

PENGERINGAN BEKU VAKUM BENGKUANG DENGAN MEMANFAATKAN PANAS BUANG KONDENSOR UNTUK PROSES SUBLIMASI

Jaka Brama¹, Awaludin Martin²

Laboratorium Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Riau

¹jakabrama90@gmail.com, ²awaludinmartin@yahoo.com

ABSTRACT

Vacuum Freeze Drying is one of the best ways of drying products as freeze drying vacuum drying or preserving materials without a change in physical and chemical properties of materials. This study was a continuation of previous studies that vacuum freeze drying jicama. The results of previous studies which can eliminate 62% moisture content for 24 hours. This current research is to optimize the vacuum freeze drying previous to adding the heater exhaust condenser to the sublimation process. Condenser waste heat with temperatures reaching 40 ° C flowed dryer chamber and propagated on the jicama to speed up the process of sublimation.

Keyword: freeze drying vacuum, waste heat recovery condenser, jicama

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Salah satu tanaman hasil pertanian hortikultura yang memiliki potensi untuk dikembangkan adalah usaha tani bengkuang. Provinsi Riau memiliki potensi tanaman pertanian hortikultura yang dapat dikembangkan yaitu bengkuang. Salah satu daerah penghasil komoditi bengkuang di Provinsi Riau adalah Desa Bukit Payung Kecamatan Bangkinang Seberang, Kabupaten Kampar [8].

Bengkuang mempunyai rasa khas dengan kadar air yang tinggi. Selain rasa manis, bengkuang juga mampu memberikan rasa segar saat dimakan. Kelemahan dari buah bengkuang hanya dapat bertahan dalam masa simpan yang relatif singkat, sehingga perlu dilakukan proses pengawetan. Salah satu proses yang dapat diterapkan yaitu proses pengeringan beku vakum. Tujuan dari proses pengeringan beku vakum adalah untuk menurunkan kadar air bengkuang sebab dengan dihilangkannya kadar air

bengkuang menjadi lebih awet, volume produk bengkuang kering menjadi lebih kecil dan ringan sehingga memudahkan dan menghemat biaya pengangkutan, pengemasan dan penyimpanan.

Pengeringan Beku vakum merupakan salah satu cara terbaik dalam pengeringan produk karena pengeringan beku vakum dapat mengeringkan atau mengawetkan bahan tanpa terjadi perubahan sifat fisik dan kimia bahan. Pengeringan beku vakum dilakukan pada kondisi dibawah titik *triple* air yakni dibawah temperatur 0°C dan tekanan dibawah 610,5 Pa sehingga dalam proses pengeringan beku vakum tidak terjadi perubahan tekstur, rasa, warna, flavor dan citarasa. Hal ini disebabkan karena dalam proses pengeringan beku vakum kandungan yang ada pada produk tidak hilang, melainkan hanya kadar airnya yang hilang.

Pengeringan beku vakum bengkuang telah dilakukan pada peneliti sebelumnya. Pada penelitian tersebut diperoleh bahwa kehilangan kadar air maksimum pada bengkuang adalah sebesar 62% selama 24 jam [6].

Hasil penelitian ini masih kurang optimum dikarenakan pada proses pengeringan beku vakum bengkuang yang terjadi proses pembekuan dan penurunan tekanan untuk sublimasi.

Untuk mengatasi hal ini perlu dilakukan suatu metode pada pengeringan beku vakum bengkuang untuk mengoptimalkan hasil pengeringan beku vakum, hingga kadar air yang hilang dapat mencapai 85,57 – 90%.

Metode yang dilakukan untuk mengoptimalkan pengeringan beku vakum ialah dengan adanya pemanfaatan panas buang kondensor pada pengeringan beku vakum bengkuang.

Dengan adanya pemanfaatan panas buang kondensor untuk proses sublimasi pada pengeringan beku vakum hasil yang diperoleh sesuai dengan yang diharapkan

Beberapa peneliti telah melakukan penelitian tentang pengeringan beku vakum yaitu Belyamin (2008.,2011) mengeringkan lidah buaya (*aloevera*) selama 13 jam dan $\pm$ 7 jam pengeringan dengan pemanas dari kondensor.

Pujihastuti (2009) telah melakukan pengeringan beku tomat yang mengandung kadar air sebesar 93,4%. Siregar (2004) telah melakukan kajian pengeringan beku dengan pembekuan vakum terhadap daging buah durian yang mengandung kadar air sebesar 60,82%. Lisnawati (1997) dan Tambunan (2000) telah melakukan kajian dan simulasi karakteristik pengeringan beku daging sapi giling, yang mengandung kadar air sebesar 60%. Ricardi (2011) dan Rozi (2012) pengeringan beku vakum pada ubur-ubur dengan kadar air 95,6 %.

1.1 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini berdasarkan uraian latar belakang masalah ialah Bagaimana proses modifikasi (perancangan dan pembuatan) mesin pengering beku vakum bengkuang yang sudah ada menjadi lebih efisien

dengan adanya pemanfaatan panas buang kondensor untuk proses sublimasi

1.2 Batasan Masalah

Pembatasan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah Membahas proses perancangan dan pembuatan kondensor pada proses modifikasi peralatan mesin pengering beku vakum yang dilakukan.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah Menghasilkan mesin pengering beku vakum bengkuang yang lebih efisien dengan adanya pemanfaatan panas buang kondensor untuk proses sublimasi.

1.4 Manfaat

Berdasarkan tujuan dari penelitian ini, maka manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1) Bagi masyarakat diharapkan menjadi bahan informasi pengawetan bengkuang dapat dilakukan dengan metode pengeringna beku vakum.
- 2) Bagi industri sebagai informasi dan bahan pertimbangan dalam pengawetan bengkuang dilakukan dengan metode pengeringan beku vakum dapat meningkatkan harga jual dari bengkuang.
- 3) Diharapkan metode pengeringan beku vakum dapat diterapkan untuk berbagai macam produk lainnya, khususnya bahan pangan atau hasil pertanian khas tropik Indonesia.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Bengkuang

Bengkuang atau bengkoang dikenal dari umbi putihnya yang bisa dimakan sebagai komponen rujak dan asinan atau dijadikan masker untuk menyegarkan wajah dan memutih kan kulit. Tumbuhan yang berasal dari Amerika tropis ini termasuk dalam suku polong-polongan atau *Fabaceae*. Di tempat asalnya, tumbuhan ini dikenal

sebagai *xicama* atau *jicama*. Orang Jawa menyebutnya sebagai besusu.

Tumbuhan ini membentuk umbi akar berbentuk bulat atau membulat seperti gasing dengan berat dapat mencapai 5 kg. Kulit umbinya tipis berwarna kuning pucat dan bagian dalamnya berwarna putih dengan cairan segar agak manis. Umbinya mengandung gula dan pati serta fosfor dan kalsium. Umbi ini juga memiliki efek pendingin karena mengandung kadar air 85,75- 90%. Rasa manis berasal dari suatu oligosakarida yang disebut inulin, yang tidak bisa dicerna tubuh manusia. Sifat ini berguna bagi penderita diabetes atau orang yang berdiet rendah kalori.

Kelemahan dari buah bengkuang hanya dapat bertahan dalam masa simpan yang relatif singkat, sehingga perlu dilakukan proses pengawetan. Salah satu proses yang dapat diterapkan yaitu proses pengeringan beku vakum. Tujuan dari proses pengeringan beku vakum adalah untuk menurunkan kadar air bengkuang sebab dengan dihilangkannya kadar air bengkuang menjadi lebih awet, volume produk bengkuang kering menjadi lebih kecil dan ringan sehingga memudahkan dan menghemat biaya pengangkutan, pengemasan dan penyimpanan.

2.2 Pengeringan Beku vakum

Pengeringan Beku vakum merupakan salah satu cara terbaik dalam pengeringan produk karena pengeringan beku vakum dapat mengeringkan atau mengawetkan bahan tanpa terjadi perubahan sifat fisik dan kimia bahan.

Pengering beku sering juga disebut *lyophilization* memiliki kelebihan yaitu produk kering, produk tidak rentan terhadap kontaminasi, awet, produk porus, struktur fisik dapat dipertahankan, mampu mempertahankan warna dan *flavor*[3].

Selain memiliki kelebihan pengering beku juga memiliki kekurangan yaitu biaya yang mahal saat pengadaan alat, pengoperasian serta perawatan dan

juga kompleksitas dari proses dan alat-alat sehingga memerlukan operator yang terlatih.

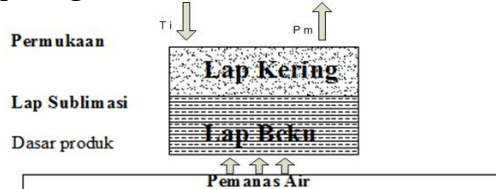
Ada dua tahapan dalam proses pengoperasian proses pengeringan beku vakum bengkuang yakni tahap pembekuan dan tahap pengeringan (sublimasi). Dua tahapan ini sama-sama membutuhkan energi sehingga dengan adanya pemanfaatan panas buang kondensor diharapkan proses pengeringan beku vakum dapat dilakukan dengan waktu yang relatif lebih singkat dan mengurangi pemakaian energi selama proses pengeringan. Untuk mencapai tujuan ini maka diperlukan suatu penelitian yang dapat menghasilkan mesin pengering beku vakum bengkuang dengan adanya pemanfaatan panas buang kondensor untuk proses sublimasi.

2.3 Kondensor

Kondensor adalah salah satu komponen utama pada siklus kompresi uap . kondensor merupakan suatu alat penukar kalor yang gunanya melepas kalor ke media pendingin seperti air atau udara. Pada kondensor terdapat refrigeran yang berada dalam keadaan uap super panas yang melepas kalor sehingga berubah dari fase gas menjadi fase cair. Untuk membuang kalor yang terkandung pada refrigeran maka dibutuhkan cooling media.

Kondensor yang akan dirancang yaitu kondensor berpendingin air. Air yang panas akibat menyerap kalor dari refrigeran pada kondensor akan dialirkan ke ruang pengering yang tujuannya untuk mempercepat perambatan panas pada bahan. permukaan bahan yang kering akibat dilakukan proses pengeringan beku ialah bagian atas permukaan sedangkan bagian bawah masih dalam keadaan beku. Lambatnya perambatan panas ini mengakibatkan banyaknya energi yang dibutuhkan untuk melakukan proses sublimasi. Maka air panas yang dialirkan pada *tube* akan dirancang berada dibawah tempat atau wadah bahan. Maka panas

yang dihasilkan dari air tersebut akan merambat pada permukaan bahan yang keadaan beku. Sehingga dengan proses ini dapat mempercepat proses sublimasi pada bahan yang mengakibatkan berkurangnya energi yang digunakan dan waktu yang dibutuhkan untuk proses sublimasi relatif lebih singkat. Peletakan panas air di bawah permukaan bahan dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 1. Perpindahan Panas dan Massa pada Ruang Pengeringan

3. Metode

1.1 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode rancang bangun dan eksperimen. Metode rancang bangun dilakukan untuk modifikasi peralatan mesin pengering beku vakum bengkuang yakni dilakukan untuk perancangan dan pembuatan *helical coil heat exchanger* kondensor berpendingin air.

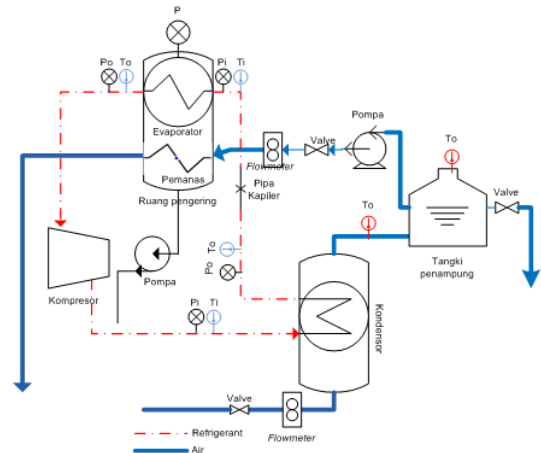
Air pendingin yang menyerap panas refrigeran pada kondensor akan dimanfaatkan untuk mempercepat proses sublimasi pada pengeringan beku vakum dengan temperatur 40°C.

Metode eksperimen dilakukan untuk pengujian pengeringan beku vakum bengkuang dengan adanya pemanfaatan panas buang kondensor untuk proses sublimasi.

Alat

- Mesin Las
- Tube Cutter
- Tube Bender
- Tube Flaring
- Gunting Kawat
- Pompa Vakum
- Pompa Aquarium
- Blender
- Timbangan Digital

1.2 Skema mesin pengering beku vakum bengkuang



Gambar 2. Skema Mesin Pengering Beku Vakum Bengkuang

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil

Rekapitulasi rancangan kondensor yang telah dilakukan adalah :

- Kondensor media pendinginnya menggunakan air.
- Tipe yang digunakan yaitu kondensor *Helical Coil*.
- Panjang tube nya adalah 15,26 m.
- Panas buang yang dihasilkan mencapai temperatur 40°C.

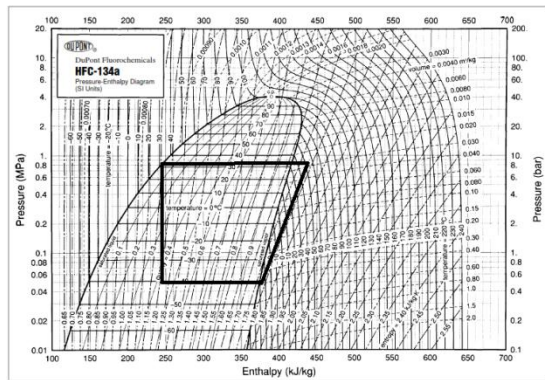
4.2 Pembahasan

Pada penelitian ini dilakukan pengujian pengeringan beku vakum bengkuang dengan ditambahkan pemanas dari kondensor dengan temperature mencapai mencapai 40°C.

Tahap-tahap perancangan dimulai dengan mencari kecepatan air yang mengalir sampai menentukan dimensi kondensor yang dirancang.

Data rancangan kondensor pada system refrigerasi pengeringan beku vakum bengkuang diperoleh dari penelitian sebelumnya. Dimana laju aliran refrigerasi adalah 0,002739 kg/s (Januari, 2014).

Adapun analisis sistem refrigerasi yang dilakukan ialah seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini untuk menentukan perancangan kondensor



Gambar 3. Diagram P-h Rancangan

Berdasarkan analisis diagram *P-h* yang dilakukan dari tabel refrigeran R134a maka diperoleh data sebagai berikut :

$$\begin{aligned} P_1 &= 51,209 \text{ kPa} \\ P_2 &= 862,63 \text{ kPa} \\ h_1 &= 374 \text{ kJ/kg} \\ h_2 &= 416,72 \text{ kJ/kg} \\ h_4 &= h_3 = 247,54 \text{ kJ/kg} \\ h_4 &= h_3 = 247,54 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Kondensor yang dirancang yaitu kondensor jenis *helical coil* dengan media pendinginnya yaitu air. Kondensor dirancang *helical coil* karena mudah dalam pembuatan dan juga mengurangi kebocoran saat pengujian. Air yang keluar dari kondensor panasnya akan dialirkan ke ruang pengering untuk mempercepat proses sublimasi pada bahan. Dalam perancangan kondensor direncanakan ukuran koil yang digunakan untuk pembuatan kondensor ialah :

$$\text{Diameter dalam} = 0,008 \text{ m (Di)}$$

$$\text{Diameter luar} = 0,0095 \text{ m (D0)}$$

laju aliran massa air maksimum dengan menaikkan temperatur dari 27°C menjadi 40 °C adalah :

Berdasarkan asumsi temperatur masuk air dan temperatur keluar air yang diharapkan dan sifat fisik air maka diperoleh :

$$\begin{aligned} \rho &= 994,6 \text{ kg/m}^3 \\ C_p &= 4,178 \text{ kJ/kg.K} \end{aligned}$$

Laju aliran massa air dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} m_w &= \frac{Q_{\text{kondensor}}}{C_p \Delta T} \\ &= \frac{0,463413 \text{ kW}}{4,178 \text{ kJ / kgK} (40 - 27)} \\ &= 0,009 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

Sehingga laju aliran volume air ialah :

$$v_m = \frac{\dot{m}}{\rho_w} = \frac{0,09 \text{ kg / s}}{994,6 \text{ kg / m}^3} = 8,8578 \times 10^{-6} \text{ m}^3 / \text{s}$$

Maka kapasitas pompa yang dibutuhkan adalah 30,88 L/jam

Temperatur air keluar dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} T_{co} &= T_{ci} + \frac{Q_{\text{kond}}}{\dot{m}_w C_{p_w}} \\ T_{co} &= 27^\circ \text{C} + \frac{0,4634 \text{ kW}}{0,009 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 4,178 \text{ kJ/kg}^\circ \text{C}} \end{aligned}$$

$$T_{c,o} \text{ (sementara)} = 39,997^\circ \text{C}$$

Dari iterasi maka diperoleh :

Table 1 Iterasi temperatur air keluar						
Q	m	Cp	Ti	To	Th	Tc,o
0,46338	0,009	4,1789	27	27	27,00	39,997
0,46338	0,009	4,1796	27	39,9972002	33,50	39,995
0,46338	0,009	4,1796	27	39,9950234	33,50	39,995
0,46338	0,009	4,1796	27	39,9950234	33,50	39,995
0,46338	0,009	4,1796	27	39,9950234	33,50	39,995

Hasil iterasi temperatur air keluar ialah :

$$T_{co} = 39,995 = 40^\circ \text{C}$$

Berdasarkan hasil iterasi temperatur air keluar dan asumsi temperatur refrigeran sesuai dengan diagram *P-h* maka temperatur fluida yang didapatkan ialah :

$$\begin{aligned} T_{hi} &= 49,19^\circ \text{C} \\ T_{ho} &= 34^\circ \text{C} \\ T_{ci} &= 27^\circ \text{C} \end{aligned}$$

$$T_{co} = 39,995 = 40^{\circ}\text{C}$$

Aliran yang akan dirancang yaitu aliran berlawanan arah Sehingga beda temperatur rata-rata logaritmik ialah :

$$\Delta T_1 = T_{hi} - T_{co} = 49,19^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C} = 9,19^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_2 = T_{ho} - T_{ci} = 34^{\circ}\text{C} - 27^{\circ}\text{C} = 7^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}} = \frac{7 - 9,19}{\ln \frac{7}{9,19}} = 8,045$$

Sifat termofisik fluida yang digunakan yaitu air dan refrigeran R134a dapat diketahui berdasarkan temperatur fluida rata-ratanya, maka perhitungan temperatur fluida rata-rata pada perancangan evaporator ini ialah sebagai berikut :

$$T_w = \frac{T_{wi} + T_{wo}}{2} = \frac{27 + 40}{2} = 33,5^{\circ}\text{C}$$

$$T_r = \frac{T_{ri} + T_{ro}}{2} = \frac{49,19 + 34}{2} = 41,59^{\circ}\text{C}$$

Dari temperatur rata-rata masing-masing fluida maka sifat termofisiknya yaitu :

- Sifat-sifat refrigeran R134a pada $T = 41,59^{\circ}\text{C}$

$$\rho = 1139,9 \text{ kg/m}^3$$

$$C_p = 1,5080 \text{ kJ/kg K}$$

$$\mu = 1,5819 \times 10^{-4} \text{ kg/ms}$$

$$K = 0,073533$$

$$P_r = 3,2221$$

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{1,5819 \times 10^{-4} \text{ kg/ms}}{1139,9 \text{ kg/m}^3} = 1,387 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

- Sifat-sifat air pada $T = 33,5^{\circ}\text{C}$

$$\rho = 994,5 \text{ kg/m}^3$$

$$C_p = 4,179 \text{ kJ/kg K}$$

$$\mu = 0,74138 \times 10^{-3} \text{ kg/ms}$$

$$K = 0,62099$$

$$P_r = 4,9899$$

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{0,74138 \times 10^{-3} \text{ kg/ms}}{994,5 \text{ kg/m}^3} = 7,45 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

Refrigerant yang berada pada kondensor dalam keadaan panas super lanjut akan melepaskan kalor kelingkungan atau ke

media pendingin yaitu air. Refrigerant yang melepas kalor ke media pendingin akan berubah fasa menjadi cair. Adapun hitungan proses pengembunan pada refrigerant yaitu: Kecepatan rata-rata pengembunan refrigerant

$$V_m =$$

$$\frac{\dot{m}_{ref}}{\rho A} = \frac{0,002739 \text{ kg/s}}{1139,9 \text{ kg/m}^3 \times 1/4 \times \pi \times 0,008^2} = 0,0478 \text{ m/s}$$

Angka Reynold

$$Re = \frac{V_m D_h}{\nu} = \frac{0,0478 \text{ m/s} \times 0,008 \text{ m}}{1,387 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}} = 2760,42$$

Karena aliran laminar dan nilai Pr diantara $0,6 < Pr < 50$ maka Angka Nusselt sebagai berikut : (Holman, 1993)
 $N_u = 0,33 Re^{0,5} P_r^{1/3} = (0,33) \times (2760,42)^{0,5} \times (3,2221)^{1/3} = 18,615 \text{ W/m}^2\text{C}$

Koefisien Perpindahan Kalor Pada Sisi Refrigeran

$$h_i = \frac{K}{D_h} N_u = \frac{0,074033 \text{ W/mC}}{0,008 \text{ m}} \times 18,615 = 174,28 \text{ W/m}^2\text{C}$$

Perhitungan koefisien perpindahan kalor konveksi paksa pada sisi air pada kondensor dihitung dengan menggunakan sifat-sifat air pada temperatur rata-rata. Kecepatan rata-rata air dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$V_m =$$

$$\frac{\dot{m}_{air}}{\rho A} = \frac{0,009 \text{ kg/s}}{994,5 \text{ kg/m}^3 \times 1/4 \times \pi \times 0,0095^2} = 0,121 \text{ m/s}$$

Angka Reynold

$$Re = \frac{V_m D_h}{\nu} = \frac{0,121 \text{ m/s} \times 0,0095 \text{ m}}{7,45 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}} = 1543,1$$

Karena aliran laminar dan nilai Pr diantara $0,6 < Pr < 50$ maka Angka Nusselt sebagai berikut : (Holman, 1993)
 $N_u = 0,33 Re^{0,5} P_r^{1/3} = (0,33) \times (1543,1)^{0,5} \times (4,9899)^{1/3} = 22,15 \text{ W/m}^2\text{C}$

Koefisien Perpindahan Kalor Pada Air

$$h_o = \frac{K}{D_h} N_u = \frac{0,62099 \text{ W/mC}}{0,0095 \text{ m}} \times 22,15 = 1448 \text{ W/m}^2\text{C}$$

Setelah diketahui perpindahan kalor pada masing-masing fluida maka perpindahan kalor menyeluruh pada kondensor dapat ditentukan dengan persamaan :

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}} = \frac{1}{\frac{1}{174,28 \text{ W/m}^2\text{C}} + \frac{1}{1448 \text{ W/m}^2\text{C}}} = 155,56 \text{ W/m}^2\text{C}$$

Untuk mencari dimensi kondensor yang dibutuhkan, yakni panjang koil yang dibutuhkan maka dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_{lm} \quad (\text{Cengel, 1998})$$

Persamaan tersebut disubstitusi untuk menentukan nilai A sementara

$$A_{\text{sementara}} = \frac{Q}{U \cdot \Delta T_{lm}} = \frac{463,34 \text{ W}}{155,56 \text{ W/m}^2\text{C} (8,04)^\circ\text{C}} = 0,3702 \text{ m}^2$$

Maka diperoleh nilai L sementara

$$L = \frac{A_s}{\pi D} = \frac{0,3702 \text{ m}^2}{(3,14)(0,008 \text{ m})} = 14,739 \text{ m}$$

Berdasarkan tabel Faktor Pengotoran, maka faktor pengotor dari kedua fluida kerja kondensor,

- Sisi air, $R_{fo} = 0,0001 \text{ m}^2\text{K/W}$
- Sisi refrigeran, $R_{fi} = 0,0002 \text{ m}^2\text{K/W}$

Nilai Konduktivitas tembaga yaitu $K_{\text{tembaga}} = 385 \text{ W/mK}$ (Cengel, 1998)

$$A_i = \pi D_i L = (3,14) (0,008) (14,739) = 0,3702 \text{ m}^2$$

$$A_o = \pi D_o L = (3,14) (0,0095) (14,739) = 0,4396 \text{ m}^2$$

Perpindahan kalor yang terjadi pada kondensor yaitu secara konveksi pada bagian dalam *tube*, konduksi pada dinding *tube* dan konveksi pada luar *tube*. Untuk menentukan perpindahan kalor menyeluruh yaitu :

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

$$R = \frac{1}{174,28 \times 0,3702} + \frac{0,0001}{0,3702} + \frac{\ln(0,0095 / 0,008)}{2 \times 3,14 \times 385 \times 14,739} + \frac{0,0002}{0,4396} + \frac{1}{1448 \times 0,4396}$$

$$= 0,0182$$

$$U_{\text{hitung}} = \frac{1}{R \cdot A_o} = 124,61 \text{ W/m}^2\text{C} \quad (\text{Tidak sama dengan asumsi})$$

Dengan menggunakan iterasi maka diperoleh :

Table 2 Iterasi perpindahan kalor menyeluruh

Q	ΔT _m	U _o	A _s	L	A _o	A _i	R	A _o *R	U _i
463,38	8,05	153,96	0,37	12,54	0,37	0,32	0,02	0,01	126,51
463,38	8,05	126,51	0,46	15,26	0,46	0,38	0,02	0,01	126,51
463,38	8,05	126,51	0,46	15,26	0,46	0,38	0,02	0,01	126,51

Hasil dari iterasi diperoleh panjang *tube* 15,26 m

Dari persamaan pada gambar 2.7 *helical coil* kondensor dapat diuraikan untuk menentukan dimensi kondensor yang akan dibuat yaitu :

PVC yang direncanakan untuk pembuatan kondensor sebesar 8 in.

Diameter luar (DO) = 219,1 mm

Tebal (T) = 8,18 mm

C = DO – (2 x T) = 202,74 mm

P = 1,5 x do = 1,5 x 9,5 = 14,25 mm

DH = 150,8 mm (ukuran pipa PVC 5 in untuk sebagai mall pembuatan dalam bentuk *Helical Coil*)

Untuk menentukan jumlah lilitan dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

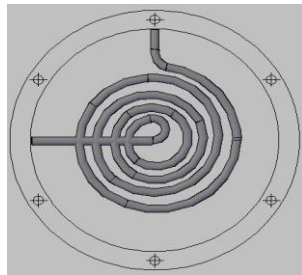
$$N = \frac{L}{\sqrt{(2\pi r)^2 + p^2}} = \frac{15260 \text{ mm}}{\sqrt{(2\pi(63,5 \text{ mm}))^2 + (14,25 \text{ mm})^2}} = 38,8 \text{ lilitan}$$

Tinggi *helical coil* dapat ditentukan dengan persamaan :

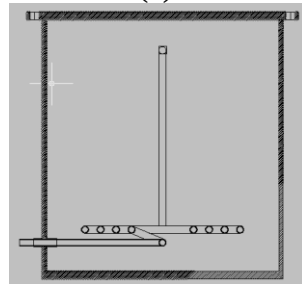
$$H = (N \cdot P) + do = (38,8 \times 14,25) + 9.5 = 553,48 \text{ mm}$$

Perancangan Panjang Tube pada Ruang Pengering

Prinsip kerja alat pengering beku vakum langkah pengujian yang akan dilakukan yaitu dengan menurunkan temperatur kemudian setelah temperatur yang diinginkan tercapai lakukan penurunan tekanan dengan menghidupkan pompa vakum. Setelah tekanan tercapai kemudian alirkan air pemanas ke ruang pengering dari panas buang kondensor. Adapun asumsi dan gambar rancangan rancangan dalam pembuatan *tube spiral* pada ruang pengering yaitu:



(a)



(b)

Gambar 3. Perancangan *Tube Spiral* pada Ruang Pengering : a. Tampak Atas, b. Tampak Samping

- Air masuk = 40 °C
- $\dot{m}_{air}$ = 0,009 kg/s
- C_p air = 4,178 kJ/kg K
- $Q_{kondensor}$ = 0,463 kW
- Panjang tube = 2 m, D_i = 0,008 m, D_o = 0,0095 m

Dari asumsi tersebut dapat ditentukan temperatur keluar air panas dari kondensor yang dialirkan ke ruang pengering dengan persamaan :

$$Q_{kondensor} = \dot{m} C_p (T_i - T_o)$$

Maka diperoleh temperatur air keluar

$$T_o = T_i - \frac{Q}{\dot{m} C_p} = (40^\circ\text{C} + 273) - \frac{0,463 \text{ kW}}{0,009 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4,178 \text{ kJ/kg K}} = 300,8 \text{ K} = 27,68^\circ\text{C}$$

Temperatur rata-rata air panas yang mengalir yaitu :

$$\frac{T_i + T_o}{2} = \frac{40^\circ\text{C} + 27,68^\circ\text{C}}{2} = 33,84^\circ\text{C}$$

Seperti yang dijelaskan pada Bab 2 perpindahan kalor yang terjadi pada bahan yaitu perpindahan kalor secara konduksi dan radiasi perpindahan kalor secara konveksi sangat minim jadi dapat diabaikan. Perpindahan kalor pada air panas ke bahan yang terjadi yaitu

perpindahan panas secara konveksi, konduksi, radiasi dan konduksi.

- a. Perpindahan konveksi dari air ke dinding tube

$$Q = hA(T_1 - T_2)$$

$$T_2 = 33,84^\circ\text{C} - \frac{0,463 \text{ kW}}{1448 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}^\circ\text{C} \times \pi (0,008 \text{ m} \times 2 \text{ m})} = 33,83363^\circ\text{C}$$

- b. Perpindahan konduksi dari dinding-dinding tube

$$Q = \frac{2\pi kl(T_2 - T_3)}{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}$$

$$T_3 = 33,83363^\circ\text{C} - \frac{0,463 \text{ kW} \ln\left(\frac{0,00475}{0,004}\right)}{2\pi 385 \text{ W/m}^\circ\text{C} \times 2 \text{ m}} = 33,83361^\circ\text{C}$$

- c. Perpindahan radiasi

$$Q = \sigma \epsilon A(T_3 - T_4)$$

$$T_4 = ((33,83361 + 273)^4 - \frac{0,463 \text{ kW}}{5,672 \times 10^{-8} \text{ Watt/m}^2\text{K}^4 \times 0,61 \times 3,14 \times 0,0095 \text{ m} \times 2 \text{ m}})^{\frac{1}{4}} = 304,871 \text{ K} = 31,871^\circ\text{C}$$

- d. Perpindahan konduksi pada bahan

$$Q = kA \frac{(T_4 - T_5)}{\Delta x}$$

$$T_5 = 31,871^\circ\text{C} - \frac{0,463 \text{ kW} \times 0,002 \text{ m}}{0,62 \text{ W/m}^\circ\text{C} \times (0,2 \text{ m} \times 0,15 \text{ m})} = 31,82^\circ\text{C}$$

5. Kesimpulan

5.1 Simpulan

Dari penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan Mesin pengering beku vakum benguang dengan memanfaatkan panas buang kondensor untuk proses sublimasi berhasil dibuat sesuai dengan rancangan.

5.2 Saran

Adapun beberapa saran yang dapat diberikan penulis untuk kemajuan dan pengembangan penelitian selanjutnya ialah :

1. Kontruksi pintu sebaiknya dirubah untuk mempermudah dalam pengujian dan mencegah terjadinya kebocoran dalam melakukan pengujian.
2. Alat ukur untuk pembacaan tekanan dalam ruang pengering sebaiknya

menggunakan *pressure transmitter* agar hasil pembacaan tekanan relatif lebih baik.

Daftar Pustaka

1. Belyamin. 2011. *Pengembangan Pengereng Beku Pembekuan Vakum Dengan Pemanasan Kondensor*. Bogor:IPB. Hariyadi, Purwiyatno. 2011. *Teknologi Pengeringan Beku*. ITP
2. Cengel, Yunus A. 1998. *Heat Transfer a Practical Approach*, University Of Nevada.
3. Hariyadi, Purwiyatno. 2013. *Freeze drying technology : for better quality & flavor of dried products*
4. Holman, J.P., (1993), *Perpindahan Kalor*. Jakarta:Erlangga.
5. Iqbar, Muhammad. 2011. *Analisa Pemanfaatan Panas Buang Kondensor Pada Pengeringan Beku Vakum*. Depok:UI
6. Januari, awal. 2014. *Pengeringan Bengkuang dengan Sistem Pengeringan Beku Vakum (Vacuum Freeze Drying System)*. Pekanbaru: Universitas Riau.
7. Patil, Ramachandra K. 1982. *Designing A Helical-Coil Heat Exchanger*. Chemical Engineering.
8. Rahayu, Yuli Puji. 2012. *Analisis Usaha Tani Bengkuang (Pachyrrhizus erosus) Di Desa Bukit Payung Kecamatan Bangkinang Seberang Kabupaten Kampar*. Pekanbaru:Universitas Riau.
9. Rozi, Muhammad Fachrur. 2012. *Pengaruh Udara Panas Terhadap Laju Pengeringan Pada Freeze Vakum Dryng*. Depok: UI
10. Ricardi, Rio. 2011. *Karakteristik Pengeringan Beku Vakum dengan Pemanfaatan Pendingin Internal dan Panas Buang Kondensor untuk Proses Sublimasi*. Depok:UI
11. Siregar, Kisman. 2006. *Pengeringan Beku dengan Metode Pembekuan*

Vakum dan Lempeng Sentuh dengan Pemanas Terbalik pada Proses Terbalik pada Proses Sublimasi untuk Daging Buah Durian. Medan: USU