

Pengembangan *Freeze Vacuum Drying* dengan Sistem Kendali Menggunakan *Reverse Valve*

Awaludin Martin¹, Jheri Hermanto¹, Dinni Agustina¹, Muhammad Akbar
Suriyanto¹, Sunny Ineza Putri¹, Nur Khotimah^{1*}

¹ Program Studi Sarjana Teknik Mesin, Universitas Riau Kampus Bina Widya, Panam KM
12,5 Pekanbaru, Indonesia

*Corresponding author: nurkhotimah052@gmail.com

Abstract

Post-harvest rice processing uses freeze vacuum drying to reduce water content and maintain grain quality efficiently. The development of a freeze vacuum drying prototype with a control system using the C language on the Arduino mega 2560 program and a reverse valve is analyzed for its performance (coefficient of performance - COP). This freeze vacuum dryer prototype has a maximum capacity of 10 kg of rice, the refrigerant used is R-134a, and the vacuum pressure is 5 bars below atmospheric pressure. The variations used in this study are the mass of rice grains 1, 5, and 10 kg. The refrigerant pressure was 14, 15, and 16 bars. The cooling temperature was -10°C and the drying temperature 40°C. The COP cooling and heating cycles for mass variations were 2.0 and 2.3 for 1 kg, 2.1 and 2.2 for 5 kg, and 2.2 and 2.1 for 10 kg, so this prototype performed better at larger masses. At pressure variations, the COP cooling and heating cycles were 1.6 and 2.3 for 16 bar, 2.2 and 2.3 for 15 bar, and 2.3 and 2.2 for 14 bar, so the prototype performed better at lower pressures.

Keywords: *paddy, freeze vacuum drying, refrigerant R-134a, coefficient of performance.*

Abstrak

Pengolahan padi pascapanen menggunakan metode freeze vacuum drying untuk menurunkan kadar air dan menjaga mutu gabah dengan efisien. Pengembangan prototipe pengeringan vakum beku atau *freeze vacuum drying* dengan sistem kendali menggunakan Bahasa C pada program Arduino mega 2560 serta *reverse valve* ditinjau unjuk kerjanya (*coefficient of performance* - COP). Prototipe pengering vakum beku ini memiliki kapasitas maksimum 10 kg beras, *refrigerant* yang digunakan adalah R-134a, dan tekanan vakum yang dapat dicapai adalah 5 bar di bawah tekanan atmosfer. Variasi yang digunakan pada penelitian ini adalah massa gabah padi yaitu 1, 5, dan 10 kg dan tekanan *refrigerant* pada 14, 15, dan 16 bar serta temperatur pendinginan diatur pada -10°C dan temperatur pengeringan pada 40°C. COP *cooling* dan *heating cycle* untuk variasi massa didapat nilai 2.0 dan 2.3 untuk 1 kg, 2.1 dan 2.2 untuk 5 kg, 2.2 dan 2.1 untuk 10 kg, sehingga prototipe ini memiliki unjuk kerja yang lebih baik pada massa yang lebih besar. Pada variasi tekanan didapat nilai COP *cooling* dan *heating cycle* adalah 1.6 dan 2.3 untuk 16 bar, 2.2 dan 2.3 untuk 15 bar, dan 2.3 dan 2.2 untuk 14 bar, sehingga prototipe memiliki unjuk kerja yang lebih baik pada tekanan yang lebih rendah.

Kata kunci: padi, pengeringan vakum beku, refrigeran R-134a, koefisien kinerja.

1. Pendahuluan

Padi merupakan makanan pokok masyarakat Indonesia karena mayoritas masyarakatnya mengkomsumsi beras yang diolah menjadi nasi. Salah satu proses penanganan pascapanen terhadap padi adalah dengan menurunkan kadar air yang terkandung pada gabah padi, proses ini dilakukan dengan menjemur di bawah sinar matahari dan ditempat yang luas [1]. Masalah yang dihadapi dari proses penjemuran ini yaitu cuaca yang tidak menentu sehingga tidak bisa melakukan penjemuran terhadap gabah padi, masalah

yang lain yaitu dalam hal penjemuran memerlukan lahan yang luas untuk menjemur gabah padi, dan memerlukan waktu yang cukup lama [2].

Besarnya masalah dalam upaya menjaga mutu gabah padi dan beras diperlukan adanya evaluasi koreksi lebih lanjut mengenai penanganan pascapanen gabah padi [3]. Dengan tujuan tersebut diharapkan agar para dosen dan para petani secara bersama-sama mencari solusi agar kerugian akibat penanganan pascapanen khususnya pada pengeringan gabah padi menjadi beras dapat ditekan sekecil

mungkin [4]. Salah satu metode yang efektif dalam mengawetkan makanan yaitu dengan proses pengeringan. Pengeringan merupakan suatu cara yang digunakan dalam teknologi pangan untuk memperpanjang masa simpan produk, dengan cara menguapkan sebagian besar kadar air, dengan menggunakan energi panas sehingga menghambat laju kerusakan bahan akibat aktivitas biologis dan kimia [5]. Penggunaan teknologi pengeringan yang paling sering yaitu *osmotic dehydration*, *vacuum drying*, *freeze-drying*, dan kombinasi berbagai teknologi pengeringan lainnya [6]. Metode pengeringan yang dilakukan secara signifikan dapat mempengaruhi kualitas bahan. Penting untuk memilih metode pengeringan yang sesuai untuk mendapatkan bahan kering berkualitas tinggi [7].

Metode pengeringan mekanis yang memiliki keunggulan adalah pengering beku vakum, yang merupakan kombinasi antara pengeringan beku dan pengeringan vakum [8]. dengan adanya proses pemvakuman maka akan mempercepat penguapan air, berdasarkan kenyataan bahwa air akan lebih mudah menguap di daratan tinggi dikarenakan tekanan udaranya lebih rendah. Berdasarkan fenomena tersebut maka proses pengeringan juga akan lebih mudah terjadi pada tekanan vakume [9].

Freeze vacuum drying adalah metode pengeringan yang dapat dilakukan untuk memperoleh kualitas produk yang serupa dan mengurangi konsumsi energi [10]. Perbedaan tekanan uap air antara zona beku dan gas embien merupakan gaya pendorong perpindahan massa, sehingga pada proses ini kandungan air pada makanan akan berkurang tanpa merubah bentuk dan kandungan yang terdapat pada makanan tersebut [11]. *Freeze vacuum drying* bekerja dalam temperatur rendah yang dapat mengurangi kerusakan fisik produk yang dikeringkan, serta kandungan air yang dapat dikontrol selama proses [12]. Proses diawali dengan pembekuan, kemudian dilakukan pengeringan dengan mempertahankan

tekanan dan suhu dibawah *triple point* sehingga terjadi perubahan fasa dari padatan kristal es menjadi uap (sublimasi) tanpa pelelehan. Kemudian, agar tidak membasahi produk yang dikeringkan uap air akan dikondensasikan dan disedot pada tekanan vakum. Produk yang dihasilkan akan kering berpori (porous) [13][14].

Beberapa penelitian telah mencoba melakukan kajian mengenai pengembangan pengeringan menggunakan metode *freeze vacuum drying*. dapat mengurangi kandungan air pada bengkuang sampai dengan 77,2% pada temperatur -6°C selama 4 jam. Alat ini juga dapat digunakan untuk menghilangkan kadar air pada susu skim sebanyak 50% dalam 2 jam, dengan laju pengeringan tertinggi mencapai 0,032 kg/jam dengan mengganti *tray* [15]. Kinetika pengeringan beku dipengaruhi oleh laju pembekuan dan laju perpindahan panas dan massa selama proses sublimasi. Proses pembekuan merupakan salah satu tahapan pengeringan beku yang membutuhkan energi tinggi [16].

Proses kerja yang terjadi pada *freeze vacuum drying* umumnya bekerja secara manual atau perpindahan pada proses satu ke yang lainnya memerlukan bantuan tenaga manusia. Untuk menontrol proses pembekuan dan proses pengeringan vakum, maka *freeze vacuum drying* akan dilengkapi dengan sistem kendali menggunakan *reverse valve*, alat ini berfungsi untuk mengontrol aliran *refrigerant* yang mengalir pada *freeze vacuum drying*. Kelebihan penelitian ini dengan penelitian terdahulu yaitu, alat *freeze vacuum drying* akan bekerja secara otomatis tanpa membutuhkan bantuan manusia.

Berdasarkan latar belakang ini maka tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah untuk melakukan pengembangan *freeze vacuum drying* dengan sistem kendali dengan bahasa C pada program arduino mega 2560 menggunakan *reverse valve*. Pembuatan *prototype* dan pengujian alat *freeze vacuum drying* dengan *reverse valve* yang dilengkapi *solenoid valve*

menggunakan sistem kendali dengan bahasa C pada arduino mega 2560 menggunakan gabah padi sebagai sampel penelitian. Lalu terakhir melakukan analisa data penelitian dari kadar air yang mampu dikurangi pada gabah padi dan data dari unjuk kerja (COP) dari alat uji yang telah dikembangkan.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Riau. Penelitian ini menggunakan alat *freeze vacuum drying* yang dilengkapi dengan sistem kendali menggunakan *motherboard* arduino mega 2560 lalu menggunakan *reverse valve* untuk merubah siklus kerja apa alat uji *freeze vacuum drying*. Adapaun *refrigerant* yang digunakan yaitu R-134a sebagai fluida pendinginnya lalu sampel yang diujikan pada penelitian ini yaitu gabah padi yang divariasikan berat massanya dan variasi dari tekanan *refrigerant*. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental dengan skema kerja *freeze vacuum drying* seperti terlihat pada gambar 1 dan gambar 2.

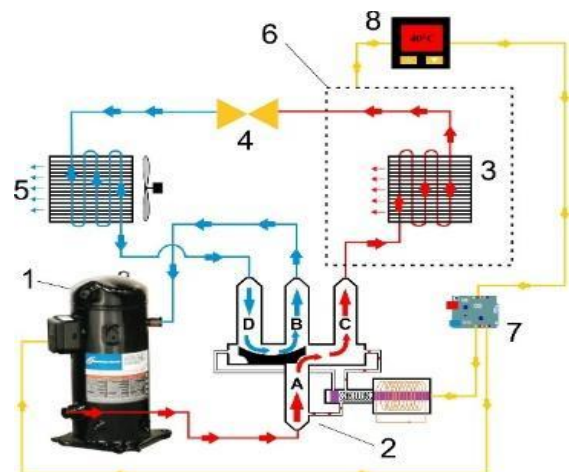


Gambar 1. Alat uji *freeze vacuum drying*

Gambar 1 adalah gambar alat dari *freeze vacuum drying*, dimana *freeze vacuum drying* (pengeringan vakum beku) adalah metode pengeringan yang digunakan untuk mengeringkan bahan dengan cara

membekukan terlebih dahulu dan kemudian menghilangkan airnya melalui proses sublimasi [17]. Proses ini digunakan untuk bahan-bahan yang sensitif terhadap suhu tinggi atau yang memerlukan perlakuan khusus untuk menjaga kualitasnya. Setelah bahan dibekukan, tekanan di sekitarnya dikurangi secara drastis, menciptakan kondisi vakum [18][19].

Tahapan pengering beku meliputi pembekuan larutan, menganulasikan larutan yang beku, mengkondisikannya pada vakum *ultra-high* dengan pemanasan pada kondisi sedang. Proses ini memungkinkan bahan untuk tetap dalam bentuk padat dengan kualitas dan aktivitas yang optimal, karena pengeringan terjadi pada suhu yang sangat rendah dan dalam keadaan vakum sehingga menghindari kerusakan yang dapat terjadi pada metode pengeringan lain yang menggunakan suhu tinggi atau proses penguapan konvensional [20].



Gambar 2. Skema *freeze vacuum drying*

Keterangan Gambar 2 yaitu : 1. Kompresor; 2. *Reverse valve*; 3. Kondensator; 4. Pipa kapiler; 5. Evaporator; 6. Ruang pengering; 7. Arduino mega 2560; 8. *Thermocouple*. Skema kerja dari alat uji ditunjukkan pada Gambar 2 dimana *refrigerant* akan keluar dari komprsr masuk menuju *reverse valve*, *reverse valve* berfungsi untuk mengubah siklus kerja dari alat uji dari siklus pendinginan ke siklus pengeringan. Selanjutnya *refrigerant* akan mengalir masuk ke ruang pengering menuju

kondensor, disini kondensor dan evaporator dapat berperan ganda disesuaikan dengan siklus yang bekerja pada alat uji saat itu. Selanjutnya dari ruang pengering refrigerant akan masuk ke pipa kapiler, fungsi pipa kapiler untuk menurunkan tekanan dan temperatur dari refrigerant dan akan dialirkan menuju evaporator luar ruang pengering. Refrigerant setelah dari evaporator akan masuk kembali ke reverse valve dan akan di teruskan masuk menuju kompresor dan siklus berurunglang seterusnya hingga thermocouple mencapai temperatur yang sudah di setting oleh arduino mega 2560. Arduino mega 2560 akan memastikan temperatur yang dibaca thermocouple dari ruang pengering sesuai yang di input programnya, selanjutnya apabila tercapai maka arduino mega 2560 akan memerintahkan reverse valve untuk merubah siklus kerja dari alat uji freeze vacuum drying.

Penelitian ini akan menguji unjuk kerja dari alat freeze vacuum drying yang telah dilengkapi sistem kendali dan menggunakan *reverse valve*, sampel yang akan diuji yaitu gabah padi dengan variasi massa 1 kg, 5 kg, dan 10 kg. Selanjutnya yang akan di kontrol disini yaitu temperature didalam ruang pengeringan, untuk siklus pendinginan temperature yang di tentukan yaitu -10°C dan untuk siklus pengeringan temperatur yang di tentukan yaitu 40°C . pada penelitian ini juga akan di uji dengan divariasikan tekanan dari *refrigerant* yang digunakan yaitu 14 bar, 15 bar, dan 16 bar. Pada pengujian ini alat-alat yang digunakan pada penelitian *freeze vacuum drying* dapat dilihat pada table 1.

Adapun persamaan yang digunakan yang digunakan untuk mencari unjuk kerja / *coefficient of performance* (COP) dan jumlah kadar air yang mampu dihilangkan pada pengujian ini terdapat pada tabel 2 [21] [22].

Tabel 2 adalah persamaan yang digunakan dalam penelitian ini dengan *coefficient of performance* (COP) sama dengan (QL) *cooling effect* (kW) dibagi dengan (Win) *work input* (kW). *Cooling*

effect (QL) dapat dicari dengan (h1) *enthalpy* titik 1 (kJ/kg) dikurang (h4) *enthalpy* titik 4 (kJ/kg). *Work input* (Win) dapat dicari dengan (h2) *enthalpy* titik 2 (kJ/kg) dikurang dengan (h1) *enthalpy* titik 1 (kJ/kg).

Tabel 1. Alat dan bahan

Nama	Spesifikasi
Kompresor	1 ¼ HP
<i>Refrigerant</i>	R-134a
<i>Reverse Valve</i>	HM185301
<i>Motherboard</i>	Arduino mega 2560
<i>Relay</i>	5V <i>relay module</i> 1 channel
<i>Thermocouple</i>	Tipe - K

Tabel 2. Persamaan untuk menghitung COP dan kadar

Parameter	Persamaan
<i>Coefficient of performance</i> (COP)	$\text{COP} = \text{QL}/\text{Win}$
<i>Cooling effect</i> (QL)	$\text{QL} = h1 - h4$
<i>Work input</i> (Win)	$\text{Win} = h2 - h1$
Kadar air dapat dikeringkan (Ka)	$\text{Ka} = \text{mp} \times \text{ka}(\text{panen})$
Massa hilang (Ma)	$\text{Ma} = m(\text{aw}) - m(\text{ak})$
Kadar air hilang (Kh)	$\text{Kh} = (\text{Ma}/\text{Ka}) \times 100\%$

Kadar air padi setelah dipanen adalah 25%, diaman untuk standar penyimpanannya adalah 10% [22]. Adapun untuk (Kh) kadar air hilang (%) dapat dicari dengan massa yang hilang (Ma) dibagi dengan kadar air dapat dikeringkan (Ka) dikali dengan 100%. Untuk mencari (Ma) massa air yang hilang (kg) sama dengan m(aw) massa awal (kg) dikurang dengan m(ak) massa akhir (kg). untuk mencari (Ka) kadar air dapat dikeringkan (g) sama dengan

(mp) massa padi (kg) dikurang dengan (Ka(panen)) kadar air (panen) yaitu 25%.

3. Hasil dan Pembahasan

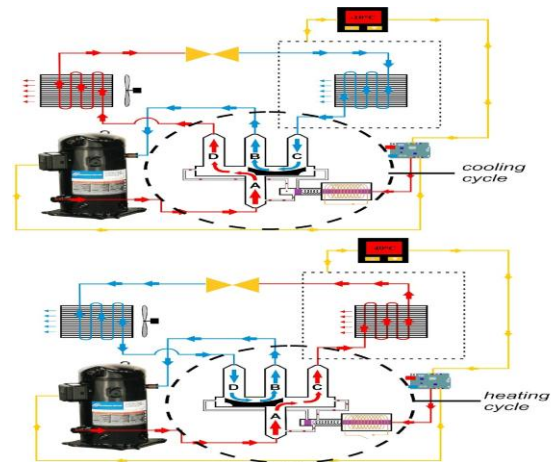
Hasil yang diharapkan dari pengujian ini yaitu mampu melakukan pengembangan *freeze vacuum drying* dengan sistem kendali, selanjutnya untuk mengetahui COP dari kerja alat uji *freeze vacuum drying* yang telah dikembangkan, dan terakhir untuk mengetahui jumlah kadar air yang mampu dihilangkan setelah dilakukan pengembangan pada alat uji.

1. Pengujian sistem kendali

Pengujian ini untuk mengetahui apakah sistem kendali yang dikembangkan berfungsi dengan baik, sistem kendali pada alat uji *freeze vacuum drying* berfungsi untuk mengendalikan siklus kerja dan mematikan kompresor dari alat uji dengan menggunakan sensor temperatur. Komponen yang digunakan dalam pengujian ini yaitu satu unit arduino mega 2560, modul sensor temperatur *max6675* sebanyak lima buah untuk membaca temperatur dari *incondensor* dan *outcondensor*, *inevaporator* dan *outevaporator*, dan pada ruang pengering, selanjutnya menggunakan 2 buah *relay* untuk memutus dan menghubungkan aliran listrik yang mengalir pada *reverse valve* dan kompresor. Pengujian yang telah dilakukan menggunakan sistem kendali *close loop* dimana bertujuan untuk mengontrol *output* dari program yang di *input* sehingga hasil yang diinginkan akan sesuai pada *input* yang dimasukan kedalam program.

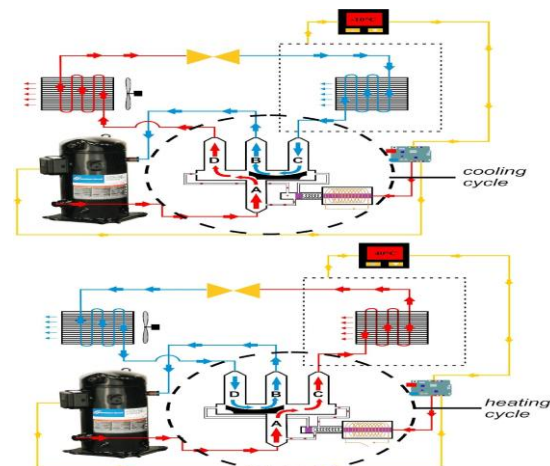
Gambar 3 dapat dilihat *input* yang dimasukan yaitu temperatur -10°C untuk siklus pendinginan arduino mega 2560 akan mengontrol dan memastikan *output* dari sistem -10°C , selama proses siklus pendinginan arduino mega 2560 akan memerintahkan *relay* yang terhubung ke *reverse valve* hidup sehingga arus listrik akan mengalir dan solenoid valve pada *reverse valve*. Sebagian *refrigerant* akan mendorong katup untuk menutup saluran C dan B sehingga *refrigerant* dari kompresor akan mengalir masuk melalui *reverse valve*

pada saluran A menuju saluran D yang akan masuk kedalam kondensor *outdoor*. Setelah dari kondensor *refrigerant* akan mengalir masuk menuju pipa kapiler dan masuk kedalam evaporator lalu keluar masuk kembali ke dalam *reverse valve* pada saluran C dan keluar pada saluran B dan kembali ke kompresor untuk mengulang siklus pendingin hingga sampai temperatur ruang pengering -10°C .



Gambar 3. Skema sistem kendali *cooling cycle*

Output telah mencapai suhu yang diinginkan maka arduino mega 2560 memutus arus listrik pada *reverse valve* sehingga siklus berubah ke siklus pemanasan dimana temperatur yang diinginkan yaitu 40°C maka program akan menginput program 40°C sehingga arduino mega 2560 akan mengontrol dan memastikan *output* dari siklus pemanasan tetap hingga 40°C dan ditahan selama 6 jam lalu proses kerja dimatikan.

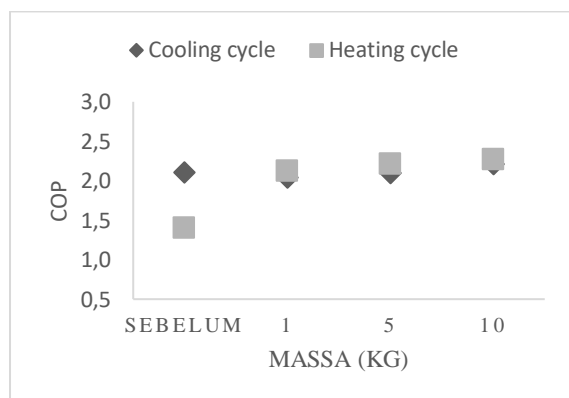


Gambar 4. Skema sistem kendali *heating cycle*

Pada siklus pemanasan seperti gambar 5 arduino mega 2560 akan memutar arus yang mengalir pada *relay* yang terhubung ke *reverse valve* sehingga siklus akan berubah dan arah aliran *refrigerant* akan berubah. *Refrigerant* keluar dari kompresor akan mengalir masuk melalui saluran A dan sebagian akan masuk untuk mendorong katup untuk menutup saluran D dan B dan kembali masuk dan keluar dari *reverse valve* dari saluran C masuk ke dalam kondensor didalam ruang pengering, setelah melalui kondensor ruang pengering *refrigerant* akan mengalir menuju pipa kapiler dan masuk kedalam evaporator *outdoor*, lalu keluar dan kembali masuk ke *reverse valve* dari saluran D dan keluar melalui saluran B dan terakhir kembali menuju kompresor.

2. Pengujian *freeze vacuum drying*

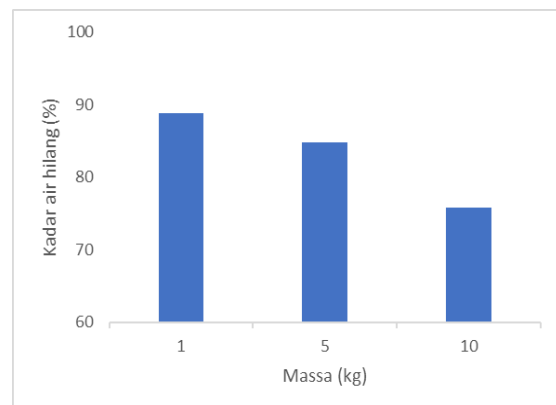
Berdasarkan hasil penelitian pada alat uji *freeze vacuum drying* yang dikembangkan dengan sistem kendali menggunakan *motherboard* berupa arduino mega 2560 yang mengontrol aliran fluida *refrigerant* R-134a pada *reverse valve* dengan sampel massa yang divariasikan 1 kg, 5 kg, 10 kg, dan variasi tekanan 14 bar, 15 bar, dan 16 bar.



Gambar 5. Grafik COP *cooling cycle* & *heating cycle*

Gambar 5 grafik COP pengujian *freeze vacuum drying* dengan nilai COP yang dihasilkan pada *cooling cycle* sebelum dilakukan pengembangan [23], [24] didapati yaitu 2.1 adapun setelah dilakukan pengembangan pada massa 1 kg, 5 kg, dan

10 kg padi yaitu 2.0, 2.1, dan 2.2, untuk nilai COP *heating cycle* yang didapati sebelum dilakukan pengembangan yaitu 1.4 dan setelah dilakukan pengembangan didapati 2.1, 2.2, 2.3. Pada penelitian yang dilakukan [23], [24] alat uji *freeze vacuum drying* untuk merubah siklus kerjanya masih dilakukan secara manual menggunakan keran untuk membuka menutup saluran, sehingga bukaan keran pada saat pergantian siklus tidak dapat dibuka penuh secara langsung, akibatnya jika dibuka penuh keran akan mengalami kebocoran. Pada penelitian ini perubahan siklus kerja pada alat uji dilakukan secara otomatis sehingga tidak perlu khawatir jika terbuka penuh akan mengalami kebocoran karena siklus sudah di atur menggunakan *reverse valve*.

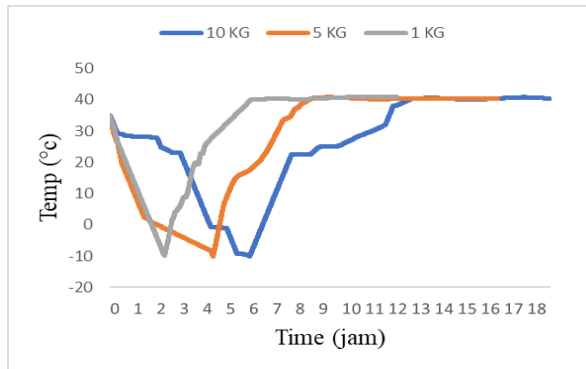


Gambar 6. Grafik kadar air hilang vs massa

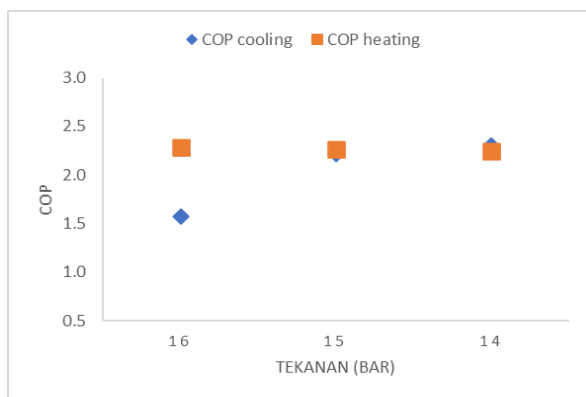
Hasil pengujian pengeringan padi dengan alat uji *freeze vacuum drying* didapati hasil seperti gambar 6, untuk massa sampel 1 kg didapati kadar air yang hilang yaitu 89%, pada massa sampel 5 kg kadar air yang hilang yaitu 85%, dan massa 10 kg yaitu 76%. Fenomena ini terjadi karena luas daerah gabah padi yang dikeringkan berbanding lurus dengan banyaknya massa dari gabah padi itu, artinya semakin sedikit gabah padi yang dikeringkan semakin luar dan merata gabah padi dapat diletakkan pada penampang agar tidak ada padi yang tertimpa tindih sehingga gabah padi kering merata.

Pada gambar 7 pengujian pada massa 1 kg memakan waktu pengeringan yaitu 12.3 jam, lalu pada pengujian 5 kg memakan

waktu pengeringan 16.5 jam, dan pada pengeringan pada massa 10 kg memakan waktu 19 jam. Variasi selanjutnya yang akan digunakan yaitu variasi tekanan pada *refrigerant* yang mengalir pada siklus *cooling & heating* dari alat uji *freeze vacuum drying*.



Gambar 7. Grafik temp vs waktu

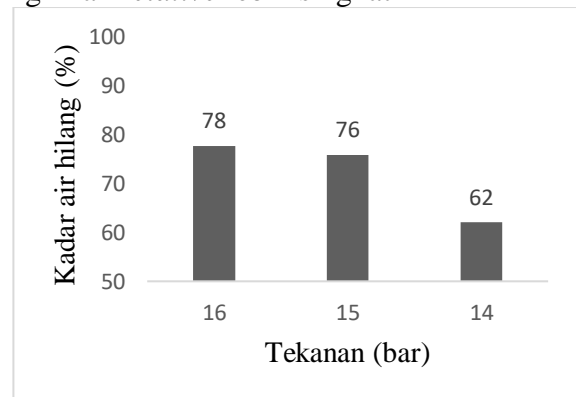


Gambar 8. Grafik COP *cooling & heating* dengan variasi tekanan pada 10 kg padi

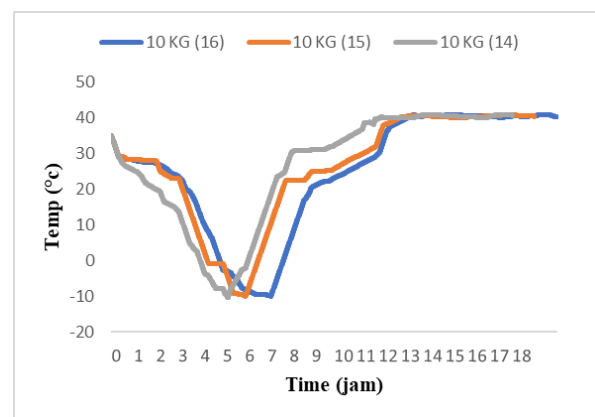
Dari hasil pengujian yang terdapat pada gambar 8 COP *freeze vacuum drying* pada tekanan 16 bar, 15 bar dan 14 bar yaitu pada *cooling cycle* 1.6, 2.2, dan 2.3, adapun pada *heating cycle* 2.3, 2.3, dan 2.2. Dari gambar 8 diatas juga dapat dibahas bahwa semakin tinggi tekanan suatu *refrigerant* pada saat *cooling cycle* nilai COP yang didapatkan semakin rendah karena pada saat penurunan tekanan dan temperatur didalam pipa kapiler, pipa kapiler tidak mampu atau kurang maksimal karena panjang dari pipa kapiler kurang cukup.

Pada gambar 9 adalah hasil pengujian pengeringan gabah padi dengan variasi tekanan dan didapati kadar air yang dapat dihilangkan pada tekanan 16 bar yaitu sebesar 78%, pada tekanan 15 bar kadar air

yang mampu di hilangkan sebesar 76%, dan pada tekanan 14 bar yaitu sebesar 62%. Dari pengujian ini dapat dilihat bahwa semakin tinggi tekanan suatu aliran *refrigerant* didalam sistem *freeze vacuum drying* maka jumlah kadar air yang mampu dihilangkan semakin tinggi. Dalam kasus ini setiap kelebihan pasti ada kekurangannya, dalam hal ini kekurangan dari tekanan 16 bar yaitu susah untuk mencapai temperatur *freezing* yang diinginkan seperti gambar 8 diatas, dan tekanan 14 bar meskipun kadar air yang dapat dihilangkan tidak terlalu tinggi tapi disisi lain memiliki keuntungan yaitu waktu proses mencapai temperatur *freezing* yang diinginkan *relative* lebih singkat



Gambar 9. Grafik kadar air hilang vs tekanan massa 10 kg padi



Gambar 10. Grafik temp vs waktu pada variasi tekanan pada 10 kg padi

Pada gambar 10 pengujian variasi tekanan pada 16 bar memiliki lama waktu pengujian 19.7 jam, pada proses *freezing* tekanan 16 bar memakan waktu lebih lama karena pipa kapiler tidak mampu untuk menurunkan tekanan dan temperatur dari tekanan 16 bar. Untuk tekanan 15 bar

memiliki lama waktu pengeringan 19 jam. Terakhir pada pengujian 14 bar memiliki waktu pengeringan 18 jam.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan [25] untuk mengukur efisiensi mesin pengering beku vakum pada pengeringan cabai merah didapati hasil secara berturut-turut, rata-rata dari COP aktual, COP carnot, dan efisiensi refrigerasi dari mesin pendingin pengering beku vakum adalah 3,33; 6,18; dan 53,71%. Cabai kering yang dihasilkan dari pengering beku vakum telah memenuhi kadar air yang sesuai dengan SNI No. 01-3389-1994, yaitu pada temperatur 50°C dan 55°C dengan kadar air 10,66% dan 9,50% .

4. Kesimpulan

Pengering beku vakum ini memiliki kapasitas maksimal 10 kg gabah padi dimana *refrigerant* yang digunakan adalah R-134a. Tekanan vakum yang dapat dicapai adalah 5 bar dibawah tekanan atmosfer. Penelitian ini dapat kita ketahui proses kerja dari *freeze vacuum drying* dengan sistem kendali menggunakan *reverse valve* dengan massa padi 1 kg dapat mengurangi kadar air sebesar 89% selama 12,1 jam, dengan massa padi 5 kg dapat mengurangi kadar air sebesar 85% selama 16,5 jam, dan dengan massa padi 10 kg dapat mengurangi kadar air sebesar 76% selama 19 jam. Penelitian ini dapat kita ketahui *Coefficient of performance* (COP) dari siklus *refrigerant* alat uji *freeze vacuum drying* pada *cooling cycle* untuk massa 10 kg, 5 kg, dan 1 kg yaitu 2.2, 2.1, dan 2.0. Untuk *heating cycle* untuk massa 10 kg, 5 kg, dan 1 kg yaitu 2.3, 2.2, dan 2.1. COP alat *freeze vacuum drying* lebih baik saat digunakan untuk beban yang lebih besar 10 kg baik pada siklus pendinginan maupun pemanasan, COP menurun saat beban dikurangi terutama pada siklus pendinginan dengan massa 1 kg namun alat ini tetap mempertahankan efisiensi pemanasannya pada beban yang lebih rendah.

Pada penelitian ini dengan memvariasikan tekanan pada massa 10 kg

padi 16 bar, 15 bar dan 14 bar. Pada tekanan 16 bar dapat menunjukkan bahwa COP pada *cooling cycle* 1.6 dan *heating cycle* 2.3 dengan kadar air mampu dihilangkan yaitu 78% selama 19,8 jam. Pada tekanan 15 bar diperoleh COP *cooling cycle* 2.2 dan *heating cycle* 2.3 dengan kadar air yang mampu dihilangkan yaitu 76% selama 17,5 jam pengujian. Dan pada tekanan 14 bar diperoleh COP *cooling cycle* 2.3 dan *heating cycle* 2.2 dengan kadar air yang mampu dihilangkan yaitu 62% selama 17.5 jam waktu pengujian.

Referensi

- [1] D. Izaldi, G. S. Lubis, and M. Ivanto, "Rancang Bangun Mesin Pengering Gabah Padi Dengan Menggunakan Bahan Bakar Sekam Padi Sebagai Sumber Energi Panas Yang Dihasilkan.," *J. Teknol. Rekayasa Tek. Mesin*, vol. 4, no. 2, pp. 111–116, 2021.
- [2] M. W. Sugeng, R. D. Wulandari, and E. D. Setijowati, "Penyuluhan Tentang Makanan yang Dianjurkan untuk Anak Berkebutuhan Khusus (ABK) Hiperaktif," *J. Abdidas*, vol. 2, no. 5, pp. 1120–1126, 2021, doi: 10.31004/abdidas.v2i5.424.
- [3] S. Lestari and F. Kurniawan, "Pemutuan Fisik Gabah Dan Beras Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI)," *J. Appl. Agric. Sciences*, vol. 5, no. 2, pp. 159–168, 2021.
- [4] S. Lestari and F. Kurniawan, "Pemutuan Fisik Gabah dan Beras Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI)," *Agriprima J. Appl. Agric. Sci.*, vol. 5, no. 2, pp. 159–168, 2021, doi: 10.25047/agriprima.v5i2.438.
- [5] T. J. Widagdo and D. M. Kamal, "PROTOTYPE PENDINGER BEKU ATMOSFERIK UNTUK," pp. 12–14, 2021.
- [6] Y. Feng *et al.*, "Effect of freeze-thaw cycles pretreatment on the vacuum freeze-drying process and physicochemical properties of the dried garlic slices," *Food Chem.*, vol.

- 324, no. September 2019, p. 126883, 2020, doi: 10.1016/j.foodchem.2020.126883.
- [7] H. P. Panjaitan, "Perancangan Dan Pembuatan Sistem Refrigerasi Pada Sistem Pengerian Beku Vakum Bengkuang Berkapasitas Maksimum 5 Kg," vol. 8, pp. 1–5, 2021, [Online]. Available: https://digilib.unri.ac.id/index.php?p=show_detail&id=98561&keywords=
- [8] M. Hatta, A. Syuhada, and Z. Fuadi, "Sistem Pengeringan Ikan Dengan Metode Hybrid," *J. Polimesin*, vol. 17, no. 1, pp. 9–18, 2019.
- [9] L. Stratta, L. C. Capozzi, S. Franzino, and R. Pisano, "Economic Analysis of a Freeze-Drying Cycle," 2020.
- [10] B. W. Kanwate, R. V. Ballari, and T. G. Kudre, "Influence of spray-drying, freeze-drying and vacuum-drying on physicochemical and functional properties of gelatin from *Labeo rohita* swim bladder," *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 121, pp. 135–141, 2019, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2018.10.015.
- [11] Y. Feng *et al.*, "Effect of freeze-thaw cycles pretreatment on the vacuum freeze-drying process and physicochemical properties of the dried garlic slices," *ScienceDirect*, p. 9, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126883>.
- [12] D. Agustina, R. . Dhewaji, and A. Martin, "Pemanfaatan Panas Kondenser pada Pengerian Beku Vakum (Freeze Vacuum Drying) Bengkuang," *J. Energi dan Manufaktur*, vol. 13, no. 1, pp. 32–36, 2020.
- [13] G. Assegehegn, E. B. la Fuente, and J. M. Franco, "The Importance of Understanding the Freezing Step and Its Impact on Freeze-Drying Process Performance," *ScienceDirect*, p. 18, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.xphs.2018.1>
- 1.039.
- [14] M. Zielinska and D. Zielinska, "Effects of freezing, convective and microwave-vacuum drying on the content of bioactive compounds and color of cranberries," *Lwt*, vol. 104, no. January, pp. 202–209, 2019, doi: 10.1016/j.lwt.2019.01.041.
- [15] Y. Liu, Z. Zhang, and L. Hu, "High efficient freeze-drying technology in food industry," *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, vol. 62, no. 12, pp. 3370–3388, 2022, doi: 10.1080/10408398.2020.1865261.
- [16] Y. Ando *et al.*, "Effects of prefreezing on the drying characteristics, structural formation and mechanical properties of microwave-vacuum dried apple," *J. Food Eng.*, vol. 244, pp. 170–177, 2019, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2018.09.026.
- [17] I. R. Banurea, "Karakterisasi Nasi Instan yang Diproduksi dengan Metode Freeze Vacuum Drying," *J. Agro-based Ind.*, vol. 2, no. 37, 2020.
- [18] Z. Lihui *et al.*, "Effects of ultrahigh pressure and ultrasound pretreatments on properties of strawberry chips prepared by vacuum-freeze drying," *ScienceDirect*, p. 9, 2019.
- [19] M. Harguindeguy and D. Fissore, "On the effects of freeze-drying processes on the nutritional properties of foodstuff: A review," *Dry. Technol.*, vol. 38, no. 7, pp. 846–868, 2020, doi: 10.1080/07373937.2019.1599905.
- [20] A. G. Damayanti, R. Ulfa, and B. Setiawan, "Proses Pengeringan Gabah Pada Industri Pembenihan Padi Di PT. Padi Nusantara Mangir-Rogojampi," *J. Teknol. Pangan Dan Ilmu Pertan.*, vol. 3, no. 1, 2021.
- [21] Y. Cengel, M. Boles, and M. Kanoglu, *Thermodynamics: An Engineering Approach edition 9*. McGraw-Hill Education, 2018.
- [22] D. Izaldi, G. S. Lubis, and M. Ivanto,

- “Rancang Bangun Mesin Pengering Gabah Padi Dengan Menggunakan Bahan Bakar Sekam Padi Sebagai Sumber Energi Panas Yang Dihasilkan,” *J. Teknol. Rekayasa Tek. Mesin*, vol. 4, no. 2, pp. 111–116, 2023.
- [23] S. Ramadan, “Rancang Bangun Dan Pengujian Indoor & Outdoor Kondenser Pada Pengeringan Beku Vakum Untuk Aplikasi Pembenihan Bibit Padi,” Universitas Riau, 2023.
- [24] N. Simangunsong, “Rancang Bangun Dan Pengujian Indoor Dan Outdoor Evaporator Pada Pengering Beku Vakum Untuk Aplikasi Pembenihan Bibit Padi,” Universitas Riau, 2023.
- [25] I. Purnamasari, R. Fajar, and J. Srijaya Negara Bukit Besar Palembang, “EFISIENSI MESIN PENGERING BEKU VAKUM PADA PENGERINGAN CABAI MERAH (*Capsicum annum* L.) MACHINE EFFICIENCY OF VACUUM FREEZE DRYER IN RED CHILI (*Capsicum annum* L.) DRYING,” *J. Kinet.*, vol. 11, no. 01, pp. 1–8, 2020, [Online]. Available: <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/index>