

# PERANCANGAN DAN PEMBUATAN KONDENSER UNTUK SISTEM REFRIGERASI PADA PENERING BEKU VAKUM BENGKUANG BERKAPASITAS MAKSIMUM 5 KG

Hendri Paulus<sup>1</sup>, Awaludin Martin<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>hendri.paulus0515@student.unri.ac.id, <sup>2</sup>awaludinmartin01@gmail.com

## Abstract

*Vacuum freeze drying is the latest technology in agricultural products that carry out the drying process, the vacuum freeze drying (VFD) method is a method that maintains color, aroma and taste. Freeze vacuum drying research by utilizing the exhaust heat of the condenser aims to optimize vacuum freeze drying so that the vacuum freeze drying process. The drying process with this method can reduce the energy consumption used by utilizing the condenser exhaust heat to accelerate the sublimation process of the water contained in the yam. In this research, a condenser has been successfully designed and made with an outer diameter of 0.0127 m and an inside diameter of 0.0102 m and a pipe length of 30.8 m.*

*Keywords: vacuum freeze-drying, condenser, refrigeration system*

## 1. Pendahuluan

Pengeringan beku vakum adalah sebuah teknologi terbaru pada produk pertanian yang melakukan proses pengeringan [1], metode *vacuum freeze drying* (VFD) merupakan metode yang mempertahankan warna, aroma dan rasanya [2], seperti yang dikatakan bahwa konsumen lebih membutuhkan banyak produk kering dengan kualitas organik yang lebih baik (tektur dan warna) dan tidak kehilangan nutrisinya [3]. Dengan peningkatan kualitas hidup yang berkelanjutan konsumen lebih membutuhkan banyak produk kering dengan kualitas organik yang lebih baik (tektur dan warna) dan tidak kehilangan nutrisinya. Dengan demikian, kehidupan ini memberikan prospek produk kering untuk dikembangkan [4].

Pada umumnya proses pengeringan beku vakum terdiri atas proses pembekuan (sekali proses vakum), proses pengeringan utama (primary drying) dan proses pengeringan kedua (secondary drying) [5]. Penelitian pengeringan vakum beku dengan memanfaatkan panas buang kondenser bertujuan untuk mengoptimalkan pengeringan vakum beku sehingga proses pengeringan vakum beku. Proses pengeringan dengan metode ini dapat mengurangi konsumsi energi yang digunakan dengan memanfaatkan panas buang kondensor untuk mempercepat proses sublimasi air yang terkandung pada bengkuang [6].

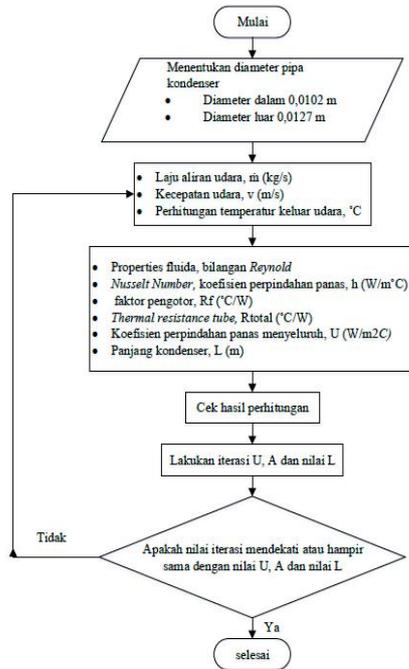
Seperti yang dilakukan Awaludin Berdasarkan penelitian sebelumnya, telah dilakukan penelitian *freeze vacuum drying* dengan memanfaatkan panas buang kondenser penelitian ini berhasil menghilangkan kadar air dalam bengkuang sebesar 78% dari pada temperatur beku  $-9^{\circ}\text{C}$  [7]. Pada penelitian Roe melakukan penelitian kaji eksperimental metode *freeze vacuum drying* menggunakan sistem pemanas pribadi dengan memanfaatkan panas kondensor. Kadar air maksimum yang hilang pada penelitian tersebut sebesar 77,2% dari masa bengkuang 1 kg pada temperatur dijaga konstan  $-6^{\circ}\text{C}$  [8].

Pada penelitian ini, hal yang dilakukan adalah melakukan perancangan dan pembuatan kondenser pada sistem refrigerasi pengering beku vakum. Perancangan dan pembuatan ini diharapkan mampu menjawab bagaimana cara menghitung panjang pipa kondenser yang berkapasitas produk berkisar 5 kg.

## 2. Metodologi

Penelitian ini menggunakan metode rancang bangun. Metode rancang bangun yang dilakukan adalah merancang dan pembuatan kondenser untuk sistem refrigerasi.

Diagram alir perancangan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir perancangan kondenser

Dimana untuk melakukan perhitungan dalam perancangan kondenser dimulai dengan mengetahui temperatur kedua sisi baik itu refrigeran maupun udara. Setelah didapatkan langkah selanjutnya mencari bilangan *reynold* kedua *fluida* dengan persamaan berikut ini [9] :

$$Re = \frac{v \times d}{\nu} \quad (1)$$

Kemudian mencari nilai *nusselt number* sesuai hasil perhitungan bilangan *reynold*, dimana Tabel NU pada tabel 1.

Tabel 1. Nusselt Number (ref : Chengel, 2016)

Arrangement	Range of Re	Correlation
In-line	0-100	$Nu = 0,9 Re^{0,4} Pr^{0,36} (Pr/Pr_s)^{0,25}$
	100-1000	$Nu = 0,52 Re^{0,5} Pr^{0,36} (Pr/Pr_s)^{0,25}$
	$1000^2 \times 10^5$	$Nu = 0,27 Re^{0,8} Pr^{0,4} (Pr/Pr_s)^{0,25}$
	$2 \times 10^5 \times 10^6$	$Nu = 0,033 Re^{0,8} Pr^{0,4} (Pr/Pr_s)^{0,25}$
Staggered	0-500	$Nu = 1,04 Re^{0,4} Pr^{0,36} (Pr/Pr_s)^{0,25}$
	500-1000	$Nu = 0,71 Re^{0,5} Pr^{0,36} (Pr/Pr_s)^{0,25}$
	1000- $2 \times 10^5$	$Nu = 0,35 (S_T/S_L)^{0,2} Re^{0,6} Pr^{0,36} (Pr/Pr_s)^{0,25}$
	$2 \times 10^5$ - $2 \times 10^6$	$Nu = 0,031 (S_T/S_L)^{0,2} Re^{0,6} Pr^{0,36} (Pr/Pr_s)^{0,25}$

Setelah didapatkan nilai tersebut maka langkah selanjutnya mencari nilai koefisien perpindahan panas pada kedua *fluida* menggunakan persamaan berikut ini [9] :

$$h = \frac{K}{d} \times Nu \quad (2)$$

Apabila nilai koefisien dari kedua jenis *fluida* didapatkan maka langkah selanjutnya adalah mencari nilai koefisien perpindahan pada sisi luar dan dalam *tube* menggunakan persamaan dibawah [9] :

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}} \quad (3)$$

Kemudian mencari nilai dari NTU yang dimana sebelum mencari nilai tersebut terlebih dahulu mencari nilai efektifitas dan persamaannya berikut ini [9] :

$$\epsilon = \frac{C_c \times (T_{c out} - T_{c in})}{C_{min} (T_{h in} - T_{c in})} \quad (4)$$

$$C = \frac{C_{min}}{C_{max}} \quad (5)$$

$$NTU = -\ln \left[ 1 + \frac{\ln(1 - \epsilon \times C)}{C} \right] \quad (6)$$

Setelah didapatkan nilai dari NTU kemudian mencari panjang *tube* sementara dengan persamaan sebagai berikut ini [9] :

$$NTU = \frac{U \times A_s}{C_{min}} \quad (7)$$

$$A_s = \frac{NTU \times C_{min}}{U} \quad (8)$$

$$L = \frac{A_s}{\tau \times d_i} \quad (9)$$

Karena pada saat bekerja *tube* akan mengalami korosi atau faktor lain yang disebut dengan faktor pengotor yang didapatkan dari tabel dan dipakai menurut penggunaannya yang dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Faktor pengotor (ref : Chengel, 2016)

Fluid	Rf, m <sup>2</sup> .°C/W	
Distilled water, sea water, river water, boiler water feedwater	Below 50C Above 50C	0,0001 0,0002
Fluel oil		0,0009
Steam (oil-free)		0,0001
Refrigerants (liquid)		0,0002
Refrigerants (vapor)		0,0004
Alcohol vapor		0,0001
Air		0,0004

Setelah didapatkan nilai faktor pengotor maka langkah selanjutnya mencari total *thermal*

*resistance tube* yang dipengaruhi oleh faktor pengotor, sebagai berikut ini [9] :

$$R = \frac{1}{h_i \times A_i} + \frac{R_{fi}}{A_i} + \frac{\ln(d_o/d_i)}{2 \pi \tau \times K \times L} + \frac{R_{fo}}{A_o} + \frac{1}{h_o \times A_o} \quad (10)$$

Setelah *thermal resistance tube* maka langkah selanjutnya mencari koefisienn perpindahan panas menyeluruh sebagai berikut [9] :

$$U = \frac{1}{R_{total} \times A} \quad (11)$$

Setelah nilai U didapatkan, maka untuk mencari luas permukaan *tube* ( $A_s$ ) dengan persamaan berikut ini [9] :

$$A_s = \frac{NTU \times C_{min}}{U} \quad (12)$$

Sehingga panjang *tube* yang dibutuhkan adalah [9] :

$$L = \frac{A}{\pi \times d_i} \quad (13)$$

Setelah didapatkan panjang maka langkah selanjutnya adalah melakukan iterasi dengan cara melakukan perhitungan ulang dimana panjang didapatkan digunakan untuk mencari luas dari tahanan thermal hingga akhirnya nanti nilai U dan L mendekati dengan nilai sebelumnya. Langkah ini disebut juga dengan *try end error* sehingga nantinya akan didapatkan nilai yang mendekati atau sama dengan nilai sebelumnya.

### 3. Hasil

Untuk melakukan perhitungan kondenser maka harus ada parameter yang dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3 parameter awal

Parameter	refrigeran	Udara
Temperatur masuk	66,7°C	33°C
Temperatur keluar	57,4°C	34,7°C
Laju aliran massa	8,8x10 <sup>-3</sup> kg/s	0,26 kg/s

Setelah didapatkan paramter awal maka langkah selanjutnya mencari properties fluida dari tabel A-11 untuk refrigeran dan A-9 untuk udara, seperti pada tabel 4.

Tabel 4. Properties fluida (ref : Chengel, 2016)

Parameter	Refrigeran	Udara
$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	561,7	1,149
K (w/m°C)	0,0427	0,026
V (m <sup>2</sup> /s)	1,42x10 <sup>-5</sup>	1,6521x10 <sup>-5</sup>
u (kg/ms)	6,6x10 <sup>-5</sup>	1,893x10 <sup>-5</sup>
Pr	2,021	0,7268

Setelah didapatkan properties dari *fluida*, maka dihitung untuk mencari panjang pipa yang akan

digunakan dengan hasil perancangan dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5 Rekapitulasi hasil perancangan kondenser

Parameter	Hasil
Temperatur masuk refrigeran	66,7 °C
Temperatur keluar refrigeran	57,4 °C
Temperatur masuk udara	33 °C
Temperatur keluar udara	34,7 °C
Nilai <i>reynold</i> refrigeran	13.719
Nilai <i>reynold</i> udara	2.858
Koefisien perpindahan panas refrigeran	260,3 w/m <sup>2</sup> °C
Koefisien perpindahan panas udara	56,7 w/m <sup>2</sup> °C
Koefisien perpindahan panas menyeluruh	44,9 w/m <sup>2</sup> °C
Panjang <i>tube</i> yang digunakan	30,8 m

Setelah dilakuan perhitungan maka langkah selanjutnya adalah melakukan pembuatan kondenser yang dimana dimulai dengan pemotongan panjang pipa sesuai dengan panjang dari sudu kipas, yang dimana proses potong pipa seperti pada gambar 1.



Gambar 1. Proses potong pipa

Setelah proses pemotongan dilakukan maka langkah selanjutnya adalah proses pembesaran ujung pipa agar dapat dilas, seperti dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Proses pembesaran pipa

Setelah semua pipa telah dibuat maka langkah selanjutnya adalah pembuatan dudukan pipa seperti pada gambar 3.



Gambar 3. Dudukan pipa kondenser

Selanjutnya adalah proses pengelesan pipa untuk proses penyambungan dan proses untuk kedudukan kondenser seperti dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Pembuatan kondenser

Setelah dilakukan proses pembuatan maka langkah selanjutnya adalah melakukan proses pengecekan kebocoran menggunakan tekanan kompresor dengan ditutup pada satu sisi kemudian dimasukkan kedalam air yang seperti pada gambar 5.



Gambar 5. Pengecekan kebocoran

Setelah selesai proses pembuatan dan pengecekan kebocoran maka hasil kondenser seperti dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Kondenser

#### 4. Kesimpulan

Simpulan dari penelitian ini yaitu telah berhasil dilakukan perancangan dan pembuatan kondenser untuk sistem refrigerasi pada pengering beku vakum yang fluida kerjanya adalah refrigeran dan udara. Refrigeran merupakan fluida kerja didalam pipa sedangkan udara merupakan fluida kerja bagian luar pipa. Pada penelitian ini didapatkan diameter luar pipa adalah 0,0127 m dan diameter dalam pipa adalah 0,0102 m dengan panjang pipa didapatkan adalah 30,8 m.

#### Daftar Pustaka

- [1]. Xu xin dkk. 2021. *Ultrasound freeze-thawing style pretreatment to improve the efficiency of the vacuum freeze-drying of okra (Abelmoschus esculentus (L.) Moench) and the quality characteristics of the dried product. Ultrasonics – Sonochemistry*. Vol. 70.
- [2]. Ö. Gökçe Kocabay, O, İsmail. 2017. *Investigation of rehydration kinetics of open-sun dried okra samples, Heat Mass Transf.* 53, 2155–2163.
- [3]. L. Wang, B. Xu, B. Wei, R. Zeng. 2018. *Low frequency ultrasound pretreatment of carrot slices: effect on the moisture migration and quality attributes by intermediate-wave infrared radiation drying, Ultrason. Sonochem.* 40, 619–628.
- [4]. X. Wang, Y. Feng, C. Zhou, Y. Sun, B. Wu, A.A. Yagoub, E.A.A. Aboagarib. 2019. *Effect of vacuum and ethanol pretreatment on infrared-hot air drying of scallion (Allium fistulosum), Food Chem.* 295, 432–440.
- [5]. Alhamid, M. Idrus, M. Yulianto, Nasruddin, Engkos A. Kosasih, *Development of a Compact Vacuum*

- Freeze Drying for Jelly Fish (Schypomedusae)*, Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering), 58 Suppl 2, 25–32, 2012
- [6]. Agustina dkk. 2020. Pemanfatan panas kondenser pada pengering beku vakum (*freeze vacuum drying*) bengkuang. Jurnal Energi dan Manufaktur Vol. 13 No. 1
- [7]. Martin, Awaludin dkk. 2016. *Freeze Vacuum Drying With Utilized Waste Heat of condenser by Quick Drying Method*” *Journal of Ocean, Mechanical and Aerospace-Science and Engineering-*, Vol. 30.
- [8]. Dhewaji, Roe Dwi, Awaludin Martin. 2020. Pengeringan Bengkuang Menggunakan *Freeze Vacuum Drying* Dengan Kapasitas 1 Kg, JOM FTEKNIK, Universitas Riau, Volume 7 No 1.
- [9]. Cengel, Yunus A dan Boles, Michael A. 2016. *An Approach of Engineering Thermodynamic*. New-York: McGraw-Hill.

*This work was supported by Project AKSI ADB UNRI has provided research funding through the Student Research Grants Program of Fiscal Year 2021 for Hendri Paulus*