

Rancang Bangun Kondenser pada Pengereng Beku Vakum

Iwan Kurniawan^{1, a*}, Awaludin Martin^{2, b}, Mintarto^{3, c}

^{1,2,3}Laboratorium Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya km 12,5 Simpang Baru, Pekanbaru, Indonesia

^aiwan.ktm@gmail.com, ^bAwaludinmartin01@gmail.com, ^cmintarto.tito@gmail.com

Abstrak

Pengeringan adalah suatu cara atau proses untuk mengeluarkan atau menghilangkan sebagian atau seluruh air dari suatu bahan dengan cara menguapkan sebagian besar air yang dikandungnya dengan menggunakan energi. Faktor yang mempengaruhi laju pengeringan antara lain ialah temperatur, tekanan, laju aliran udara, luas permukaan bahan, kadar air bahan, komposisi kimia bahan. Pengeringan beku (*freeze drying*) adalah salah satu metode pengeringan yang mempunyai keunggulan dalam mempertahankan mutu hasil pengeringan, khususnya untuk produk-produk yang sensitif terhadap panas. Penelitian ini bertujuan meningkatkan hilangnya kadar air pada bahan yang akan dikeringkan dengan melengkapi proses pengering beku vakum dengan proses penguapan (*secondary drying*) dengan memanfaatkan panas buang kondenser. Perhitungan dan pembuatan yang dilakukan menghasilkan kondenser dengan panjang *tube* 17,58 m dengan diameter bagian dalam *tube* 0,008 m dan diameter luar 0,0095 m dimana bahan *tube* yang dipilih adalah tembaga. *Tube* yang dibuat berbentuk *helical coil* dengan jumlah lilitan 41 lilitan dan ketinggiannya 0,6 m. Kondenser yang dirancang dan dibuat mampu menaikkan temperatur air sampai dengan 40°C.

Kata Kunci: Pengereng Beku Vakum, Rancang Bangun, Kondenser, *Helical Coil*

1. Pendahuluan

Pengeringan beku (*freeze drying*) merupakan salah satu teknik pengeringan pangan yang mulai dikembangkan pada saat Perang Dunia (PD) II sebagai teknik pilihan untuk pengawetan plasma darah guna keperluan darurat di medan perang. Dengan teknologi pengeringan beku maka minuman diperoleh stok plasma darah yang tidak rusak dan bisa disimpan lama dengan tanpa memerlukan refrigerasi. Setelah PD II berakhir, teknologi ini kemudian diaplikasikan untuk pengembangan produk-produk untuk konsumen umum. Produk pangan pertama yang diproses dengan teknologi pengeringan beku adalah kopi khususnya kopi instan ([1]).

Teknologi pengeringan beku ini sangat berperan penting pada pengembangan dan produksi berbagai jenis produk inovatif lainnya terutama untuk keperluan *camping* dan *hiking*, ekspedisi luar angkasa, obat, vaksin, enzim, dan lain sebagainya. Pada prinsipnya berbagai bahan pangan yang cocok

dan relatif mudah untuk proses pengeringan-beku adalah produk pangan larutan, lapis tipis daging, dan irisan buah dan sayuran, atau buah/sayuran utuh yang berukuran kecil. Hampir semua jenis buah dan sayuran bisa dikering-bekukan seperti kacang-kacangan, jagung, tomat, *berries*, nanas dan lain-lain [1]

Pengeringan ialah suatu cara atau proses untuk mengeluarkan atau menghilangkan sebagian air dari suatu bahan dengan cara menguapkan sebagian besar air yang dikandungnya dengan menggunakan energi panas. Pengeringan dapat dilakukan dengan berbagai metode seperti penjemuran atau pengeringan menggunakan matahari, pengeringan buatan dengan menggunakan alat pengering (*oven*, *spray drying*, *vacuum drying*, dan lain-lain), dan pengeringan secara pembekuan.

Faktor yang mempengaruhi laju pengeringan antara lain ialah temperatur, tekanan, laju

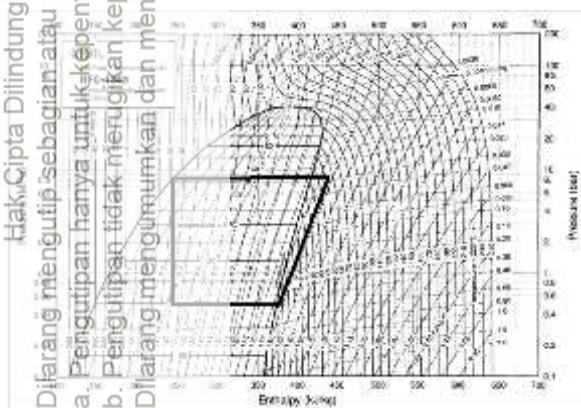


aliran udara, luas permukaan bahan, kadar air bahan, komposisi kimia bahan. Pengeringan beku (*freeze drying*) adalah salah satu metode pengeringan yang mempunyai keunggulan dalam mempertahankan mutu hasil pengeringan, khususnya untuk produk-produk yang sensitif terhadap panas. Keunggulan produk hasil pengeringan beku antara lain adalah dapat mempertahankan stabilitas produk, mempertahankan stabilitas struktur bahan dan dapat meningkatkan daya rehidrasi [2].

Penelitian ini bertujuan meningkatkan hilangnya kadar air pada bahan yang akan dikeringkan dengan melengkapi proses pengering beku vakum dengan proses pengunaan dengan memanfaatkan panas buang kondenser. Panas buang kondenser akan disimpan di air, ketika temperatur pada ruang pengering sudah tercapai dan air yang terkandung dalam bahan yang dikeringkan sudah melewati garis sublimasi maka air dengan temperatur yang lebih tinggi dari temperatur ruang pengering akan dialirkan ke dalam ruang pengering melalui alat penukar kalor yang telah dirancang sebelumnya.

2. Metodologi

Perancangan kondenser pada sistem refrigerasi pengeringan beku vakum benkukan yang diperoleh dari penelitian sebelumnya. Dimana laju aliran refrigerasi adalah 0,02739 kg/s [3]. Adapun analisis sistem refrigerasi yang dilakukan ialah seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini untuk menentukan perancangan condenser.



1. Gambar 1 Diagram p-h Rancangan

Berdasarkan pada gambar 1 diperoleh data sebagai berikut:

$$p_1 = 51,209 \text{ kPa dan } p_2 = 862,63 \text{ kPa}$$

$$h_1 = 374 \text{ kJ/kg dan } h_2 = 416,72 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{serta } h_4 = h_3 = 247,54 \text{ kJ/kg}$$

2.1 Perancangan Kondenser

Kondensor yang dirancang yaitu kondensor jenis *helical coil* dimana media pendinginnya adalah air, pemilihan jenis *helical coil* karena laju perpindahan panas pada *helical coil* lebih besar disebabkan adanya *secondary flow* [6,7]. Air yang keluar dari kondensor akan dialirkan ke ruang pengering untuk mempercepat proses sublimasi pada bahan. Dalam perancangan kondenser ukuran dan material *tube* dipilih sesuai dengan yang ada dipasar dimana diameter dalam (D_i) 0,008 m dan diameter luar (D_o) 0,0095 m dan material *tube* adalah tembaga. Temperatur air yang direncanakan $T_{w-in} = 27^\circ\text{C}$, dan $T_{w-out} = 40^\circ\text{C}$. Berdasarkan asumsi temperatur air masuk dan temperatur air keluar sifat fisik air seperti densitas adalah 994,6 kg/m³ dan panas spesifik air c_p adalah 4,178 kJ/kg.K.

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

$$m_w = \frac{Q_{kon}}{c_p \Delta T} \dots\dots\dots(1)$$

laju aliran volume air adalah :

$$v_w = \frac{\dot{m}}{\rho_w} \dots\dots\dots(2)$$

Temperatur air keluar dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$T_{co} = T_{ci} + \frac{Q_{kond}}{\dot{m}_w c_{pw}} \dots\dots\dots(3)$$

Aliran yang akan dirancang yaitu *counter flow* dimana beda temperatur rata-rata logaritmik adalah:



$$T_1 = T_{hi} - T_{co} \text{ dan } \Delta T_2 = T_{ho} - T_{ci} \dots (4)$$

Refrigeran yang melepas kalor ke media pendingin akan berubah fasa menjadi cair sehingga perlu dihitung kecepatan rata-rata pengembunan pada refrigeran dengan persamaan:

$$m = \frac{m_{ref}}{A} \dots (5)$$

Angka Reynold

$$Re = \frac{v_m D_h}{\nu} \dots (6)$$

Dikarena aliran laminar dan nilai Pr diantara $0,6 < Pr < 50$ maka Angka Nusselt sebagai berikut :[4]

$$Nu = 0,332 Re^{1/2} Pr^{1/3} \dots (7)$$

Koefisien Perpindahan Kalor pada sisi Refrigeran

$$h_i = \frac{k}{D_h} Nu \dots (8)$$

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

$$\dots \frac{m_{air}}{A} \dots (9)$$

Diketahui $shell$ yaitu 0,046 m, maka :

Karena aliran laminar dan nilai Angka Nusselt dalam tabung adalah :

$$Nu = 0,332 (Re.Pr)^{1/3} \left(\frac{d}{L} \right)^{1/3} \cdot \left(\frac{\sim}{\sim_w} \right)^{0,14} \dots (10)$$

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

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}} \dots (11)$$

Untuk mencari dimensi kondenser yang dibutuhkan, yakni panjang *tube* maka dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$Q = U \cdot A_s \cdot \Delta T_{lm}$$

$$A_s = \frac{Q}{U \cdot \Delta T_{lm}} \dots (12,13)$$

Maka diperoleh nilai L sementara :

$$L = \frac{A_s}{f D} \dots (14)$$

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 $k_{tembaga} = 385 \text{ W/mK}$ [5]

$$A_i = f D_i L$$

$$A_o = f D_o L$$

Perpindahan kalor yang terjadi pada kondenser yaitu secara konveksi pada bagian dalam *tube*, konduksi pada dinding *tube* dan konveksi pada luar *tube*.

Untuk menentukan perpindahan kalor menyeluruh yaitu :

$$R = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{R_{fi}}{A_i} + \frac{\ln(D_o / D_i)}{2f k L} + \frac{R_{fo}}{A_o} + \frac{1}{h_o A_o} \dots (15)$$

$$U_{hitung} = \frac{1}{R A_o} \dots (16)$$

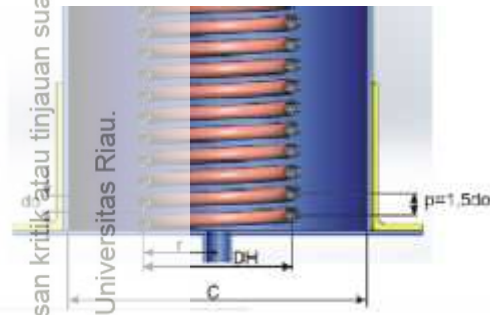
Maka panjang *tube* yang dibutuhkan adalah :

$$L = \frac{A_s}{f D} = \frac{0,442 \text{ m}^2}{f \cdot 0,008 \text{ m}} = 17,58 \text{ m}$$

Setelah di iterasi diperoleh panjang *tube* 17,58 m



Proses pembuatan *helical coil* ada beberapa dimensi yang harus diketahui, antara lain:



Gambar 2 Dimensi Helical Coil

Diameter standar *helical coil* (DH) = 0,127 m, $do = 0,009$ m dan $P = 1,5 \cdot do$

Untuk menentukan jumlah lilitan dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan :

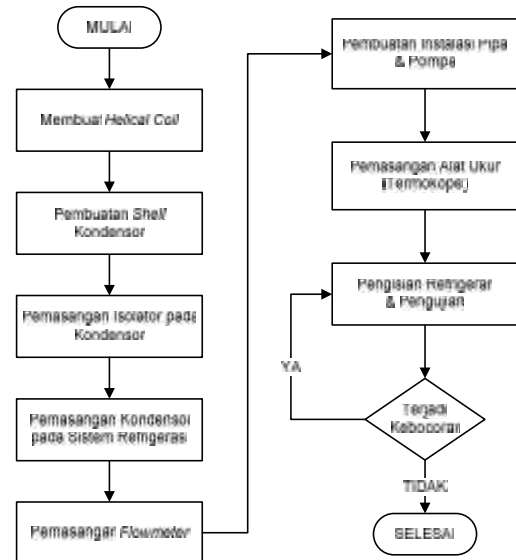
$$N = \frac{L}{\sqrt{(2fr)^2 + p^2}} \dots\dots\dots(17)$$

Tinggi *helical coil* dapat ditentukan dengan persamaan

$$H = (N \cdot P) + do \dots\dots\dots(18)$$

2.2 Pembuatan Kondensor

Pembuatan kondensor melalui beberapa tahapan dimulai dari membuat *helical coil* sampai dengan pengisian refrigeran dan pengujian pada sistem refrigerasi. Adapun tahapan pembuatan kondensor ditunjukkan pada diagram alir pada



Gambar 3 Skema Alir Pembuatan Kondensor

2.2.1 Pembuatan Helical Coil

Dalam pembuatan kondensor terdiri dari dua bahan yaitu *shell* dan *tube*. *Shell* menggunakan pipa PVC yang berukuran 4 inci dan 6 inci dan di kedua ujungnya ditutup dengan kap/dop 6 inci. Sedangkan *tube* menggunakan tembaga ukuran 3/8 inci dan ketebalan 0,81 mm dengan panjang tube 17,58 m atau 17,6 m.

Tube dibentuk menjadi *helical coil* dengan diameter 127 mm dengan panjang *tube* adalah 41 lilitan dan ketinggiannya 0,6 m. Proses pembuatan *helical coil heat exchanger* ialah dengan cara melilitkan coil diluar pipa baja karbon yang berdiameter 5 inci, seperti ditunjukkan pada gambar 4



Gambar 4 Proses Pembuatan Helical Coil

Tube pada ruang pengering sebagai tempat meletakkan bahan yang akan diuji dapat dilihat pada gambar 5. *Tube* ini berisi air yang



mengalir dengan temperatur 40°C sesuai dengan rancangan.



Gambar 5 Ruang Pengering Vacuum Freeze Drying

2.2.2 Pemasangan Kondenser pada Sistem Refrigerasi

Pemasangan kondenser pada sistem refrigerasi dipasang dengan menggunakan las *oxy-acetylene* dengan cara menyambung *tube* pada sistem tersebut. Proses penyambungan diberikan penambahan batang pengisi sebagai elektroda berupa batang tembaga, seperti pada gambar 6



Gambar 6 Penyambungan Tube dengan menggunakan Las *Oxy-Acetylene*

Setelah pemasangan kondenser dan aliran air dari bak penampungan menuju kondenser dan bak penampungan pada gambar 7. Selain menggunakan union socket, proses penyambungan juga menggunakan sambungan *elbow* dan *PVC Male Adapter Thread x Socket* serta *ball valve*. Dimana *PVC Male Adapter Thread x Socket* digunakan menyambungkan flowmeter pada instalasi pipa air.



Gambar 7 Kondenser Terpasang pada Sistem Refrigerasi

3. Hasil dan Pembahasan

Tahapan selanjutnya melakukan uji coba kondenser terpasang pada sistem refrigerasi. Rancangan yang diharapkan temperatur air yang keluar yaitu 40°C . setelah dilakukan pengujian menunjukan hasil temperatur air yang keluar dari kondensor yaitu $40,10^{\circ}\text{C}$ dalam waktu 45 menit, seperti ditunjukkan pada gambar 8



Gambar 8 Hasil Pengujian Kondenser

Bila pengujian dilakukan secara konstan, maka temperatur air akan terus meningkat hal ini dikarenakan air yang keluar dari kondenser dialirkan kembali pada bak penampungan. Untuk menjaga temperatur air tetap pada temperatur 40°C , maka sebaiknya air yang keluar dari kondenser ditampung pada bak penampungan air yang berbeda.

4. Kesimpulan

Perhitungan dan pembuatan yang dilakukan menghasilkan kondenser dengan panjang *tube* 17,58 m dengan diameter bagian dalam *tube* 0,008 m dan diameter luar 0,0095



m dimana bahan *tube* yang dipilih adalah tembaga.

Tube yang dibuat berbentuk *helical coil* dengan jumlah lilitan 41 lilitan dan ketinggiannya 0,6 m. Kondenser yang dirancang dan dibuat mampu menaikkan temperatur air sampai dengan 40°C

Penujian kinerja kondenser dilakukan pada saat sistem *vacuum freeze drying* dihidupkan. Hasilnya menunjukan temperatur air yang keluar dari kondensor yaitu 40,10 °C dalam waktu 45 menit.

5. Daftar Pustaka

- [1] Hartiyadi, Purwiyatno, Freeze Drying Technology, Food Review Indonesia, Vol.VIII. No 2, 2013
- [2] Puji Hastuti, Isti, Teknologi Pengawetan Buah Tomat Dengan Metode Freeze Drying, Metana, Vol. 6 No.: 01, 2009
- [3] Awa, Januari, Pengeringan Bbenkkuang dengan Sistem pengeringan Beku Vakum (*vacuum freeze drying system*), Skripsi, Jurusan Teknik Mesin, FT-UR, 2014
- [4] Holman, J.P., Heat Transfer, McGraw-Hill, 2010
- [5] Gengel, Yunus A, Heat and Mass Transfer- Fundamentals and Applications, 5th Edition, McGraw-Hill, 2015.
- [6] Zaccar, A. Analysis of coiled-tube heat exchangers to improve heat transfer rate with spirally corrugated wall. International Journal of Heat and Mass Transfer. 2010, pp. 3928-3939.
- [7] Prabhanjan, D.G., Raghavan, G.S.V., Rennie, T.J. *Comparison Of Heat Transfer Rates Between A Straight Tube Heat Exchanger And A Helically Coiled Heat Exchanger*. International Communications in Heat and Mass Transfer. 2002, pp. 185-191.

