massa bahan (bengkuang) yang akan dikeringkan yaitu sebanyak 1 kg, waktu pembekuan cepat yakni selama 20 menit dan menggunakan siklus kompresi uap untuk sistem pembekuannya dimana refrigeran R134a merupakan refrigeran alternatif yang digunakan. Asumsi temperatur awal bahan ialah 27°C dan temperatur akhir bahan yang diharapkan -18°C, tekanan akhir yang diharapkan dalam ruang pengering ialah 0,1 mbar. Temperatur evaporasi refrigeran R134a ialah -40°C dan temperatur kondensasinya yaitu 34°C. Panas yang dibutuhkan untuk mengeringkan produk ialah sebesar 0,35 kW. Dari hasil analisis sistem kompresi uap dihasilkan rancangan sistem kondensasi dimana kapasitas evaporator diasumsikan sama dengan panas yang dibutuhkan untuk mengeringkan produk. Kapasitas kondensor sebesar 0,46kW, kapasitas kompresor 0,5 HP dan koefisien prestasinya 2,96. Ruang pengering direncanakan berbentuk silindris. Bahan yang digunakan ialah carbon steel berlapis galvanis. Ukuran ruang pengering yakni diameter 30 cm dan panjang 30 cm dengan ketebalan 4 mm. Pintu ruang pembeku ditempatkan disalah satu ujung silindris yang terbuat dari bahan acrylic agar kondisi

dalam ruangan pembeku saat proses pembekuan dapat dipantau.

Dalam perancangan evaporator, koil terbuat dari tembaga dengan diameter dalam (d_i) 8 mm dan diameter luar (d_o) 9,5 mm. Hasil rekapitulasi perancangan evaporator ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Perancangan Evaporator

No	Perancangan	Simbol	Hasil
1	Kapasitas evaporator	kW	0,3464
2	Laju aliran massa bahan	kg/s	0,00184
3	Kecepatan aliran bahan	m ³ /s	1,84x10 ⁻³
4	Beda temperatur rata-rata logaritmik	K	40,41
5	Koefisien penguapan refrigeran	W/m ² K	120,44
6	Koefisien konveksi paksa pada sisi air	W/m ² K	458,76
7	Koefisien perpindahan panas menyeluruh	W/m ² K	95,39
8	Panjang total koil evaporator	M	4,2

Direncanakan koil evaporator diletakkan diluar ruang pengering dan diisolasi. Dalam perancangan kondensor, koil terbuat dari tembaga dengan diameter dalam (d_i) 8 mm dan diameter luar (d_o) 9,5 mm. Koil disusun dengan pola selang-seling dengan jarak sedemikian rupa. Hasil rekapitulasi perancangan kondensor ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 4. Rekapitulasi Hasil Perancangan kondensor.

No	Perancangan	Simbol	Hasil
1	Kapasitas kondensor	kW	0,46
2	Laju aliran massa udara	kg/s	0,092
3	Kecepatan aliran udara	m ³ /s	0,078
4	Beda temperatur rata-rata logaritmik	K	11,34
5	Koefisien pengembunan refrigeran	W/m ² K	192,17
6	Koefisien konveksi paksa pada sisi udara	W/m ² K	406,82
7	Koefisien perpindahan panas menyeluruh	W/m ² K	130,52
8	Panjang total koil kondensor	M	15,1

Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat disimpulkan dari perancangan mesin pengering beku vakum bengkung antara lain ialah :

- 1) Hasil rancangan mesin pengering beku vakum yang diperoleh memiliki spesifikasi sebagai berikut :

Ruang Pengering (pembeku),

- Kapasitas = 1 kg/proses Bahan
- Panjang = 30 cm
- Diameter = 30 cm dalam
- Material = carbon steel berlapis galvanis
- Tebal = 3 mm
- Material = acrylic Penutup

Sistem Kompresi Uap,

- Refrigeran = R134a
- Q evaporator = 0,35 kW
- Q kondensor = 0,46 kW
- Q kompresor = 0,16 kW
- Koefisien prestasi = 2,96

- 2) Dari hasil perancangan evaporator dihasilkan rancangan dengan panjang total pipa 4,22 m dengan koefisien perpindahan panas menyeluruh 95,4 W/m²K. Untuk perancangan kondensor dihasilkan rancangan dengan panjang total pipa kondensor 15,09 m dengan koefisien perpindahan panas menyeluruh 130,52 W/m²K.

Untuk pengembangan penelitian selanjutnya sebaiknya panas buang kondensor dapat dimanfaatkan sebagai pemanas, kipas motor dirancang dan simulasi perancangan sebaiknya dibuat sebelum pembuatan alat. Diharapkan perancangan mesin pengering beku vakum dan metode pengeringan beku vakum yang efisien dapat lebih dikembangkan dan juga diterapkan untuk berbagai macam produk lainnya.

Nomenklatur

- m laju aliran massa (Kg/s)
- m massa bahan (kg)
- C_p panas spesifik (Kj/Kg K)
- T temperatur (K)
- Q laju aliran kalor (kW)
- h enthalphi (Kj/Kg)

v	kecepatan aliran (m/s)
ρ	massa jenis (Kg/m^3)
A	luas Penampang (m^2)
L	panjang (m)
P	tekanan (KPa)
K	konduktivitas termal (W/mK)
μ	viskositas dinamik (Kg/ms)
D	diameter (m)
U	koefisien perpindahan panas total ($\text{W/m}^2\text{K}$)

Referensi

- Arlisdianto, Julian**, *Pengaruh Wadah Material Terhadap Laju Pengeringan Pada Alat Pengering Beku Vakum Untuk Aloe vera*, Depok, UI, 2012.
- Belyamin**, *Kajian Energi Pengering Beku Dengan Penerapan Pembekuan Vakum Dan Pemanasan Dari Bawah*, Bogor, IPB, 2008.
- Belyamin**, *Pengembangan Pengering Beku Pembekuan Vakum Dengan Pemanasan Kondensor*. Bogor, IPB, 2011.
- Cengel, A. Yunus**, *Heat Transfer Second Edition*, 2002.
- Hariyadi, Purwiyatno**, *Teknologi Pengeringan Beku*, ITP, 2011.
- Holman, J.P**, *Perpindahan Kalor*, Jakarta, Erlangga, 1991.
- Inclopera, P. Frank**, *Fundamentals Of Heat And Mass Transfer Fourth Edition*, Jhon Wiley and Sons, 1996.
- Pujihastuti, Isti**, *Teknologi Pengawetan Buah Tomat Dengan Metode Freeze Drying*, Semarang, UNDIP
- Purba, Riska Amelia**, *Studi Pembuatan Yoghurt Bengkuang Instan Dengan Berbagai Konsentrasi Susu Bubuk Dan Starter*, Sumatera Utara, USU, 2012.
- Rahayu, Yuli Puji**, *Analisis Usaha Tani Bengkuang (Pachyrrhizus erosus) Di Desa Bukit Payung Kecamatan Bangkinang Seberang Kabupaten Kampar*, Pekanbaru, Universitas Riau, 2012.
- Yogaswara, Ghema**, *Mikroenkapsulasi Minyak Ikan Dari Hasil Samping Industri Penepungan Ikan Lemuru (Sardiniella Lemuru) Dengan Metode Pengeringan Beku (Freeze Drying)*, Bogor, IPB, 2008.
- Zainuddin, Irshan**, *Rancang Bangun Peralatan Dan Analisis Pembekuan Vakum Udang Windu (Penaeus Monodon Fab)*, Bogor, IPB, 2003.