

PENGERINGAN BENGKUANG DENGAN SISTEM PENGERINGAN BEKU VAKUM (*VACUUM FREEZE DRYING SYSTEM*)

Awal Januari S¹, Awaludin Martin²

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

Kampus Bina Widya Km.12,5 Simpang Baru Pekanbaru 28293

¹djounero@gmail.com, ²awaludinmartin01@gmail.com

ABSTRACT

One of the areas in Riau Province which produce commodity of yam bean is Bukit Payung Village, District of Bangkinang Seberang. Endurance of fresh yam bean is not longer in time, marketing can not spread and low resale value. It required a technology of post-harvest processing to overcome these problems of yam bean. In this study conducted by preservation using vacuum freeze drying method. The amis of these studies are to produce a vacuum freeze drying machine of yam bean; dry yam bean to 90% moisture content lost; studied the effect of vacuum freeze drying process to the characteristics of vacuum freeze-drying. The methods used in this research are design methods and experimental methods. Vacuum freeze drying machine of yam bean was successfully made according to the needs of vacuum freeze drying and in accordance with the draft. Based on the test results it can be concluded that the maximum content of water lost 62% is carried by the rapid freezing method. Based on the material phase change in testing, the best method for the sublimation process is by kept temperature constant at -5°C.

Keywords: *vacuum freeze drying, moisture, temperatur, yam bean.*

1. Pendahuluan

Bengkuang merupakan tumbuhan semak semusim yang tumbuh membelit. Menurut Rahayu (2012), salah satu daerah penghasil komoditi bengkuang di Provinsi adalah Desa Bukit Payung, Kecamatan Bangkinang Seberang, Kabupaten Kampar [1]. Ciri-ciri bengkuang adalah umbi berakar tunggal, kulit luar berwarna krem atau cokelat, warna daging putih, daun majemuk, bunga berkelopak dan berwarna cokelat, sedangkan mahkota bunga 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. 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), daerah distribusi tidak bisa menyebar luas dan nilai jualnya rendah sehingga

keuntungan juga rendah dan pada saat panen raya dapat menyebabkan petani mengalami kerugian besar.

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 [2]. Oleh karena itu diperlukan suatu penanganan berupa teknologi pengolahan pascapanen bengkuang menjadi produk yang lebih awet. Dengan demikian, akan dapat menambah nilai jual bengkuang. Untuk itu diperlukan suatu teknologi pengolahan pascapanen bengkuang untuk mengatasi masalah tersebut. Dalam penelitian ini dilakukan dengan cara pengawetan menggunakan metode pengeringan beku pembekuan vakum.

Metode ini masih belum pernah dilakukan untuk mengeringkan bengkuang. Metode ini memiliki prospektif yang baik untuk diterapkan. Pengeringan bengkuang dengan metode pembekuan vakum secara ekonomis memiliki keuntungan yang relatif cukup besar, dimana untuk menghasilkan bengkuang kering (ekstrak bengkuang) sebanyak 1kg secara perhitungan matematis dapat menghasilkan laba sebesar Rp ±250.000. Bengkuang kering dapat dimanfaatkan sebagai bahan campuran pembuatan kosmetika, obat herbal dan makanan kering seperti keripik bengkuang, manisan kering, dan lain-lain.

Tujuan penelitian ini ialah untuk menghasilkan mesin pengering beku vakum bengkuang, mengeringkan

bengkuang hingga 90% kadar air yang hilang serta mempelajari pengaruh proses pengeringan beku vakum bengkuang terhadap karakteristik pengeringan beku vakum.

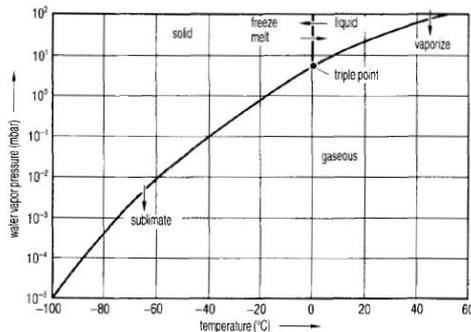
Belyamin (2008;2011) dan Arlisdianto (2012) telah berhasil melakukan pengeringan beku lidah buaya (*aloevera*) yang mengandung kadar air sebesar 98,7% [3],[4],[5]. Pujihastuti (2009) telah melakukan pengeringan beku tomat yang mengandung kadar air sebesar 93,4% [6]. Marques dan Freire (2004) telah melakukan pengeringan beku nenas yang mengandung kadar air sebesar 85,30% [7]. Siregar (2004) telah melakukan kajian pengeringan beku dengan pembekuan vakum terhadap daging buah durian yang mengandung kadar air sebesar 60,82% [8]. Lisnawati (1997) dan Tambunan (2000) telah melakukan kajian dan simulasi karakteristik pengeringan beku daging sapi giling, yang mengandung kadar air sebesar 60% [9],[10]. Zainuddin (2003) telah berhasil melakukan rancang bangun peralatan dan analisis karakteristik pembekuan vakum udang windu dengan kadar air sebesar 75,19% [11].

2. Tinjauan Pustaka

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. Menurut Pujihastuti, keunggulan produk hasil pengeringan beku antara lain adalah dapat mempertahankan stabilitas produk, dapat

mempertahankan stabilitas struktur bahan, dapat meningkatkan daya rehidrasi. Pengeringan beku sangat dikenal pada proses liofilisasi (*lyophilization*) produk.

Sesuai dengan namanya *freeze drying*, kadar air dalam produk terlebih dahulu akan diubah menjadi es yang kemudian es tersebut akan diubah fasanya secara sublimasi pada temperatur dan tekanan dibawah *triple point* dalam diagram fasa air. Penentuan massa dibawah kondisi vakum merupakan hal yang tidak mudah untuk dilakukan. Kondisi batas operasi dari beberapa sensor yang terjadi dan ukurannya pun dapat terpengaruh dari beberapa gangguan, seperti getaran, aliran gas dan *gradient* temperatur [6].

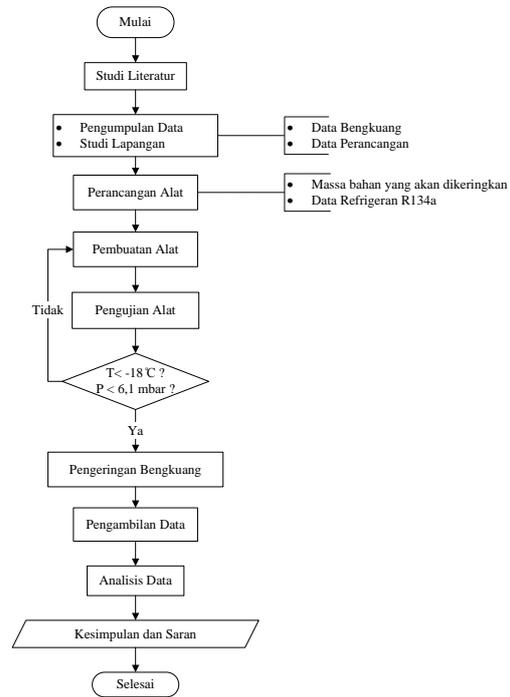


Gambar 1. Diagram Fase Air

3. Metode Penelitian

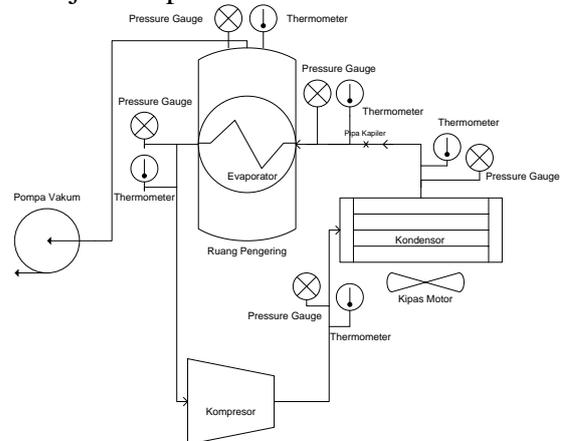
Penelitian ini menggunakan metode rancang bangun dan eksperimen. Metode rancang bangun dilakukan untuk perancangan, pembuatan, dan uji kinerja mesin pengering beku vakum bengkung. Metode eksperimen dilakukan untuk pengujian pengering beku vakum bengkung untuk mengetahui pengaruh pengeringan beku vakum terhadap karakteristik pengeringan beku vakum.

Adapun diagram alir penelitian ini seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



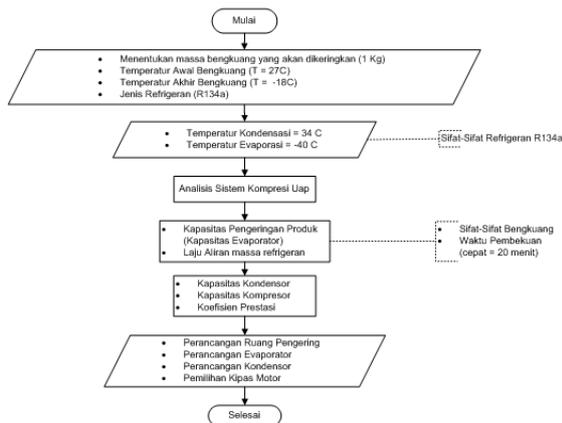
Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Dalam perancangan mesin pengering beku vakum bengkung dua komponen utama yang dirancang, yakni ruang pengering dan sistem refrigerasi. Skema mesin pengering beku vakum bengkung yang dirancang ialah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema Mesin Pengering Beku Vakum Bengkung

Perancangan mesin pengering beku vakum meliputi perancangan ruang pengering dan perancangan sistem refrigerasi. Dalam perancangan sistem refrigerasi komponen yang dirancang ialah evaporator dan kondensor. Adapun diagram alir perancangan mesin pengering beku vakum bengkung ialah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.

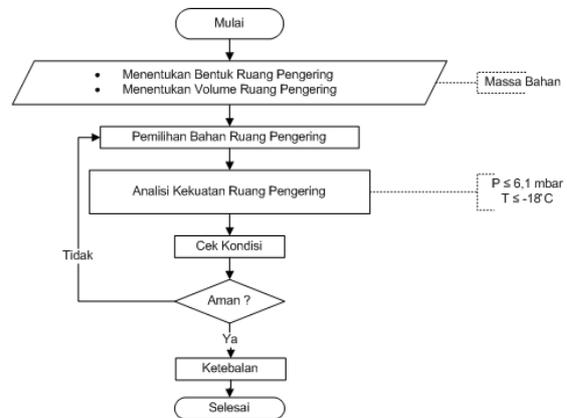


Gambar 4. Diagram Alir Perancangan Mesin Pengering Beku Vakum Bungkung

Perancangan ruang pengering dimulai dengan mengetahui massa bahan yang akan dikeringkan kemudian volume dan bentuk ruang pengering disesuaikan dengan massa bahan yang dikeringkan. Berdasarkan kapasitas bahan yang akan dikeringkan maka dihitung besarnya volume ruang pengering yang dibutuhkan.

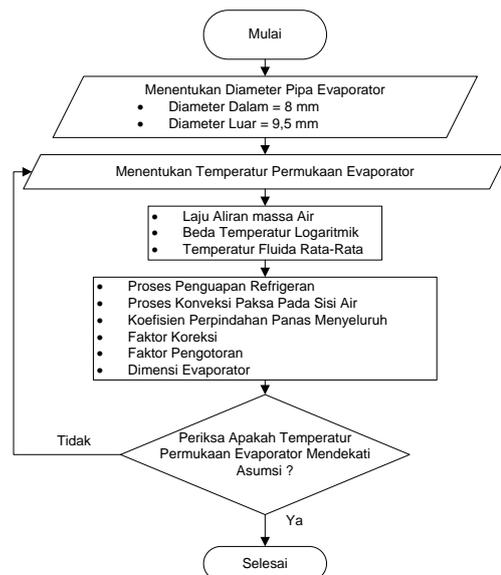
Perhitungan ketebalan ruang pengering dan penutup ruang pengering yang dibutuhkan dilakukan untuk mengetahui kekuatan bahan sesuai dengan yang diharapkan yakni mampu menahan tekanan serta temperatur yang akan tercapai dalam ruang pengering. Untuk mengetahui proses perancangan ruang pengering ialah seperti yang ditunjukkan

pada diagram alir perancangan ruang pengering yakni seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.

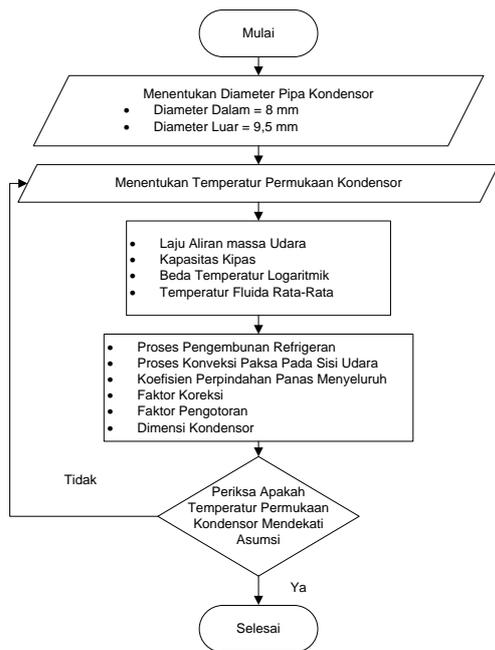


Gambar 5. Diagram Alir Perancangan Ruang Pengering

Sistem refrigerasi berfungsi untuk membekukan bengkung serta mengondensasi uap air bengkung. Adapun diagram alir perancangan evaporator dan kondensor ialah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6 dan Gambar 7.

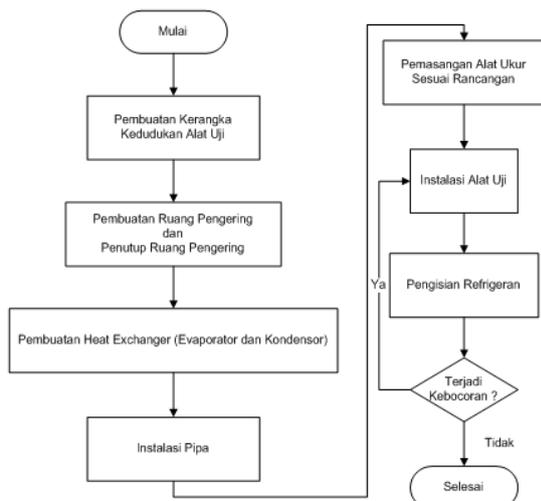


Gambar 6. Diagram Alir Perancangan Evaporator



Gambar 7. Diagram Alir Perancangan Kondensor

Dalam pembuatan mesin pengering beku vakum bengkung, komponen yang dibuat ialah kedudukan alat uji, ruang pengering, evaporator dan kondensor. Adapun diagram alir pembuatan mesin pengering beku vakum bengkung seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Diagram Alir Pembuatan Mesin Pengering Beku Vakum Bengkung

Setelah alat uji selesai dibuat kemudian dilakukan pemeriksaan kebocoran terhadap ruang pengering dan sistem refrigerasi.

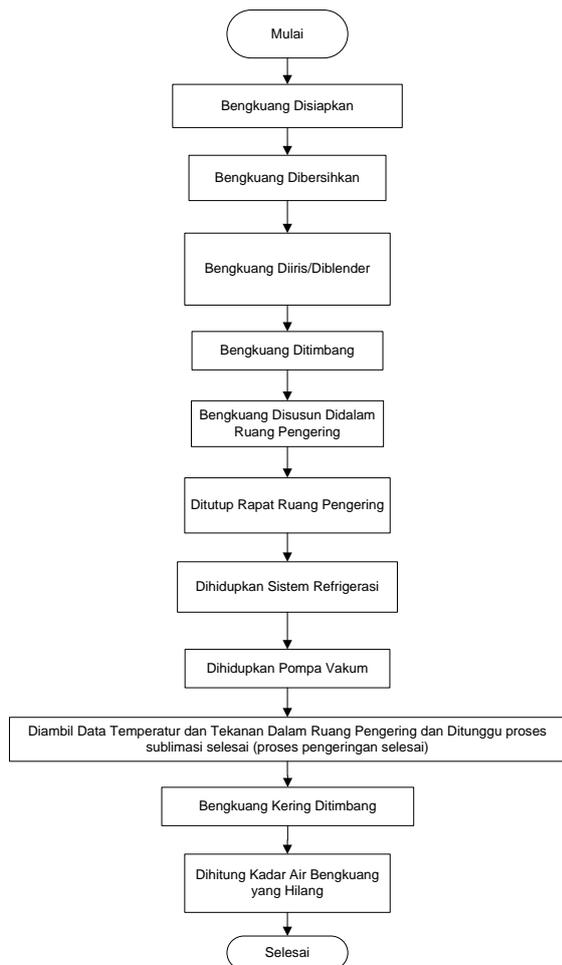
Setelah proses pembuatan dan pemeriksaan kebocoran mesin pengering beku vakum bengkung dilakukan kemudian dilakukan uji kinerja mesin pengering beku vakum untuk mengetahui parameter yang diharapkan tercapai atau tidak.

Pada pengujian ini kriteria keberhasilannya ketika temperatur bahan dalam ruang pengering tercapai hingga -18°C dan tekanan dalam ruang pengering terjaga lebih rendah dari 6,1 mbar.

Adapun prosedur uji kinerja mesin pengering beku vakum bengkung yang dilakukan antara lain :

1. Persiapan bahan uji
2. Pengisian refrigeran
3. Sistem refrigerasi dihidupkan dengan merubah posisi stop kontak kompresor pada posisi ON.
4. Pompa vakum dihidupkan dengan merubah posisi stop kontak pompa vakum pada posisi ON.
5. Pengambilan data uji kinerja mesin sesuai dengan parameter yang diinginkan.

Diagram alir pengeringan bengkung dan pengambilan data ialah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Diagram Alir Pengeringan Bengkuang dan Pengambilan Data

4. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan perancangan alat uji yang telah dilakukan, maka hasil perancangan mesin pengering beku vakum dapat direkapitulasikan ialah sebagai berikut :

1. Ruang Pengering

Kapasitas bahan : 1kg/proses

Bentuk ruang : Silindris
pengering

Material ruang : *Carbon Steel*

pengering

Diameter ruang : 0,3m

pengering

Panjang ruang : 0,35m

pengering

Volume ruang : 0,025m³

pengering

Tebal ruang : 5mm

pengering

Material Pintu : *Carbon Steel*

Tebal Pintu : 5mm

2. Sistem Refrigerasi

Kapasitas : 0,346 kW

evaporator

Laju aliran massa : 0,002739 kg/s

R134a

Kapasitas : 0,46 kW

kondensator

Kapasitas : 0,5 HP

kompresor

COP : 2,96

Panjang pipa : 8,11 m

evaporator

Tipe evaporator : *Helical Coil*

Jumlah lilitan koil : 8 lilitan

Material koil : Tembaga

evaporator

Panjang pipa : 19,49 m

kondensator

Tipe kondensator : Selang-seling

Dimensi kotak : 0,45m x 0,15m

kondensator

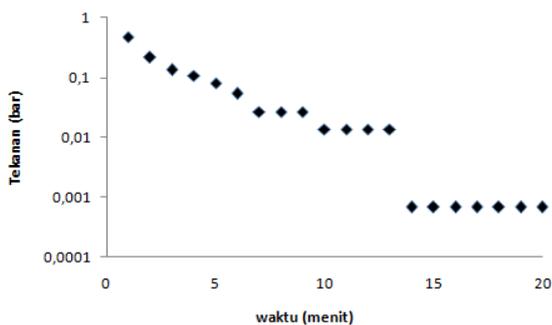
Jumlah total baris : 44 baris

Material koil : Tembaga

kondensator



Gambar 10. Mesin Pengering Beku Vakum



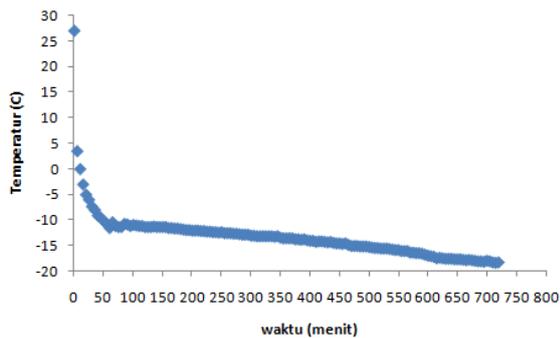
Gambar 11. Grafik Penurunan Tekanan Dalam Ruang Pengering

Untuk pengujian kinerja peralatan mesin pengering beku vakum maka dilakukan pengujian pengeringan beku vakum bengkuang. Dengan percobaan pengeringan beku vakum bengkuang didapatkan grafik penurunan tekanan dan temperatur terhadap waktu selama pengujian pengeringan beku vakum bengkuang yang dilakukan.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penurunan tekanan dalam ruang pengering terjadi secara drastis dalam 14 menit pertama seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11. Penurunan tekanan dalam ruang pengering pada menit-menit awal pompa vakum dihidupkan berlangsung sangat cepat karena beda tekanan didalam dan diluar ruang pengering belum terlalu besar. Setelah ruang pengering mencapai tekanan vakum, maka kinerja pompa

vakum menjadi lebih terbebani sehingga proses penurunan tekanan dalam ruang pengering menjadi lebih sedikit dan lebih lambat hingga tercapai tekanan vakum yang relatif konstan. Pompa vakum digunakan untuk mempertahankan tekanan, mengimbangi kebocoran udara dan kenaikan tekanan karena terjadinya pelepasan uap air bahan dalam ruang pengering. Untuk itu proses pemompaan dilakukan secara terus menerus hingga proses pengujian selesai dilakukan.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa tekanan akhir ruang pengering yang tercapai ialah konstan sebesar 0,000667 bar atau 66,7 Pa. Pengeringan beku vakum dilakukan dibawah titik triple air, dibawah tekanan 6,1 mbar atau 610 Pa. Tekanan akhir yang tercapai lebih rendah dari 610Pa, sehingga dapat disimpulkan bahwa mesin pengering beku vakum ini berfungsi sesuai kebutuhan walaupun tekanan akhir yang tercapai tidak sesuai dengan kondisi rancangan yaitu sebesar 10 Pa. Hal ini disebabkan sulit mendeteksi kebocoran dalam ruang pengering. Penurunan tekanan dalam ruang pengering relatif terjadi secara eksponensial dimana pada menit pertama setelah pompa vakum dihidupkan terjadi penurunan tekanan hingga 0,479952 bar atau 47995,2 Pa. Pada menit kedua terjadi penurunan tekanan mencapai 0,213312 bar atau 21331,2 Pa. Pada menit ketiga penurunan tekanan dalam ruang pengering mencapai 0,13332 bar atau 13332 Pa. Pada menit kesepuluh tekanan dalam ruang pengering sudah mencapai 0,013332 bar atau 1333,2 Pa.



Gambar 12. Grafik penurunan temperatur dalam ruang pengering

Penurunan temperatur dalam ruang pengering, hasil pengujian menunjukkan bahwa temperatur bahan yang tercapai pada pengujian sesuai dengan temperatur bahan yang diharapkan dalam ruang pengering yaitu temperatur -18°C , dimana tercapai dalam waktu ± 12 jam seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12. Pengeringan beku vakum dilakukan dibawah titik triple air, dibawah temperatur 0°C . Pada menit ke-15 temperatur bahan dalam ruang pengering mencapai temperatur -3°C dan setelah 1 jam proses pengeringan beku dilakukan temperatur bahan tercapai hingga $-10,1^{\circ}\text{C}$. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa peralatan mesin pengering beku vakum sesuai dengan kebutuhan yang ditetapkan.

Pada penelitian ini dilakukan pengujian pengeringan beku vakum bengkuang terhadap beberapa variasi. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh pengeringan beku vakum dari setiap variasi yang dilakukan terhadap karakteristik pengeringan beku vakum, perubahan massa bahan, kadar air yang hilang, perubahan fase bahan.

a) Variasi 1 (Massa 1000 gram, Temperatur bahan -18°C)

Pada variasi ini dilakukan pengujian pengeringan beku vakum bengkuang dengan massa bahan sebanyak 1000 gram, dimana temperatur bahan dalam ruang pengering dibekukan terlebih dahulu hingga temperatur -18°C dan setelah temperatur bahan dalam ruang pengering tercapai lalu pompa vakum dihidupkan, stop kontak pompa vakum diposisikan pada posisi *ON*.

Tabel 1. Variasi 1 (Massa 1000 gram, Temperatur bahan -18°C)

Waktu (menit)	Jenis Sampel	Massa Sesudah Pengujian (g)	Massa Air yang Hilang (g)	Kadar Air yang Hilang(%)
20	diiris-iris	992	8	0,8
	diblender	992	8	0,8
60	diiris-iris	992	8	0,8
	diblender	990	10	1
120	diiris-iris	991	9	0,9
	diblender	987	13	1,3
180	diiris-iris	987	13	1,3
	diblender	978	22	2,2
240	diiris-iris	987	13	1,3
	diblender	978	22	2,2

b) Variasi 2 (Massa 1000 gram, Temperatur Bahan -5°C)

Pada variasi ini dilakukan pengujian pengeringan beku vakum bengkuang dengan jumlah massa bahan yang sama banyak dengan variasi 1 yaitu 1000 gram, namun temperatur bahan dalam ruang pengering dibekukan terlebih dahulu hingga temperatur -5°C lalu pompa vakum dihidupkan, stop kontak pompa vakum diposisikan pada posisi *ON*.

Tabel 2. Variasi 2 (Massa 1000 gram, Temperatur bahan -5°C)

Waktu (menit)	Jenis Sampel	Massa Sesudah Pengujian(g)	Massa Air yang Hilang (g)	Kadar Air yang Hilang(%)
20	diiris-iris	992	18	1,8
	Diblender	992	19	1,9
60	diiris-iris	992	19	1,9
	Diblender	990	19	1,9
120	diiris-iris	991	20	2
	Diblender	987	24	2,4
180	diiris-iris	987	26	2,6
	Diblender	978	26	2,6
240	diiris-iris	987	26	2,6
	Diblender	978	28	2,8

c) Variasi 3 (Massa Bahan 50 gram, Pembekuan Cepat)

Berbeda dengan variasi 1 dan variasi 2, pada variasi 3 dilakukan pengujian pengeringan beku vakum bengkung dengan massa bahan yang digunakan sebanyak 50 gram dengan prosedur pengeringan pembekuan cepat dimana prosedur pengeringan pembekuan cepat dilakukan dengan menghidupkan sistem refrigerasi dan pompa vakum (stop kontak sistem refrigerasi dan pompa vakum diposisikan pada posisi ON) secara bersamaan. Prosedur pengeringan pembekuan cepat dilakukan dengan 4 variasi waktu yakni 1 jam, 6 jam, 12 jam dan 24 jam.

Tabel 3. Variasi 3 (Massa Bahan 50 gram, Pembekuan Cepat)

No	Waktu (jam)	Massa Sesudah Pengujian (g)	Massa Air yang Hilang (g)	Kadar Air yang Hilang (%)
1	1	49	1	2
2	6	35	15	30
3	12	26	24	48
4	24	19	31	62

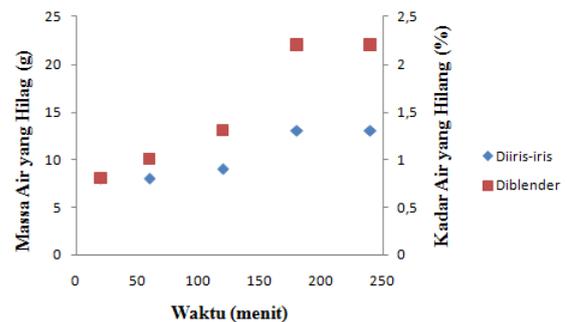
d) Variasi 4 (Massa bahan 50 gram, Temperatur dijaga konstan 5°C , 0°C , -5°C , -18°C)

Pada variasi 4 dilakukan pengujian pengeringan beku vakum bengkung dengan massa bahan yang digunakan sama dengan variasi 3 yaitu sebanyak 50 gram

namun prosedur pengeringan yang digunakan berbeda yakni dengan prosedur temperatur dijaga konstan 5°C , 0°C , -5°C , -18°C . Perubahan massa bahan dan kadar air yang hilang dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Variasi 4 (Massa bahan 50 gram, Temperatur dijaga konstan 5°C , 0°C , -5°C , -18°C)

No	Prosedur Pengeringan	Waktu (jam)	Massa Sesudah Pengujian (g)	Massa Air yang Hilang (g)	Kadar Air yang Hilang(%)
1	$T = \pm 5^{\circ}\text{C}$	2	48	2	4
		4	48	2	4
		6	45	5	10
2	$T = \pm 0^{\circ}\text{C}$	2	48	2	4
		4	45	5	10
		6	45	5	10
3	$T = \pm -5^{\circ}\text{C}$	2	46	4	8
		4	39	11	22
		6	38	12	24
4	$T = \pm -18^{\circ}\text{C}$	2	47	3	6
		4	42	8	16
		6	41	9	18

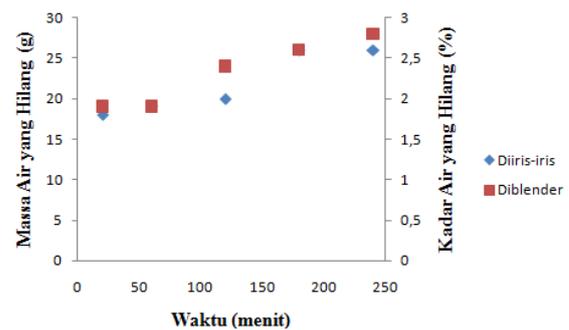


Gambar 13. Grafik perbandingan massa air yang hilang dan kadar air yang hilang terhadap waktu pada variasi 1.

Berdasarkan Tabel 1 dan Gambar 13 hasil pengujian pengeringan beku vakum bengkung pada variasi 1 menunjukkan bahwa semakin lama waktu pengeringan beku vakum yang dilakukan maka massa air bengkung yang hilang akan semakin banyak, begitu juga dengan kadar air bengkung yang hilang akan semakin besar

persentasenya. Hal ini disebabkan karena pada proses sublimasi, massa bahan yang tersublimasi akan semakin banyak. Untuk 20 menit waktu pengeringan hanya mampu menghilangkan massa air sebanyak 8 gram. Hal ini berbeda dengan waktu pengeringan selama 240 menit, dimana massa bahan yang hilang mencapai hingga 22 gram. Jika dibandingkan dari kedua variasi jenis sampel yang diuji, hasil pengujian menunjukkan bahwa massa dan kadar air yang hilang lebih banyak pada jenis sampel yang diblender (dihaluskan) dibandingkan dengan jenis sampel yang diiris-iris. Hal ini disebabkan karena luas permukaan bahan yang diblender lebih besar dibandingkan dengan luas permukaan bahan yang diiris-iris sehingga menyebabkan jumlah bahan yang tersublimasi pada jenis sampel yang diblender lebih banyak. Luas permukaan bahan yang tersublimasi untuk bahan yang diblender lebih besar karena bahan yang diblender diletakkan tersebar merata diatas wadah yang digunakan. Dengan waktu pengeringan yang sama (180 menit), massa bahan yang hilang pada jenis sampel yang diblender mencapai hingga 22 gram sedangkan pada jenis sampel yang diiris-iris hanya mampu menghasilkan massa bahan yang hilang hingga 13 gram.

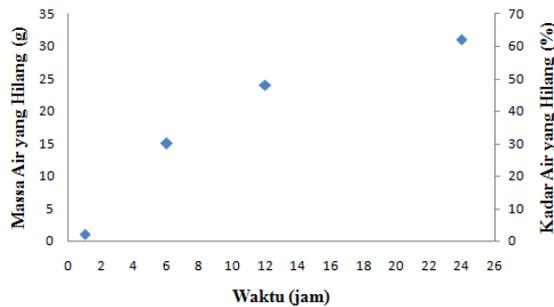
Berdasarkan grafik perubahan fase bahan selama pengujian luas daerah sublimasi bahan yang diblender lebih besar dibandingkan dengan luas permukaan bahan yang diiris-iris dan untuk waktu pengeringan, semakin lama waktu pengeringannya maka akan semakin lama bahan tertahan didaerah sublimasi.



Gambar 14. Grafik perbandingan massa air yang hilang dan kadar air yang hilang terhadap waktu pada variasi 2.

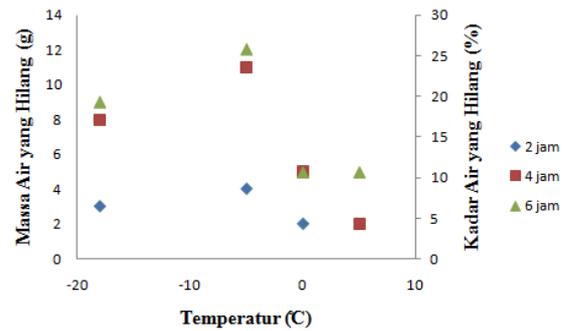
Berdasarkan hasil pengujian pada variasi 2, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2 dan Gambar 14 dapat dilihat bahwa pada pengujian variasi 2 massa dan kadar air yang hilang lebih banyak dan lebih besar persentasenya dibandingkan dengan variasi 1. Hal ini disebabkan karena proses sublimasi bahan pada variasi 2 lebih baik dibanding dengan proses sublimasi bahan pada variasi 1, dibuktikan dengan grafik perubahan fase bahan selama pengujian. Seperti halnya pada variasi 1, grafik perubahan massa dan kadar air yang hilang terhadap waktu pada variasi 2 juga menunjukkan bahwa semakin lama waktu pengeringan maka massa dan kadar air yang hilang juga akan semakin banyak dan akan semakin besar persentasenya. Untuk variasi jenis sampel, jenis sampel yang diblender juga menghasilkan perubahan massa bahan yang lebih besar dibanding dengan variasi jenis sampel yang diiris-iris. Sama halnya pada variasi 1, dimana penyebabnya ialah karena permukaan bahan yang tersublimasi untuk variasi jenis sampel yang diblender

lebih besar dibanding dengan variasi jenis sampel yang diiris-iris.



Gambar 15. Grafik perbandingan massa air yang hilang dan kadar air yang hilang terhadap waktu pada pembekuan cepat.

Berdasarkan hasil pengujian pada pengujian variasi 3 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3 dan Gambar 15 dapat dilihat bahwa maksimal massa dan kadar air yang hilang pada penelitian ini ialah dengan prosedur pengeringan pembekuan cepat yang dilakukan selama 24 jam, dimana massa air yang hilang mencapai 31 gram dari massa awal 50 gram, dengan kadar air yang hilang sebesar 62 %. Pada pengujian pembekuan cepat kenaikan jumlah massa dan kadar air yang hilang relatif terjadi secara eksponensial terhadap waktu. Berdasarkan perubahan fase bahan selama pengujian dapat dilihat bahwa proses sublimasi bahan pada pengujian pembekuan cepat cukup luas daerah sublimasinya.



Gambar 16. Grafik perbandingan massa air yang hilang dan kadar air yang hilang terhadap waktu pada temperatur dijaga konstan 5 °C, 0 °C, -5 °C, -18 °C.

Berdasarkan hasil pengujian pada pengujian variasi 4 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4 dan Gambar 16 dapat dilihat bahwa pada pengujian dengan prosedur pengeringan dimana temperatur bahan dalam ruang pengering dijaga konstan 5°C, 0°C, -5°C, -18°C, hasilnya menunjukkan bahwa maksimal massa dan kadar air bahan yang hilang ialah dengan prosedur pengeringan dijaga konstan -5°C, yang dilakukan selama 6 jam dengan massa bahan yang hilang mencapai 12 gram, dimana kadar air yang hilang sebesar 24%. Kemudian massa dan kadar air yang hilang yang lebih banyak selanjutnya ialah dengan prosedur pengeringan dimana temperatur dijaga konstan -18°C, dimana dengan waktu pengeringan selama 6 jam mampu menghilangkan massa bahan sebesar 9 gram dengan kadar air yang hilang sebesar 18%. Sedangkan untuk prosedur pengeringan dimana temperatur dijaga konstan 5°C dan 0°C hasilnya relatif sama dan lebih kecil dibandingkan dengan metode lainnya.

Berdasarkan perubahan fase bahan selama pengujian dapat dilihat bahwa proses sublimasi bahan pada pengujian dengan prosedur pengeringan dimana temperatur bahan dalam ruang pengering dijaga konstan -5°C menghasilkan daerah sublimasi yang paling luas dan proses sublimasi yang paling baik, dimana bahan cair (*liquid*) dirubah terlebih dahulu menjadi beku (*solid*) kemudian mengalami sublimasi dengan adanya perubahan fase menjadi uap (*vapor*).

5. Simpulan

Dari penelitian yang dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan, antara lain ialah :

- 1) Mesin pengering beku vakum bengkuang berhasil dibuat sesuai dengan kebutuhan pengeringan beku vakum dan sesuai dengan rancangan.
- 2) Dari pengujian pengeringan beku vakum bengkuang yang dilakukan dalam penelitian ini hanya mampu menghilangkan kadar air hingga 62%.
- 3) Berdasarkan hasil pengujian pengeringan beku vakum bengkuang yang dilakukan dan hasil pengamatan serta analisis terhadap karakteristik pengeringan beku vakum dan karakteristik bengkuang maka disimpulkan bahwa metode pengeringan yang mampu menghilangkan massa dan kadar air maksimum ialah metode pembekuan cepat, namun metode pengeringan yang menunjukkan proses sublimasi

(perubahan fase bahan dalam diagram fase) yang paling baik ialah metode dengan temperatur bahan dalam ruang pengering dijaga konstan -5°C .

Daftar Pustaka

- [1] Rahayu, Yuli Puji. 2012. Analisis Usaha Tani Bengkuang (*Pachyrrhizus erosus*) Di Desa Bukit Payung Kecamatan Bangkinang Seberang Kabupaten Kampar. Pekanbaru: Universitas Riau.
- [2] Angwar. 2011. Pati Bengkuang Untuk Produk Kecantikan. Yogyakarta: LIPI
- [3] Belyamin. 2008. Kajian Energi Pengering Beku Dengan Penerapan Pembekuan Vakum Dan Pemanasan Dari Bawah. Bogor: IPB.
- [4] Belyamin. 2011. Pengembangan Pengering Beku Pembekuan Vakum Dengan Pemanasan Kondensor. Bogor: IPB.
- [5] Arlisdianto, Julian. 2012. Pengaruh Wadah Material Terhadap Laju Pengeringan Pada Alat Pengering Beku Vakum Untuk Aloe vera. Depok: UI
- [6] Pujihastuti, Isti. 2009. Teknologi Pengawetan Buah Tomat Dengan Metode Freeze Drying. Semarang: UNDIP
- [7] Marques, L. G dan Freire, J. T. 2004. Analysis Of Freeze Drying Of Pineapple And Guava Pulps. Brazil: Federal University Of São Carlos.
- [8] Siregar, Kiman. 2004. Kajian Pengeringan Beku Dengan Pembekuan Vakum Dan Pemanasan Terbalik Untuk Daging Buah Durian. Bogor: IPB

- [9]Lisnawati, Yulia. 1997. Pengaruh Laju Pembekuan Dan Suhu Permukaan Bahan Terhadap Waktu Pengeringan Beku Daging Sapi Giling. Buletin Keteknikan Pertanian. Vol 11. No.1
- [10]Tambunan, Armansyah. H. 2000. Simulasi Karakteristik Pengeringan Beku Daging Sapi Giling. Buletin Keteknikan Pertanian. Vol 14. No.1
- [11]Zainuddin, Irshan. 2003. Rancang Bangun Peralatan dan Analisis Karakteristik Pembekuan Vakum Udang Windu (Panaeus Monodon Fab). Bogor:IPB.