

PENGARUH PERUBAHAN TEMPERATUR KABIN TERHADAP KINERJA PADA SISTEM REFRIGERASI *FREEZE DRYING*

Wardika^{1✉}, Aa Setiawan², Tri Wulan Fitriyani³

^{1,2,3}Politeknik Negeri Indramayu, Jl. Lohbener Lama No.08 Legok Kec.Lohbener, Indramayu, Indonesia.

✉e-mail : wardika@polindra.ac.id

Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja dari mesin freeze drying dengan variasi perubahan temperatur kabin. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan membandingkan langsung perubahan setpoint pada temperatur kabin -10°C , -15°C dan -20°C terhadap kinerja pada sistem refrigerasi mesin freeze drying dimana dimensi kabin $40\text{cm}\times 40\text{cm}\times 40\text{cm}$, dengan beban produk irisan buah mangga sebesar 3 kg. Berdasarkan hasil pengolahan data yang dilakukan pada freeze drying didapat kinerja sistem pada COP aktual temperatur kabin -10°C sebesar 2,7, temperatur kabin -15°C sebesar 2,8 dan temperatur kabin -20°C sebesar 2,7. Efisiensi sistem pengeringan beku dengan variasi temperatur masing-masing -10°C , -15°C , dan -20°C sebesar 63%, 62,7% dan 63,1%.

Kata kunci : freeze drying, temperatur, Kinerja, Kualitas produk.

Pendahuluan

Pada umumnya buah-buahan dapat dikonsumsi secara langsung akan tetapi dengan perkembangan zaman dan teknologi yang semakin maju maka pengolahan buah-buahan ini menjadi hal penting mengingat sifat fisik dari buah-buahan yang mudah rusak. Pengolahan yang sering digunakan adalah dengan menambahkan zat atau unsur lain sehingga ini akan mengurangi kandungan dan rasa dari buahnya. Terdapat metode pengolahan dengan menggunakan sistem refrigerasi pengeringan beku dimana ini merupakan salah satu metode pengawetan makanan yang terbaik. Dalam proses pengeringan beku dapat mengawetkan sifat fisik awal dari material yang dibekukan seperti bentuk, dimensi, penampakan luar, rasa, warna, aroma, tekstur, dan aktivitas biologis. Hasil produk dengan keadaan kering biasanya sangat awet, berpori, getas, *hiaroskopis* dan kapasitas rehidrasi yang

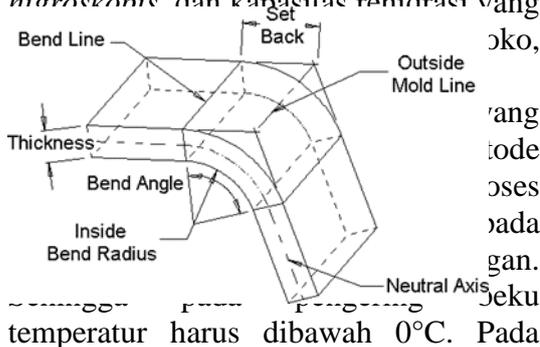
proses pengeringan konvensional, lepasnya kandungan air di dalam produk akibat proses penguapan, atau proses perubahan fasa cair menjadi gas. Sedangkan pada metode pengering beku, proses yang terjadi adalah proses sublimasi, yaitu perubahan fasa padat (kandungan air di dalam produk) menjadi gas.

Metode pengeringan beku membutuhkan temperatur yang sangat rendah sehingga perlu waktu dan energy yang cukup besar dalam proses pengawetan ini. Sehingga dalam penelitian ini akan mencoba untuk bervariasi temperatur yang digunakan untuk proses sublimasi dimana ini akan memberikan dampak atau pengaruh terhadap produk yang akan diawetkan.

Tujuan dari penelitian ini yaitu mengetahui kinerja dengan adanya variasi temperatur pada pengeringan beku untuk penyimpanan buah mangga.

Tinjauan Pustaka

Awal Januari S dkk (2013), mereka telah berhasil membekukan buah bengkuang yang mengandung kadar air 90% hingga 62% dengan suhu bahan di ruang pengering dijaga konstan pada -5°C . Anna R dkk (2013), mereka telah berhasil melakukan *freeze-drying* untuk



mengeringkan radiofarmasi dengan pengeringan 15°C dan tekanan 0,050 m-Bar untuk mendapatkan produk kering berbentuk serbuk (*powder*). Belyamin dkk (2011), mereka telah berhasil pengeringan beku tanpa menggunakan pemanasan kondensor selama 13 jam untuk menghasilkan (*loss on drying/LOD*) sebesar 98,6% dan pengeringan menggunakan pemanasan kondensor selama 6,5 hingga 7 jam untuk menghasilkan (*loss on drying*). /*LOD*) sebesar 95,6%. Yulia Ariani dkk (2019), mereka telah berhasil melakukan pengeringan beku pada kualitas fisik dan ketebalan irisan buah yang memiliki ketebalan 1,5 cm menunjukkan kadar air yang rendah sebesar 7,58%.

Muhammad Idrus Alhamid dkk (2013), mereka telah berhasil melakukan pengeringan beku dengan memanfaatkan panas buang kondensor untuk mengeringkan tentakel ubur-ubur, hasilnya adalah 0,0035 kg/m²s dan mencegah penguapan hingga 0,47g. Wei Wang dan Guohua Chen (2007), mereka telah berhasil melakukan pengeringan beku dengan pemanasan microwave, hasil penelitian menunjukkan bahwa bahan dielektrik dapat secara efektif meningkatkan proses pengeringan beku microwave sebesar 20%. Tar Sesugh Solomon dkk (2019), mereka telah berhasil mengeringkan tomat dan paprika dalam pengeringan beku pada suhu -2°C, -1,5°C, dan -1,4°C sehingga produk yang dikeringkan dengan beku dapat kembali segar ketika dilarutkan dalam air. Debby Sumantri dkk (2016), mereka telah berhasil dalam pengeringan beku produk makanan penambahan kombinasi pelapis 10% susu skim dan 20% maltodekstrin menghasilkan 97,76% viabilitas sel dan kandungan nutrisi, kadar air 3,93%, dan 19,79%.

Heinzelmann dkk (2000), mereka telah berhasil pengeringan beku produk dalam perlindungan minyak ikan dengan kapsulasi yang berbentuk emulsi yang

mengandung 10% minyak ikan, 10% natrium kaseinat, 10% karbohidrat dan 70% air. Nelson dkk (1983), mereka berhasil melakukan eksperimental pengeringan beku dengan membekukan jaringan menggunakan tabung pengeringan tertutup yang disimpan didalam freezer menghasilkan ginjal katak 300-400mg disimpan 24 jam pada suhu -32°C dan 48 jam -40°C.

SISTEM KERJA MESIN FREEZE DRYING

Adapun tahapan-tahapan yang terjadi didalam freeze drying (*freeze drier*) sebagai berikut:

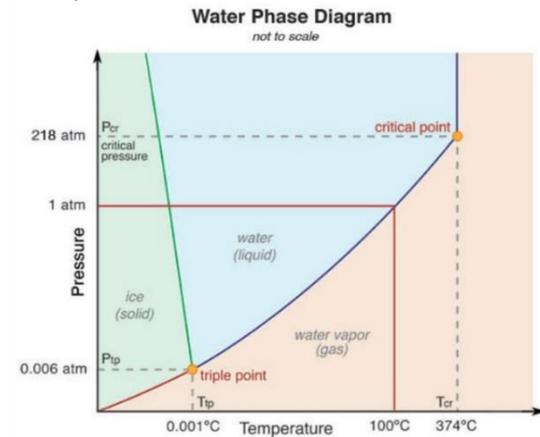
1. Pembekuan: Produk yang akan dikeringkan sebelumnya di bekukan terlebih dahulu
2. Vakum : Setelah beku, udara yang berada didalam kabin akan dikeluarkan oleh proses pemvakuman. Hal ini memungkinkan pelarut beku didalam produk untuk menguap tanpa melalui fase cair, proses ini dikenal sebagai proses sublimasi
3. Panas: Panas diterapkan pada produk beku untuk mempercepat proses sublimasi
4. Kondensasi : Kondensor dengan suhu rendah akan menghapus pelarut yang menguap diruangan vakum dengan mengubahnya kembali ke padat. (Novindo, 2017).

Pada gambar 1 terdapat 3 (tiga) proses utama. Proses yang pertama adalah proses pembekuan (*freeze*), yaitu proses dari titik 1 ke titik 2. Proses ini umumnya dilakukan pada mesin pendingin yang terpisah dengan freeze drying (*freeze drier*), dengan temperatur produk sekitar -20°C. Proses yang kedua adalah proses pemvakuman, yaitu proses dari titik 2 ke titik 3. Proses ini berlangsung didalam freeze drying (*freeze drier*), pemvakuman dilakukan dengan menggunakan pompa vakum.

Proses yang ketiga adalah pengeringan (*drying*), yaitu dari titik 3 ke titik 4. Sama dengan proses yang kedua, proses yang

ketiga ini berlangsung di freeze drying (*freeze drier*).

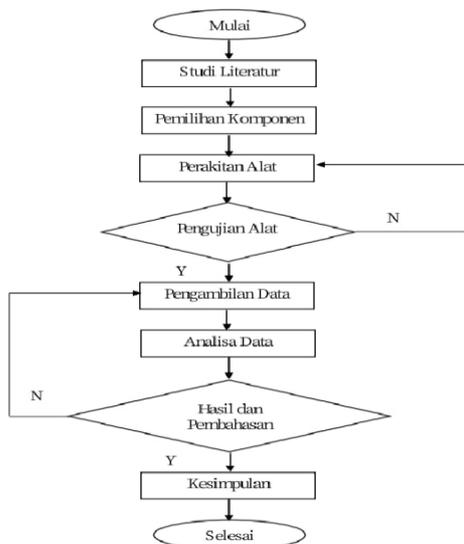
Pada proses pengeringan ini penambahan kalor (panas) tidak boleh terlalu tinggi atau dengan kata lain temperatur produk tidak boleh terlalu panas. Pada proses yang ketiga ini terlihat bahwa proses pengeringan tidak melewati garis penguapan, namun melewati garis sublimasi. (Ade Suryatman Margana, 2009).



Gambar 1. Diagram Fasa Air (Sumber: Qoura, 2017)

Metodologi Penelitian

Dalam melakukan penelitian penulis mengikuti tahapan penelitian sesuai dengan gambar 2 berikut:



Gambar 2. Diagram alur penelitian

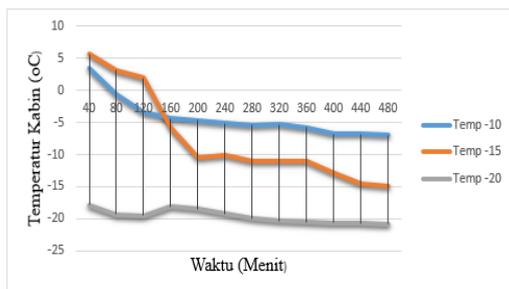
Pada gambar 2 menunjukkan proses yang dilakukan selama penelitian berlangsung. Penelitian ini menggunakan metode analisis eksperimental. Metode ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan suhu kabin terhadap kinerja yang dihasilkan. Analisis eksperimental dilakukan pada bulan Juli – Agustus 2021 di Laboratorium Teknik Pendingin dan Tata Udara (TPTU), Jurusan Teknik Pendingin dan Tata Udara Politeknik Negeri Indramayu. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat pengering beku dengan kapasitas 20 kg. Suhu pendinginan -20°C . Kompresor merk (Khultron (WJ 2455ZK-SA)) dengan daya 1,8 Pk, merk pompa vakum 2 tahap (Value), jenis refrigeran yang digunakan adalah R-404a, selain itu alat yang digunakan adalah pisau dan timbangan untuk menimbang bahan sebelumnya proses pembekuan dilakukan pengeringan dan setelah proses pengeringan beku. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah buah mangga dengan berat 3 kg.

Data yang diambil setiap 10 menit sekali selama 8 jam. Pengambilan data ini dilakukan sebanyak 1 kali dengan beban produk yang didinginkan dengan parameter yang sudah ditentukan yaitu: cek seluruh sistem pastikan dalam keadaan baik dan dapat melakukan pengambilan data, cek alat ukur yang akan dipakai pastikan tidak eror ataupun rusak, alat ukur ditempatkan sesuai titik yang sudah ditentukan, catat semua kondisi awal dari masing-masing titik pengukuran sebagai data awal (menit ke-0), setelah data awal tercatat semua, baru sistem dinyalakan dan pengambilan data dilakukan 10 menit selama 8 jam.

Pengolahan data dilakukan dengan bantuan *software Ms. Excel 2010*. Hasil pengolahan data ditampilkan dalam bentuk grafik diantaranya: grafik temperatur produk, temperatur kabin, kerja kompresi, efek kondensasi, kapasitas/kalor yang dilepas kondensor,

efek refrigerasi, kapasitas/ beban pendinginan, COP *actual*, COP *carnot* dan efisiensi. Grafik tersebut dianalisa dengan mengacu pada berbagai referensi yang tercantum dalam daftar pustaka. Setelah analisa dilakukan selanjutnya dicantumkan pada laporan tugas akhir pada bagian kesimpulan. Adapun langkah untuk pengolahan data: data yang sudah dikumpulkan berdasarkan pada variasi temperatur akan dimasukan kedalam *software Ms. Excel 2010*, data yang digunakan pada grafik hanya 12 data pada masing-masing variasi temperatur kabin berdasarkan waktu yaitu pada menit 40, 80, 120, 160, 200, 240, 280, 320, 360, 400, 440 dan 480, data dikelompokkan menjadi sembilan data yaitu data temperatur kabin, kerja kompresi, efek kondensasi, kapasitas/kalor yang dilepas kondensor, efek refrigerasi, kapasitas/ beban pendinginan, COP *actual*, COP *carnot* dan efisiensi, selanjutnya, dari sembilan data tersebut dibuat grafik satu persatu yang dimana pada satu grafik terdapat tiga variasi temperatur kabin, setelah grafik dibuat maka lakukan analisis berdasarkan data-data yang di tampilkan pada grafik

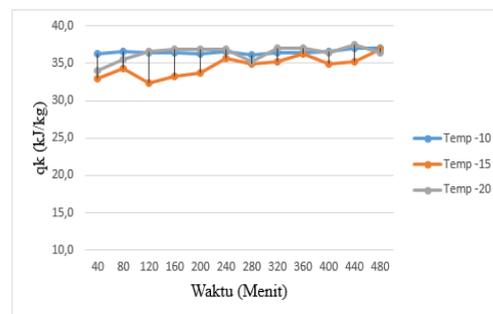
Hasil dan Pembahasan



Gambar 3. Pengaruh Perubahan Temperatur Kabin

Berdasarkan gambar 3 menunjukkan bahwa pengaruh perubahan temperatur kabin memiliki nilai yang berbeda sesuai dengan variasi temperaturnya. Hasil perubahan temperatur yang maksimal diperoleh pada variasi temperatur -20°C

pada menit 480 dengan nilai sebesar -20,8°C. Sedangkan pada perubahan temperatur yang minimal diperoleh pada variasi temperatur -10°C dengan rata-rata -0,6°C. Hal ini dapat terjadi karena evaporasi pada variasi temperatur -20°C lebih besar dan nilai temperaturnya pun mempengaruhi banyaknya bunga es yang dihasilkan dan semakin turun nilai temperaturnya maka kondisi kabin akan menjadi semakin dingin. Begitu juga, dengan semakin tinggi nilai temperatur yang divariasikan maka semakin tinggi temperatur kabin yang menyebabkan timbulnya bunga es pada kabin yang ditimbulkan lebih sedikit.

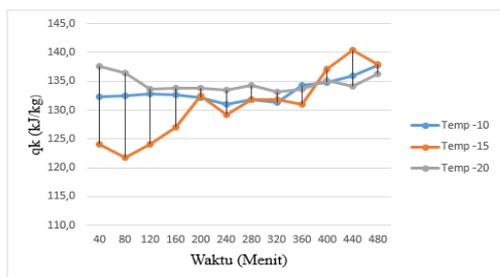


Gambar 4. Perubahan Temperatur Kabin Terhadap Kerja Kompresi

Berdasarkan gambar 4 menunjukkan bahwa pengaruh perubahan temperatur terhadap kinerja kompresi memiliki nilai yang berbeda sesuai dengan variasi temperaturnya. Hasil perubahan temperatur yang maksimal diperoleh pada variasi temperatur -20°C pada menit 440 dengan nilai sebesar 37,4 kJ/kg. Sedangkan pada perubahan temperatur yang minimal diperoleh pada variasi temperatur -15°C pada menit 120 dengan nilai sebesar 32,3 kJ/kg. Hal ini disebabkan oleh perbedaan variasi temperatur dan laju aliran massa refrigerant yang berpengaruh pada efek kompresi yang tinggi.

Pengaruh perubahan temperatur kabin terhadap kerja kompresor dengan variasi temperatur -10, temperatur -15 dan temperatur -20 memiliki nilai kerja

kompresor rata-rata yang sama sebesar 1,35 kW. Hal ini dikarenakan daya kompresor yang di gunakan nilainya sama.



Gambar 5. Pengaruh Temperatur Kabin Terhadap Efek Kondensasi

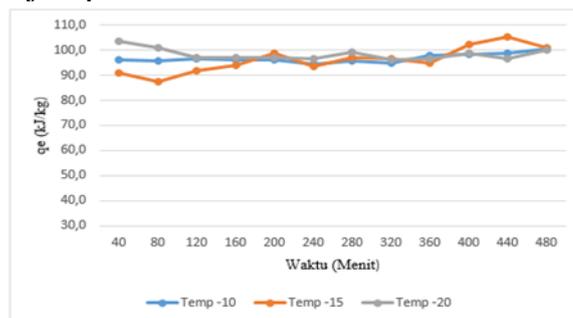
Berdasarkan gambar 5 menunjukkan bahwa pengaruh perubahan temperatur kabin terhadap efek kondensasi memiliki nilai yang berbeda sesuai dengan variasi temperaturnya. Hasil perubahan temperatur yang maksimal diperoleh pada variasi temperatur -15°C pada menit 440 sebesar 140,4 kJ/kg. Sedangkan pada perubahan temperatur yang minimal diperoleh pada variasi temperatur -15°C pada menit 80 sebesar 121,8 kJ/kg. Hal ini disebabkan karena perbedaan laju aliran massa refrigeran sehingga menyebabkan efek kondensasi pada mesin pengering beku semakin tinggi.



Gambar 6. Perubahan Temperatur Kabin Terhadap Besar Kalor yang Dilepaskan Kondensor

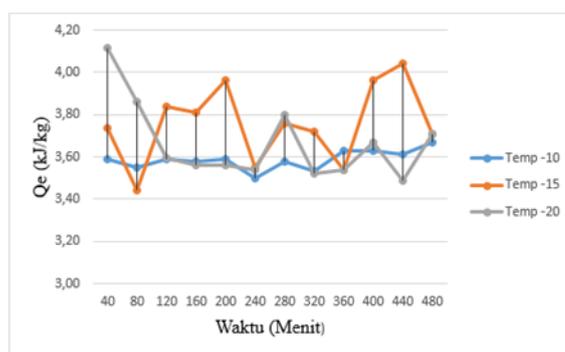
Berdasarkan gambar 6 menunjukkan bahwa pengaruh perubahan temperatur terhadap besar kalor yang dilepas kondensor memiliki nilai yang berbeda sesuai dengan variasi temperaturnya. Hasil perubahan temperatur maksimal

diperoleh pada variasi temperatur -20°C pada menit 40 dengan nilai sebesar 5,47 kW. Sedangkan pada perubahan temperatur yang minimal diperoleh pada variasi temperatur -15°C pada menit ke 80 dengan nilai sebesar 4,79 kW. Hal ini disebabkan oleh perbedaan karena efek kondensasi yang terjadi pada kondensor sehingga beban yang dilepas kondensor pun akan tinggi sesuai dengan yang terjadi pada efek kondensasi.



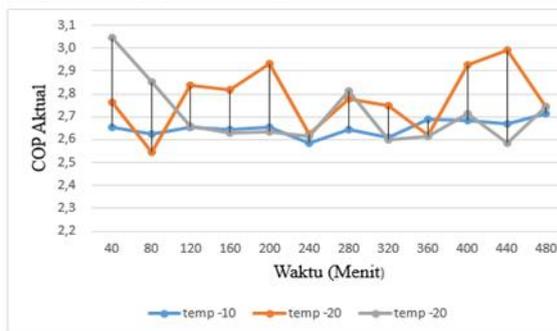
Gambar 7. Perubahan Temperatur Kabin Terhadap Efek Refrigerasi

Berdasarkan gambar 7 menunjukkan bahwa pengaruh perubahan temperatur kabin terhadap efek refrigerasi memiliki nilai yang berbeda sesuai dengan variasi temperaturnya. Hasil perubahan temperatur maksimal diperoleh pada variasi temperatur -15°C pada menit 440 sebesar 105,2 kJ/kg. Sedangkan pada perubahan temperatur yang minimal diperoleh pada variasi temperatur -15°C pada menit 120 dengan nilai sebesar 87,4 kJ/kg. Hal ini disebabkan oleh perbedaan laju aliran massa refrigerant yang dimana semakin tinggi laju aliran massa refrigerant maka semakin tinggi pula efek refrigerasinya.



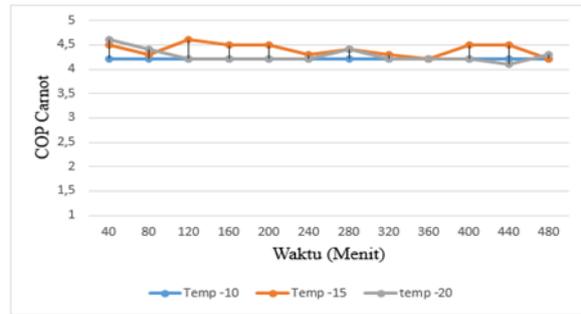
Gambar 8. Perubahan Temperatur Kabin Terhadap Beban Pendinginan Evaporator

Berdasarkan gambar 8 menunjukkan bahwa pengaruh perubahan temperatur kabin terhadap beban pendinginan memiliki nilai rata-rata yang berbeda sesuai dengan variasi temperaturnya. Hasil perubahan temperatur maksimal diperoleh pada variasi temperatur -20°C pada menit 40 dengan nilai sebesar 4,12 kW. Sedangkan pada perubahan temperatur yang minimal diperoleh pada variasi temperatur -15°C pada menit 80 sebesar 3,44 kW. Hal ini disebabkan oleh perbedaan efek refrigerasi yang dihasilkan dengan daya kompresor yang sama sehingga mengakibatkan tinggi atau rendahnya beban pendinginan atau kalor yang diserap pada evaporator.



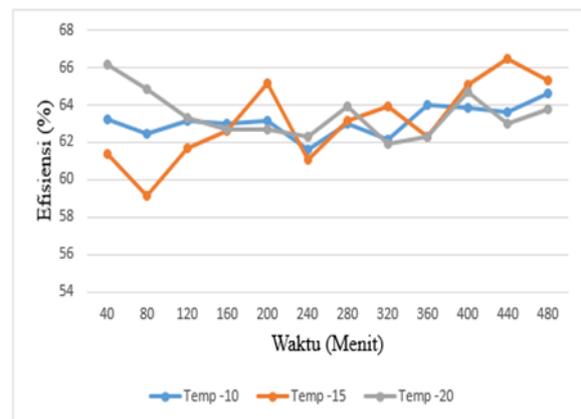
Gambar 9. Perubahan Temperatur Kabin Terhadap COP aktual

Berdasarkan gambar 9 menunjukkan bahwa pengaruh perubahan temperatur kabin terhadap COP aktual memiliki nilai yang berbeda sesuai dengan variasi temperaturnya. Hasil perubahan temperatur maksimal diperoleh pada variasi temperatur -20°C pada menit 40 dengan nilai sebesar 3,0. Sedangkan pada perubahan temperatur yang minimal diperoleh pada variasi temperatur -15°C pada menit 80 sebesar 2,5. Hal ini dikarenakan efek refrigerasi dibagi dengan kerja kompresi



Gambar 10. Perubahan Temperatur Kabin Terhadap COP carnot

Berdasarkan gambar 10 menunjukkan bahwa pengaruh perubahan temperatur kabin terhadap COP karnot memiliki nilai yang berbeda sesuai dengan variasi temperaturnya. Hasil perubahan temperatur maksimal diperoleh pada variasi temperatur -20°C pada menit 40 dengan nilai sebesar 4,6. Sedangkan pada perubahan temperatur yang minimal diperoleh pada variasi temperatur -20°C pada menit 440 dengan nilai sebesar 4,1. Hal ini dikarenakan temperatur evaporasi dibagi dengan hasil temperatur kondensasi yang sebelumnya sudah dikurangi dengan temperatur evaporasi dan sudah diubah dalam satuan kelvin. Dalam hal ini nilai COP Carnot semakin rendah seiring dengan besarnya perubahan temperatur yang di variasikan atau perbedaan waktu yang digunakan.



Gambar 11. Perubahan Temperatur Kabin Terhadap Efisiensi

Berdasarkan gambar 11 menunjukkan bahwa pengaruh perubahan temperatur kabin terhadap efisiensi memiliki nilai yang berbeda sesuai

dengan variasi temperaturnya. Hasil perubahan temperatur maksimal diperoleh pada variasi temperatur -20°C pada menit 40 memiliki nilai sebesar 66%. Sedangkan pada perubahan temperatur yang minimal diperoleh pada variasi temperatur -15°C pada menit 80 dengan nilai sebesar 59%. Hal ini dikarenakan COP aktual dibagi COP carnot, yang mana COP aktual lebih rendah nilainya dibandingkan dengan COP carnot. Sehingga semakin besar perubahan temperatur yang di variasikan maka efisiensinya semakin rendah, begitupun dengan semakin besar perubahan temperatur yang di variasikan maka efisiensinya semakin tinggi.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengukuran dan pengolahan data yang dilakukan pada freeze drying didapat COP aktual pada temperatur kabin -10°C sebesar 2,7, temperatur kabin -15°C sebesar 2,8 dan temperatur kabin -20°C sebesar 2,7. Efisiensi sistem pengeringan beku dengan variasi temperatur masing-masing -10°C , -15°C , dan -20°C sebesar 63%, 62,7% dan 63,1%.

Daftar Pustaka

- [1] ASHRAE, *ASHRAE Handbook of Fundamental, American Society of Heating, Refrigerating, and Airconditioning Engineers*, Atlanta, 2013.
- [2] Anna, Suhandar, Jakaria, dan Suharmadi. 2013. "Uji fungsi freeze dryer radiofarmaka." *Prosiding Seminar Penelitian dan Pengelolaan Perangkat Nuklir: Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan. Pusat Radioisotop Dan Radiofarmaka* 2013(September): 61–67.
- [3] Alhamid, Muhammad Idrus, Nasruddin Yusuf, Indra Teuku Meurah Mahlia, Engkos Ahmad Kosasih, Muhamad Yulianto, dan Rio Ricardi. 2013. "Characteristics of Vacuum Freeze Drying with Utilization of Internal Cooling and Condenser Waste Heat for Sublimation." *MAKARA Journal of Technology Series* 17(2).
- [4] Ariani, Yulia, Nursigit Bintoro, dan Joko Nugroho Wahyu Karyadi. 2019. "Kinetika Perubahan Kualitas Fisik Buah Mangga Selama Pengeringan Beku dengan Perlakuan Pendinginan Awal dan Ketebalan Irisan." *agriTECH* 39(4):298.
- [5] Belyamin, Rahmat Subarkah, dan Nasruddin. 2011. "Pengembangan Pengering Beku Pembekuan Vakum Dengan Pemanasan Kondenser." *Politeknologi* 10(3):285–94.
- [6] Dossat, R.J. 1978. *Principles of Refrigeration*. Second Edition, Jhon Wiley & Sons, New York.
- [7] Januari, Awal, dan Awaludin Martin. 2014. "Pengeringan Bengkuang dengan Sistem Pengeringan Beku VKKakum (Vacuum Freeze-Drying System)." *Jom FTEKNIK* 1(2):1–13
- [8] Heinzelmann, Katrin, Knut Franke, Benny Jensen, dan Anne Mette Haahr. 2000. "Protection of fish oil from oxidation by microencapsulation using freeze-drying techniques." *European Journal of Lipid Science and Technology* 102(2):114–21
- [9] Nelson, Stanley R., Harold L. Wilkinson, Departments Anatomy S. R. N, dan H. L. W. Physiology. 1983. "Tissue Freeze-Drying With a Closed Drying Tube Stored in a Freezer." 377:373–77
- [10] Qiao, Zhihua, Zhi Wang, Chenxin Zhang, Shuangjie Yuan, Yaqun Zhu, dan Jixiao Wang. 2012. "PVAm-PIP/PS composite membrane with high performance for CO_2/N_2 separation." *AICHE Journal* 59(4):215–28