Kaji Eksperimental Pemanfaatan Panas Kondenser pada Sistem *Vacuum Drying* untuk Produk Kentang

Ade Suryatman Margana, Doni Oktaviana
Refrigeration And Air Conditioning Department
Politeknik Negeri Bandung
Bandung, Indonesia
e-mail: doni259oktt@gmail.com

***Abstract*— Panas pembuangan condenser pada *freezer* berpotensi untuk digunakan sebagai energi pengering. Energi panas yang cukup besar ini dimanfaatkan untuk pengeringan bahan pangan hasil pertanian, produk pertanian yang memerlukan proses pengeringan adalah kentang untuk keperluan pembuatan keripik kentang. Pemanfaatan panas ini menggunakan metode *vacuum drying* sebagai alat pengering. Pemanfaatan potensi panas kondenser ini diharapkan dapat menjadi energi alternatif dalam proses pengeringan bahan pangan dan mengurangi efek pemanasan global.**

Sistem memiliki dua buah kondenser yang bekerja bergantian. Ketika kabin pengering membutuhkan pemanasan kondenser 1 bekerja setelah temperatur kabin pengering 50°C kondenser 2 yang bekerja, proses ini berlangsung terus menerus sampai proses pengeringan selesai.. Hasil yang didapat adalah : ketika kondenser 1 bekerja memiliki COP aktual 2,8, COP carnot 3,94 dan effisiensi 70,79 %. Sedangkan ketika kondenser 2 bekerja memiliki COP aktual 3,17, COP carnot 4,12 dan efisiensi 7,92 %. Massa kentang sebelum dikeringkan adalah 200 gram setelah dilakukan pengeringan selama 3 jam massa kentang menjadi 100 gram sehingga kentang mengalami pengurangan massa sebanyak 100 gram.

Keywords*— *freezer; vacuum drying; COP; kentang; kondenser.

I. PENDAHULUAN

Pengeringan merupakan suatu metode pengawetan pangan yang paling tua dengan tujuan menurunkan kadar air bahan sehingga aktivitas air menurun. Saat ini teknologi pengeringan telah berkembang luas diberbagai bidang, seperti agroindustri, kimia, farmasi, industri kertas, dan industri lainnya. Metode pengeringan juga berkembang, tidak hanya sekedar mengurangi kadar air tetapi juga mengontrol proses pengeringan untuk mendapatkan kualitas produk pengeringan yang lebih baik. Pengeringan yang paling banyak digunakan adalah secara konvensional dengan menggunakan sinar matahari. Cara ini sangat murah dan, mudah, akan tetapi sulit terkontrol, sangat tergantung dengan cuaca, memerlukan tempat yang luas dan waktu yang lama serta kurang terjaga dalam kebersihannya. Pengeringan menggunakan alat pengering mekanis membutuhkan waktu yang lebih singkat dari pengeringan konvensional. Pengeringan mekanis memerlukan sumber panas buatan yang berasal dari bahan bakar biomassa, bahan bakar minyak dan gas, elemen pemanas tenaga listrik.

Dengan diperlukannya sumber panas buatan,salah satu energi panas yang memiliki potensi sebagai sumber panas untuk alat pengering mekanis adalah panas pembuangan kondenser pada mesin pendingin. Pada mesin pendingin, panas kondenser yang bertemperatur cukup tinggi, lebih tinggi dari temperatur lingkungan umumnya dibiarkan terbuang begitu saja.Selain itu mesin pendingin biasanya dioperasikan dalam jangka waktu yang lama.Kondisi panas pembuangan kondenser tersebut berpotensi untuk digunakan sebagai energi pengering. Mengingat potensi kondensor menghasilkan energi panas yang cukup besar, maka dari itu penulis bermaksud untuk melakukan rancang bangun alat pengering dengan metode *vacuum drying* memanfaatkan panas kondenser pada *freezer*untuk pengeringan bahan pangan hasil pertanian. Salah satu produk pertanian yang memerlukan proses pengeringan adalah kentang untuk keperluan pembuatan keripik kentang.

Pemanfaatan potensi panas kondenser ini diharapkan dapat menjadi energi alternatif dalam proses pengeringan bahan pangan dan mengurani efek pemanasan global, sedangkan *freezer* tetap dapat berfungsi untuk pendinginan produk tanpa terganggu kinerjanya. Pemanfaatan panas kondenser untuk pengeringan di waktu yang akan datang diharapkan dapat diaplikasikan untuk skala yang lebih besar.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Proses Pengeringan

Proses pengeringan pada prinsipnya adalah proses perpindahankalor dan perpindahanmassa yang terjadi secara bersamaan (simultan). Pertama kalor harus dipindahkan dari medium pemanas ke kentang.Selanjutnya setelah terjadi penguapan air, uap air yang terbentuk harus dipindahkan melalui struktur bahan ke medium sekitarnya. Proses ini akan menyangkut aliran fluida di mana cairan harus dipindahkan melalui struktur bahan selama proses pengeringan berlangsung.

Semakin tinggi temperatur dan kecepatan aliran udara pengeringan makin cepat pula proses pengeringan berlangsung. Semakin tinggi temperatur udara pengering, makin besar energi panas yang di bawa udara sehingga makin banyak jumlah massa cairan yang di uapkan dari permukaan bahan yang dikeringkan. Kelembaban udara berpengaruh terhadap proses pemindahan uap air.

Bahan pangan atau produk pertanian yang akan dikeringkan sebaiknya dipotong atau diiris terlebih dahulu sehingga proses pengeringannya akan lebih cepat. Hal ini dikarenakan pemotongan dan pengirisan akan memperluas permukaan bahan, sehingga akan lebih banyak permukaan bahan yang akan berhubungan langsung dengan udara panas.

Dalam proses pengeringan bahan pangan ini yaitu dengan menggunakan pemanfaatan panas dari kondenser sebagai media untuk menurunkan kadar air yang masih terkandung dalam dalam bahan pangan yang berupa kentang, dengan temperatur maksimal pengeringan yaitu 50°C.

B. Kadar Air

Kadar air bahan menunjukkan banyaknya kandungan air per satuan bobot bahan. Ada dua metode untuk menentukan kadar air bahan, yaitu berdasarkan bobot basah (*wet basis*) dan berdasarkan bobot kering (*dry basis*). Persamaan yang digunakan adalah :

$$\text{Kadar Air bobot basah(bb)} = \frac{m\ awal - m\ akhir}{m\ awal} \times 100\ \%$$

Dengan:

Kadar Air bb : kadar air bahan berdasarkan basis basah (%)
m awal : massa bahan sebelum pengeringan (g)
m akhir : massa bahan setelah pengeringan (g)

$$\text{Kadar Air bobot kering (bk)} = \frac{m\ awal - m\ akhir}{m\ akhir} \times 100\ \%$$

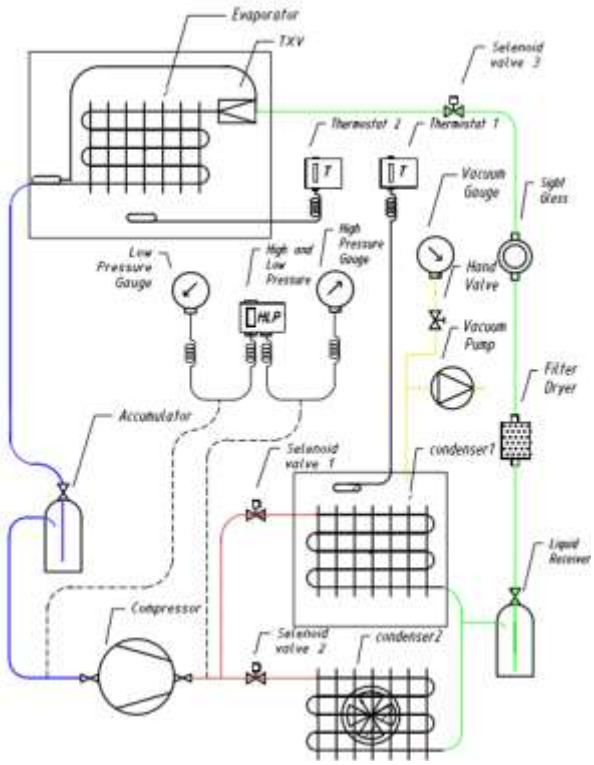
Dengan:

Kadar Air bk : kadar air bahan berdasarkan basis kering (%)
m awal : massa bahan sebelum pengeringan (g)
m akhir : massa bahan setelah pengeringan (g)

C. Vacuum Drying

Mesin *vacuum drying* (pengering vakum) adalah mesin yang berfungsi untuk mengeringkan atau menurunkan kandungan air pada suatu produk dan dilakukan pada temperatur rendah secara konstan (temperatur dapat diatur sesuai kondisi).

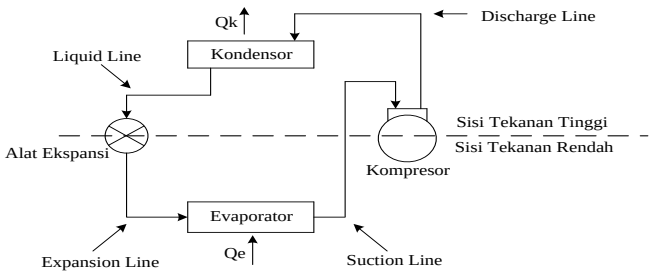
Untuk pengeringan padatan berbentuk butiran, pengeringan vakum dengan berbagai mekanis telah tersedia secara komersial. Pengeringan jenis ini lebih mahal dari pengeringan bertekanan amosfir tetapi sesuai untuk bahan yang sensitif panas dan memerlukan pemulihan pelarut. Pencampuran berbentuk kerucut tunggal atau ganda dapat diterapkan untuk pengeringan dengan pemanasan selimut bejana atau pemvakuman untuk mengeluarkan uap air.



Gambar 1. Sistem *Vacuum Drying*

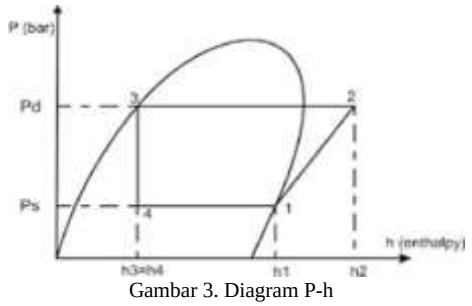
D. Freezer

Sistem *freezer* merupakan refrigerasi kompresi uap yang menggunakan kompresor sebagai alat kompresi media pendinginan (*refrigeran*). Proses kerjanya adalah pada kompresor refrigeran dikompresikemudian dikeluarkan pada sisi keluaran (*discharge*) dan masuk ke kondenser, di kondenser terjadi proses pembuangan kalor refrigeran sehingga refrigeran berubah fasa menjadi cair dan selanjutnya mengalir ke alat ekspansi, pada alat ekspansi ini refrigeran mengalami penurunan tekanan dan temperatur kemudian masuk ke evaporator, di evaporator refrigeran menyerap kalor dari produk atau dari lingkungan yang didinginkan sehingga refrigeran berubah fasa menjadi uap, kemudian masuk pada sisi penghisap (*suction*) menuju kompresor.



Gambar 2. Proses Sistem Refrigerasi Kompresi Uap

Dari keempat proses tersebut apabila berlangsung terus–menerus maka akan menghasilkan suatu siklus, seperti gambar di bawah ini :



Gambar 3. Diagram P-h

Dossat (1981) menjelaskan bahwa kemampuan kerja sistem refrigerasi dinyatakan oleh besaran yang dinamakan (*Coeficient of Performance*). COP ini dipengaruhi oleh tekanan dan temperatur kerja dari sistem itu sendiri. Harga COP yang ideal (Carnot), tergantung dari temperatur kondensasi dan evaporasi dan juga tekanan kerja dari sistem. COP *actual* atau COP sebenarnya ialah COP sebenarnya yang dimiliki oleh suatu sistem. COP *Carnot* atau COP ideal ialah COP maksimum yang dapat dimiliki oleh suatu sistem.

Efisiensi ialah perbandingan besaran COP *actual* dan COP *Carnot*.

$$COP\ Aktual = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} = \frac{q_e}{w}$$

$$COPCarnot = \frac{T_E}{(T_K - T_E)}$$

$$Effisiensi\ Sistem = \frac{COP\ Aktual}{COP\ Carnot} x100\%$$

dengan,

q_e = besar kalor yang diserap dievaporator (kJ/kg)
w = besarnya kerja kompresi dilakukan (kJ/kg)
h_1 = *entalphy* saat refrigeran masuk kompresor (kJ/kg)
h_2 = *entalphy* saat refrigeran keluar kompresor (kJ/kg)
h_4 = *entalphy* saat refrigeran masuk evaporator (kJ/kg)
Te = temperatur evaporasi (K)
Tk = temperatur kondensasi (K)

ASHRAE (2008) menjelaskan bahwa efisiensi adalah kapasitas dalam satuan Watts dibagi dengan daya input dalam satuan Watts. Untuk mesin tata udara sering disebut sebagai *Energy efficiency ratio* (EER) atau *Coeficient of Performance* (COP).

Untuk mengkonversi EER menjadi COP, kalikan EER x 0,2931 atau dapat juga dikatakan EER = COP x 3,413 Btu/h W.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran temperatur dan tekanan dilakukan pada titik-titik tertentu sesuai dengan siklus refrigerasi kompresi uap sebagai parameter yang akan dimasukkan dalam proses plot ke diagram Ph. Temperatur lingkungan pun dicatat karena temperatur lingkungan dapat mempengaruhi kinerja dari sistem refrigerasi yang diukur performansinya.

Berikut dibawah ini adalah tabel data perancangan dan pengukuran sistem *Freezer* daging ayam dengan pemanfaatan panas kondensor pada sistem *Vacuum Drying* untuk produk kentang.

Tabel 1. Pengukuran Temperatur dan Tekanan pada Menit Ke 185 dan Menit Ke 220

No.	Parameter	Waktu (menit)		ket
		185	220	
1	Temperatur kondensasi	32,02	29,87	psi
2	Temperatur Evaporasi	-27,70	-31,4	psi
3	Temperatur Kabin	-9,8	-13,9	°C
4	Temperatur Produk	-17	-19	°C

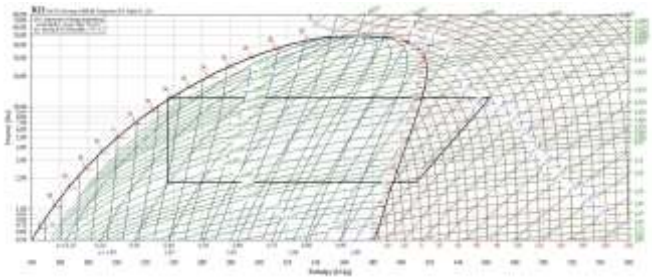
Tabel 2. Penurunan Kadar Air pada Kentang

Rata-Rata Temperatur Pemanasan	Berat Awal (gr)	Berat Akhir (gr)	Penurunan Kadar Air (%)
43,7	200	100	50

Hasil perhitungan merupakan contoh data hasil pengukuran menit ke 185 yang diambil untuk mengetahui performansi dari *freezer* yang dirancang.

Data menit ke – 185 (kondenser 2)
Refrigeran = R22
Tekanan *discharge*= 12,56*bar absolute*
Tekanan*suction*= 1,81*bar absolute*
Temperatur *discharge* = 90,2 ℃
Temperatur *suction*= -4 ℃
Temperatur *in ekspans*i= 30,4 ℃

Data di plot dalam di diagram Ph menggunakan software coolpack.



Gambar 4. Diagram Ph Dari Data Pengukuran Menit Ke 185

Setelah di plot pada diagram pH maka didapat nilai-nilai sebagai berikut :

h1 = 409,264 kJ/kg
h2 = 463,573 kJ/kg
h3 = h4 = 237,163 kJ/kg
Te= -27,56 °C = 245,5 K
Tk = 32,02 °C = 305,02 K

Besarnya kerja kompresi (q_w)

$q_w = h_2 - h_1$
= 463,573 kJ/kg – 409,264 kJ/kg
= 54,309 kJ/kg

Besarnya kalor yang dilepas oleh kondenser (q_c)

$q_c = h_2 - h_3$
= 463,573 kJ/kg - 237,163 kJ/kg
= 226,41kJ/kg

Besarnya kalor yang diserap oleh evaporator (q_e)

$q_e = h_1 - h_4$
= 409,264 kJ/kg – 237,163 kJ/kg
= 172,101 kJ/kg

Rasio Kompresi $= \frac{P_d}{P_s}$

$= \frac{12,56}{1,81} = 6,92$

$\text{COP aktual} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} = \frac{q_e}{q_w}$

$= \frac{172,763 \text{ kJ/kg}}{54,309 \text{ kJ/kg}}$

$= 3,17$

$\text{COP}_{\text{carnot}} = \frac{T_e}{T_k - T_e}$

$= \frac{245,5 \text{ K}}{305,02 \text{ K} - 245,5 \text{ K}} = 4,12$

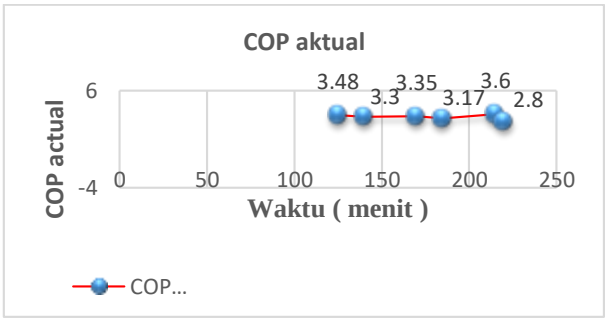
$\text{Effisiensi Sistem} = \frac{COP\ aktual}{COPcarnot} \times 100\%$

$= \frac{3,18}{4,12} \times 100\%$

=76,92 %

A. Analisis Grafik COP_{aktual} terhadap waktu

Dari hasil perhitungan COP_{aktual} (pada lampiran tabel *freezer*) maka didapat grafik pada Gambar 5 :



Gambar 5. Cop_{aktual} terhadap Waktu

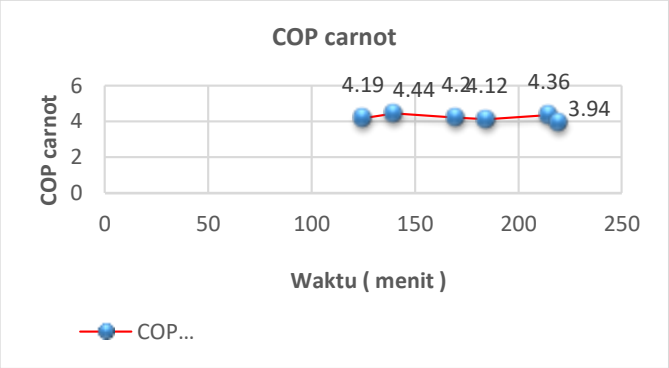
COP_{aktual} rata-rata adalah 3,28, nilai tersebut diambil dari nilai rata-rata COP_{aktual} pada saat sistem dalam kondisi bekerja normal pendinginandan sistem sudah dalam keadaan *steady* saja.Pada saat sistem sedang bekerja untuk proses pedinginan dan pengeringan secara bersamaan memiliki nilai COP_{aktual} rata-rata yang lebih kecil yaitu 2,8 hal ini dikarenakan nilai ketika sistem sedang bekerja secara bersamaan antara pendinginan dan pengeringan proses kerja kompresor yang relatif rendah dibandingkan dengan kerja kompresor ketika sistem bekerja hanya pendinginan saja yaitu dengan kerja kompresor (qw) rata-rata untuk sistem proses pendinginan dan pengeringan yaitu 34,01 kJ/kg sedangkan kerja kompresor rata-rata untuk pendinginan saja yaitu sebesar 39,6 kJ/kg.

Begitupun dengan kalor yang diserap pada evaporator ketika sistem sedang bekerja pendinginan dan pengeringan secara bersamaan juga memiliki nilai rata-rata paling rendah, hal ini tentunya diakibatkan temperatur keluaran kondenser 1 yang tinggi karena kondenser 1 yang disimpan di dalam kabin pelepasan kalornya tidak sempurna, sedangkan nilai rata-rata penyerapan kalor pada sistem ketika bekerja secara normal atau pendinginan saja memiliki nilai lebih tinggi, tentunya hal ini sangat berpengaruh terhadap nilai COP_{aktual} pada sistem.

Dapat disimpulkan bahwa nilai COP_{aktual} ini dipengaruhi oleh nilai efek refrigerasi dan kerja kompresi di kompresor. Jika nilai efek refrigerasi (qe) besar tetapi kerja kompresi (qw) kecil maka COP_{aktual} akan besar, tetapi jika nilai efek refrigerasi (qe) kecil tetapi kerja kompresi (qw) besar maka COP_{aktual} akan kecil.

B. Analisis Grafik COPcarnot terhadap waktu

Dari hasil perhitungan COP_{Carnot} (tabel ada pada lampiran data*freezer*) maka didapat grafik pada Gambar 6:



Gambar 6. Cop_{camot} terhadap Waktu

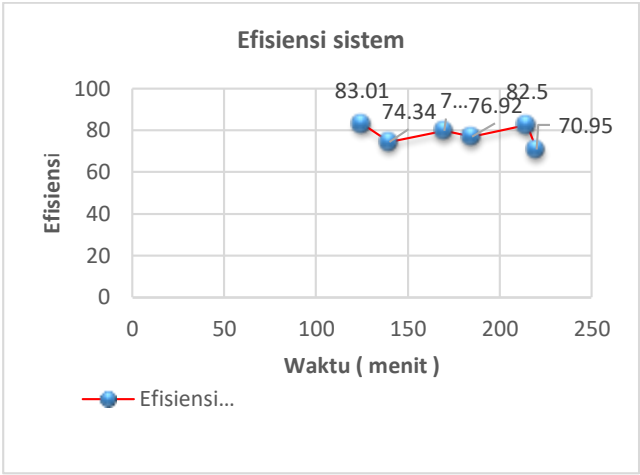
Nilai COP_{carnot} rata-rata adalah 4,21, nilai tersebut hanya diambil dari nilai rata-rata COP_{carnot} pada saat sistem dalam kondisi bekerja normal pendinginan dan sistem sudah dalam keadaan *steady*. Nilai COP_{carnot} yang diambil sebagai acuan kinerja sistem adalah ketika nilai COP_{carnot} yang terjadi pada saat sistem mencapai nilai tercapainya yaitu -18°C.

Pada saat sistem bekerja pendinginan saja, COP_{carnot} pada sistem memiliki nilai yang sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan sistem bekerja pendinginan dan pengeringan, tentunya hal ini disebabkan temperatur evaporasi dan kondensasi yang rendah pada saat pendinginan dan pengeringan berlangsung dibandingkan dengan sistem bekerja pada saatpendinginan saja yang memiliki temperatur kondensasi dan evaporasi yang tinggi.

Dapat disimpulkan bahwa nilai COP_{Carnot} ini dipengaruhi oleh nilai tekanan *discharge* dan tekanan *suction*. Jika semakin kecil perbedaan nilai tekanan *discharge* dan tekanan *suction* maka nilai COP_{Carnot}akan semakin besar. Sebaliknya jika perbedaan nilai tekanan *discharge* dan tekanan *suction* semakin besar maka nilai dari COP_{Carnot}akan semakin kecil.

C. Analisis Grafik Effisiensi Sistem Terhadap Waktu

Dari hasil perhitungan Efisiensi Sistem maka didapat grafik pada Gambar 7 :



Gambar 7. Effisiensi Sistem terhadap Waktu

Nilai efisiensi rata-rata yang terjadi pada saat sistem bekerja pendinginan saja dan sistem sudah dalam keadaan *steady* adalah 77,92 %.

D. Analisis Penurunan Kadar Air

Untuk perhitungan penurunan kadar air ini menggunakan penentuan kadar air bahan berdasarkan bobot basah *(wet basis)*dimana penurunan bobot basah ini merupakan penurunan jumlah kadar air pada kentang setelah mengalami proses pemanasan dan penurunan tekanan yang berlangsung pada kabin pengeringan. Pada proses pemanasan yang digunakan untuk proses pengeringan kentang ini menggunakan pemanfaatan panas kondenser 1 yangberada pada kabin pengering.

Dapat diketahui bahwa berat kentang yaitu 200 gram dan berat rak 260 gram. Sehingga total berat yang terukur pada timbangan yaitu 460 gram atau 0,46 kg dengan pengeringan selama 220 menit.

Perhitungan penurunan kadar air pada kentang

$$\text{Kadar Air bb} = \frac{m\ awal - m\ akhir}{m\ awal} \times 100\ \%$$

$$= \frac{200\ gr - 100\ gr}{200\ gr} \times 100\ \%$$

$$= 50\%$$

Waktu pengeringan sistem bekerja 220 menit, namun proses pemanasan tidak bekerja terus menerus karena setting *thermostat* pada kabin pengering tercapai pada 50ºC, oleh karena itu terjadi fluktuasi pada temperatur kabin pengering yang diakibatkan sistem bekerja secara bergantian antara sistem pendinginan saja dengan pendinginan dan pengeringan secara bersamaan

IV. KESIMPULAN

Dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai COP_{aktual} dan semakin kecil nilai COP_{Carnot} maka nilai efisiensi sistem yang didapat akan semakin besar, sedangkan jika nilai COP_{aktual} semakin kecil dan nilai COP_{Carnot} semakin besar maka nilai efisiensi sistem akan semakin kecil.

Sistem memiliki dua buah kondenser yang bekerja bergantian. Ketika kabin pengering membutuhkan pemanasan kondenser 1 bekerja setelah temperatur kabin pengering 50°C kondenser 2 yang bekerja, proses ini berlangsung terus menerus sampai proses pengeringan selesai.. Hasil yang didapat adalah : ketika kondenser 1 bekerja memiliki COP aktual 2,8, COP carnot 3,94 dan effisiensi 70,79 %. Sedangkan ketika kondenser 2 bekerja memiliki COP aktual 3,17, COP carnot 4,12 dan efisiensi 7,92 %. Massa kentang sebelum dikeringkan adalah 200 gram setelah dilakukan pengeringan selama 3 jam massa kentang menjadi 100 gram sehingga kentang mengalami pengurangan massa sebanyak 100 gram.

REFERENCES

[1] ASHRAE, 2009, Fundamental, USA.

[2] ASHRAE Hamdbook, 2010, Refrigeration, I-P Edition, Supported ASHRAE by RESEARCH

[3] Arora, C.P., 2001, *Refrigeration and Air Conditioning*, 2nd edition, International edition, McGraw-Hill.

[4] Dossat, R.J., 1981, Principle Of Refrigeration and Air Conditioning, 2nd Edition, John Willey and Sons, New York

[5] Incropera, F.P. and De Witt, 2002, *Fundamental of Heat and Mass Transfer*, 4thed, John Wiley & Sons, New York

[6] Mooran, Michael J., Shapiro, Howard N.,2006, *Fundamentals Of Engineering Thermodynamics*, John Wiley & Sons, Ltd., England

[7] Obin, Rahmawan, 2001, Pengeringan, pendinginan dan Pengemasan Komoditas Pertanian, Direktorat Pendidikan Kejuruan Jakrta

[8] Refprod versi 7 (software)., Thermophysical Properties Division, NIST (National Institute of Standarts and Technology).

[9] Software, Cool Pax, Danfoss