

Analisis Mesin Pengering Kunyit dengan Sistem Dehumidifikasi dan Pompa Kalor

Ketut Ariska Pramawiguna ^{1*}, I Nengah Ardita ¹, I Kadek Ervan Hadi Wiryanta ¹

¹ Program Studi Teknologi Rekayasa Utilitas-MEP, Politeknik Negeri Bali, Jl. Kampus, Kuta Selatan, Badung, Bali 80364, Indonesia

*Corresponding Author: ariskapramawiguna60@gmail.com

Abstrak: Pengeringan merupakan proses pengurangan kadar air sampai <10% sehingga dapat disimpan dalam jangka waktu lama dan terhindar dari jamur. Untuk tanaman obat diperlukan pengeringan dengan temperatur rendah (35°C – 45°C) sehingga tidak merusak khasiat yang terkandung. Dalam hal ini dibutuhkan sistem pengeringan *heat pump dehumidifikasi* yang hemat energi, dan efisiensi waktu serta tidak bergantung cuaca. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui kinerja sistem refrigerasi, karakteristik pengeringan, konsumsi energi dan kinerja dari mesin pengering. Pengeringan dilakukan dengan 2 (dua) kapasitas berbeda yakni kapasitas 1500 gram dan 3000 gram dengan variasi waktu setiap pengeringan. Hasil yang diperoleh dari analisis ini menunjukkan mesin ini mampu mengeringkan kunyit sampai <10% dengan waktu 9 jam untuk kapasitas 1500 gram dan 13 jam untuk kapasitas 3000 gram dengan tingkat konsumsi energi yang cukup rendah yakni 1,65 kWh dan 2,37 kWh. Diperoleh temperatur udara masuk ruang pengering rata-rata sebesar 40°C dan kelembaban rata-rata 43%. Untuk temperatur dan kelembaban maksimum masuk ruang pengering yaitu 48°C dan 34% berturut-turut. Hasil kajian ini menunjukkan bahwa kinerja mesin refrigerasi (COP_{ref}, COP_{HP}, dan TP) dengan menggunakan refrigerant R-134A memiliki kinerja sebesar 3,24, 4,24, dan 7,5 berturut-turut ini menandakan mesin ini cukup efisien. Kinerja dari mesin pengering juga menunjukkan hasil memuaskan dimana nilai dari SMER meningkat dari awal pengeringan sedangkan SEC akan semakin rendah dimana SMER berkisar 0,3981 kg/kWh – 0,4166 kg/kWh dan SEC 2,5119 kWh/kg – 2,4003 kWh/kg.

Kata Kunci: pompa kalor, dehumidifikasi, pengering kunyit, kinerja mesin refrigerasi, karakteristik pengeringan, SMER

Abstract: Drying is a process of reducing moisture content to <10% so that it can be stored for a long time and avoid mold. For medicinal plants, drying at a low temperature (35°C – 45°C) is required so that it does not damage the properties contained. In this case, a dehumidification heat pump drying system is needed that is energy efficient, time efficient and does not depend on the weather. This study aims to determine the performance of the refrigeration system, drying characteristics, energy consumption and performance of the drying machine. Drying is carried out with 2 (two) different capacities, namely the capacity of 1500 grams and 3000 grams with variations in the time of each drying. The results obtained from this analysis show that this machine is able to dry turmeric up to <10% in 9 hours for a capacity of 1500 grams and 13 hours for a capacity of 3000 grams with a fairly low energy consumption level of 1.65 kWh and 2.37 kWh. The average temperature of the air entering the drying chamber is 40°C and the average humidity is 43%. The maximum temperature and humidity entering the drying chamber are 48°C and 34%, respectively. The results of this study indicate that the performance of refrigeration machines (COP_{ref}, COP_{HP}, and TP) using refrigerant R-134A has a performance of 3.24, 4.24, and 7.5, respectively, indicating that this machine is quite efficient. The performance of the dryer also shows satisfactory results where the value of SMER increases from the beginning of drying while the SEC will be lower where SMER ranges from 0.3981 kg/kWh – 0.4166 kg/kWh and SEC 2.5119 kWh/kg – 2,4003 kWh/kg.

Keywords: heat pump, dehumidification, turmeric drying, refrigeration engine performance, drying characteristics, SMER

Informasi Artikel: Pengajuan Repository pada September 2022/ Submission to Repository on September 2022

Pendahuluan/ Introduction

Dalam dunia industri, proses pengeringan sangat berperan penting. Berbagai metode pengeringan telah dilakukan untuk menghasilkan produk kering dengan kualitas yang diinginkan serta biaya minimum dan kapasitas maksimum dengan cara mengoptimalkan berbagai faktor secara konsisten. Pemilihan metode ini selalu didasarkan atas pertimbangan terkait dengan potensi teknologi hemat energi [1]. Rimpang kunyit mengandung khasiat zat warna kuning yaitu minyak atsiri, polisakarida, zingiberen, kurkuminoid, sineol, dan lainnya [2]. Penelitian sebelumnya melaporkan kandungan kunyit ini bersifat anti kanker [3,4] dan sudah dinyatakan menjadi anti oksidan [5].

Pemanfaatannya sebagai obat tradisional atau jamu umumnya dimulai dari pembuatan simplisia (bahan yang telah dikeringkan) agar dapat disimpan dalam jangka waktu lama [6]. Standar kadar air simplisia adalah 10% dari kadar awal pasca panen 80-90% [7]. Pengeringan bertujuan untuk mengurangi kadar air dimana perkembangan mikrobiologi dan enzim yang menyebabkan pembusukan terhenti. Namun, masyarakat masih menggunakan metode pengeringan dengan penjemuran langsung (*sun drying*) dan menggunakan pengering buatan jenis udara panas (*hot air drying*). Pengeringan konvensional tersebut memiliki kelemahan yaitu tidak ada kontrol suhu dan kelembaban, membutuhkan area penjemuran yang luas, waktu pengeringan cukup lama, tergantung pada cuaca, suhu pengeringan yang tinggi dan kunyit mudah terkontaminasi debu dan kotoran [7]. Pengering konvensional ini kurang tepat untuk mengeringkan tanaman herbal. Obat-obatan harus dikeringkan pada temperatur rendah (sekitar 30-45°C) dan kelembaban yang rendah untuk mempertahankan khasiatnya. Karena dengan suhu tinggi dapat merusak kandungan zat pada rimpang kunyit tersebut [8]. Oleh karena itu pada proses pengeringan kunyit diperlukan pengering yang mengkombinasikan pompa kalor dan *dehumidifier*.

Pada proses pengeringan dengan sistem tersebut dapat dilakukan dengan model tertutup (*closed drying*). Banyak keunggulan dibanding pengering konvensional yakni higienis, temperatur dan kelembaban udara pengering mudah dikontrol, sehingga dapat digunakan pada kisaran temperatur yang luas sesuai dengan kebutuhan. Disamping itu kualitas bahan yang dikeringkan menjadi lebih baik, tidak tergantung dengan cuaca luar serta tidak menghasilkan asap yang mengotori atmosfer. Pengering *heat pump dehumidifier* juga menghasilkan warna dan aroma yang lebih baik dari pengering konvensional [9].

Tujuan penelitian ini adalah melakukan analisis mesin pengering kunyit dengan sistem *dehumidifikasi* dan pompa kalor. Adapun parameter dalam menganalisis penelitian ini yaitu mengetahui kinerja mesin refrigerasi kompresi uap, karakteristik pengeringan, konsumsi energi untuk proses pengeringan (kWh) serta kinerja dari mesin pengering.

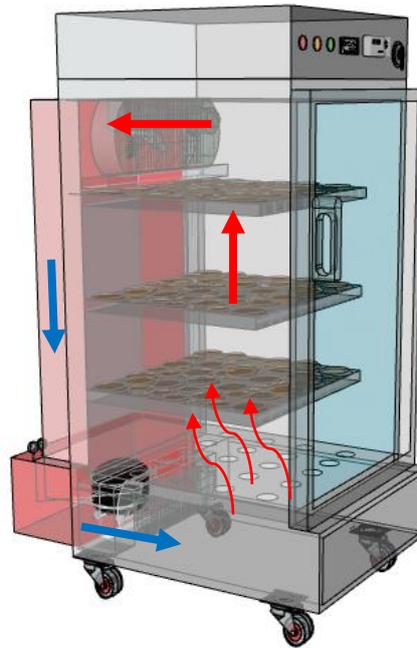
Dengan melakukan analisis diatas maka akan mendapatkan mesin pengering berdasarkan sistem pompa kalor yang dapat melakukan pengeringan dengan baik atau tidak kalah dari mesin pengering konvensional yang ada di lapangan. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini akan dapat digunakan sebagai inovasi pemanfaatan energi terbuang (*heat recovery*) yang pada akhirnya dapat meningkatkan efisiensi penggunaan energi.

Metode/ Method

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimental dan pengumpulan data primer. Analisis data dilakukan berdasarkan data pengukuran dari proses pengujian yang kemudian dilakukan perhitungan sesuai dengan persamaan yang digunakan. Desain peralatan pengering *system heat pump dehumidifier* adalah modifikasi *showcase* dengan memanfaatkan panas buang dari kondensor serta penambahan saluran udara (*ducting*) dan ruang pengering. Sistem ini bekerja dengan saluran udara tertutup (*closed drying*) dan sepenuhnya disuplai dengan listrik PLN.

2.1 Experimental Set Up

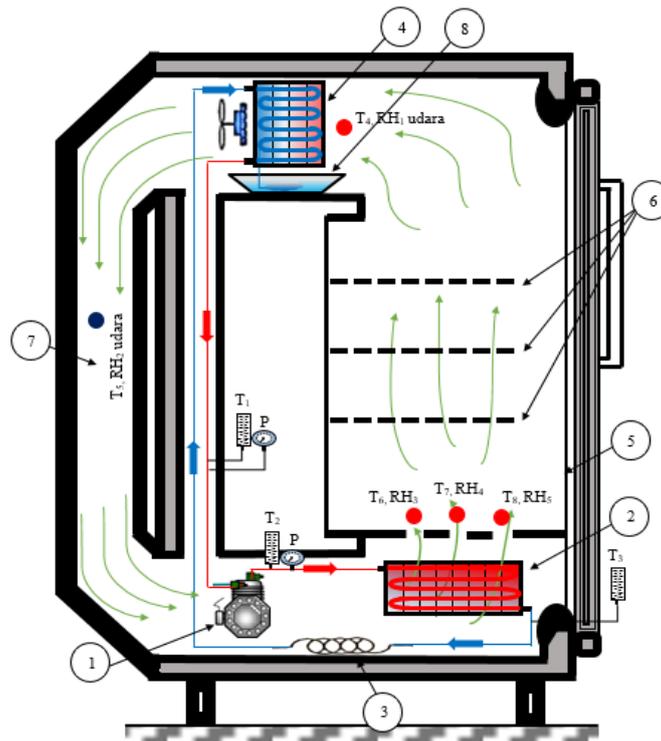
Melalui skema siklus refrigerasi kompresi uap, panas yang dihasilkan oleh kondensor dimanfaatkan untuk mengeringkan kunyit. Udara panas dari hasil perubahan fase refrigeran di kondensor akan dialirkan menuju ruang pengering, sehingga kadar air pada produk akan terangkat oleh udara panas yang kemudian udara tersebut menjadi lembab. Udara hasil pengeringan selanjutnya dialirkan ke evaporator untuk mengalami proses pendinginan dan penurunan kandungan uap air (*cooling and dehumidifikasi*), sehingga uap air akan mengalami kondensasi dan berubah menjadi cair yang ditandai dengan *condensat water*. Udara yang sudah mengalami proses pendinginan dan penurunan kandungan uap air akan berubah menjadi udara kering yang selanjutnya kembali menuju kondensor untuk proses pemanasan. Begitupun seterusnya udara pengering bersirkulasi terlihat seperti Gambar 3.



Gambar 3. Tampak 3D showcase modifikasi

Selama proses pengujian, dilakukan pengambilan data seperti terlihat pada Gambar 4, meliputi :

1. Berat bahan yang akan dikeringkan (m)
Berat dari bahan, di ukur pada saat keadaan basah (mawal) dan pada saat keadaan kering (makhir)
2. Waktu pengeringan (t)
Waktu pengeringan yang dibutuhkan untuk mengeringkan bahan yaitu pada saat basah sampai pada saat keadaan kering (berat basah sampai berat kering).
3. Temperatur (T)
Temperatur yang di ukur adalah temperatur refrigeran keluar evaporator (T_1), temperatur refrigeran keluar kompresor (T_2), temperatur refrigeran keluar kondensor (T_3), temperatur udara pada saat masuk ke evaporator (T_4), temperatur udara keluar evaporator (T_5) dan temperatur udara keluar kondensor (T_6).
4. Kelembaban udara (RH)
Kelembaban udara di ukur pada titik masuk evaporator (RH_1), keluar evaporator (RH_2) dan keluar kondensor (RH_3).
5. Kecepatan aliran udara (v)
Kecepatan udara yang di ukur yakni pada titik keluar kondensor dan keluar evaporator dengan variasi pengambilan data kecepatan.
6. Tekanan rendah (P_{low}) dan tekanan tinggi (P_{high})
7. Tegangan (V) dan kuat arus listrik (I)



Gambar 4. Experimental Set Up

Keterangan :

1. Kompresor
2. Kondensor
3. Alat ekspansi
4. Evaporator dan fan
5. Ruang pengering
6. Rak pengering
7. Saluran udara
8. Box penampungan air

2.2 Tempat dan Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bali. Pengujian ini dilakukan dengan 2 kapasitas kunyit yakni 1,500 gram dan 3000 gram dengan masing-masing variasi waktu setiap pengujian sampai mendapatkan kadar air <10%. Kunyit yang telah diiris sama rata diletakkan di rak ruang pengering. Dalam ruang pengering terdapat 3 baris rak, kunyit yang akan dimasukkan ke masing-masing rak ditimbang terlebih dahulu. Pada tahap pengujian thermostat disetting pada temperatur rendah yakni 34,5°C sampai 36°C, saat temperatur 36°C kompresor akan off dan pada temperatur 34,5°C kompresor akan on kembali.

2.3 Perhitungan Performansi Teknis [10,11]

Kalor yang diserap evaporator (Q_e)

$$Q_e = h_1 - h_4 \text{ (kJ/kg)} \quad (1)$$

Kerja kompresi (W_{comp})

$$W_{comp} = h_2 - h_1 \text{ (kJ/kg)} \quad (2)$$

Daya aktual kompresor (P_{aktual})

$$P_{aktual} = V \cdot I \cdot \cos \theta \quad (3)$$

Kalor yang dibuang kondensor (Q_c)

$$Q_c = h_2 - h_3 \text{ (kJ/kg)} \quad (4)$$

Laju aliran massa refrigerant (\dot{m}_{ref})

$$\dot{m}_{ref} = \frac{P_{aktual}}{h_2 - h_1} \quad (5)$$

Koefisien prestasi pompa kalor (COP_{aktual})

$$COP_{aktual} = \frac{Q_c}{W_{comp}} \quad (6)$$

Total performance (TP)

Sebuah sistem kompresi uap dengan memanfaatkan evaporator dan kondensor dapat dinyatakan dengan TP.

$$TP = \frac{Q_e + Q_c}{W_{comp}} \quad (7)$$

Laju pengeringan (\dot{m}_d)

Banyaknya air yang diuapkan tiap satuan waktu atau penurunan kadar air bahan dalam satuan waktu.

$$\dot{m}_d = \frac{m_{awal} - m_{akhir}}{t} \quad (8)$$

Laju aliran massa udara (\dot{m}_{udara})

$$\dot{m}_{udara} = \rho \cdot A \cdot v \quad (9)$$

Debit aliran udara (Q_{udara})

$$Q_{udara} = \frac{\dot{m}_{udara}}{\rho_{udara}} \quad (10)$$

SMER (Specific Moisture Extraction Rate)

Rasio jumlah air yang diuapkan dari bahan dalam (kg/jam) terhadap energi yang digunakan (kW).

$$SMER = \frac{\dot{m}_d}{W_{cond} + W_{fan}} \quad (11)$$

SEC (Specific Energy Consumption)

Rasio terhadap energi yang digunakan (kW) terhadap jumlah air yang diuapkan (kg/jam)

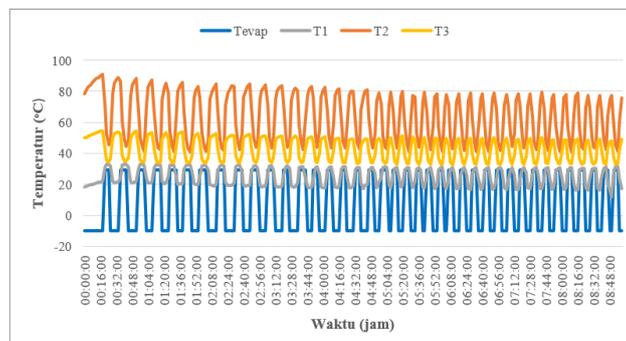
$$SEC = \frac{1}{SMER} \quad (12)$$

Hasil dan Pembahasan/ Result and Discussion

Analisa terhadap sebuah mesin pengering pompa kalor untuk mengeringkan tanaman obat (kunyit) telah dilakukan dimana, analisa data ini meliputi, analisa kinerja sistem refrigerasi, analisa data sistem tata udara, analisa data pengeringan produk, analisa data konsumsi energi dan analisa kinerja mesin pengering.

3.1 Analisa Data Sistem Refrigerasi

Hasil pengujian pada sistem refrigerasi didapatkan sebuah grafik temperatur refrigeran seperti terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Temperatur refrigerant terhadap waktu

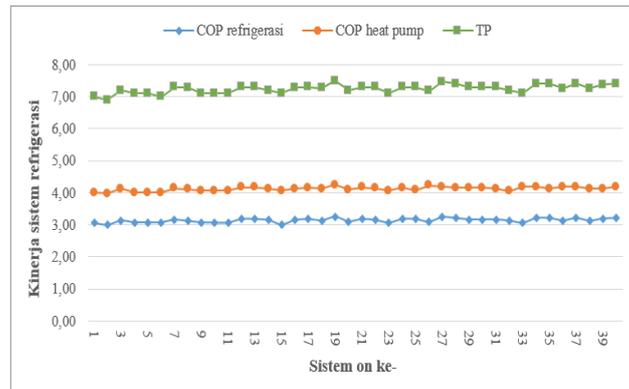
Terlihat perubahan temperatur akibat dari on-off kompresor selama 9 jam. Dalam waktu 9 jam, siklus on-off kompresor (*cycling process*) terbaca 40 siklus. Pada temperatur evaporator (T_{evap}) dan temperatur keluar evaporator (T_1) berbanding lurus, disaat kompresor on maka temperaturnya akan turun sampai temperatur terendah yakni -10°C dan $16,29^{\circ}\text{C}$ berturut-turut, begitupun disaat kompresor off temperaturnya akan naik hingga $29,37^{\circ}\text{C}$ dan 32°C . Ini berbanding terbalik dengan temperatur keluar kompresor (T_2) dan temperatur keluar kondensor (T_3), disaat kompresor on temperatur akan berangsur-angsur naik dan juga sebaliknya. Untuk (T_2) temperatur tertingginya yaitu mencapai $91,05^{\circ}\text{C}$ dan temperatur terendahnya yaitu $41,91^{\circ}\text{C}$ dan pada (T_3) temperatur tertingginya hingga $54,47^{\circ}\text{C}$ dan temperatur terendahnya $32,61^{\circ}\text{C}$.

Terlihat pada awal pengeringan sampai waktu 5 jam, siklus on-off kompresor membutuhkan waktu sekitar 8 menit dan setelahnya siklus tersebut semakin cepat yakni hanya 6 menit saja. Untuk temperatur pada titik T_2 dan T_3 ini akan mengikuti proses pengeringan pada produk dikarenakan semakin kering produk tersebut maka semakin cepat siklus on-off pada kompresor, sehingga apabila semakin cepat maka temperatur yang dicapai tidak akan seperti temperatur pada awal pengeringan.

Tabel 1 Hasil perhitungan kinerja refrigerasi

No	Parameter	Nilai
1	Temperatur evaporasi ($^{\circ}\text{C}$)	-10
2	Temperatur kondensasi ($^{\circ}\text{C}$)	54
3	Superheat (K)	29
4	Subcooling (K)	5
5	\dot{m}_{ref} (kg/s)	0,00663
6	Q_e (kW)	0,974
7	Q_c (kW)	1,289
8	W_{comp} (kW)	0,314
9	COP_{ref}	3,24
10	COP_{HP}	4,24
11	TP	7,49

Dari data hasil perhitungan diatas selanjutnya diplot ke dalam grafik sehingga didapatkan sebuah grafik kinerja mesin sistem refrigerasi seperti terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik kinerja sistem refrigerasi

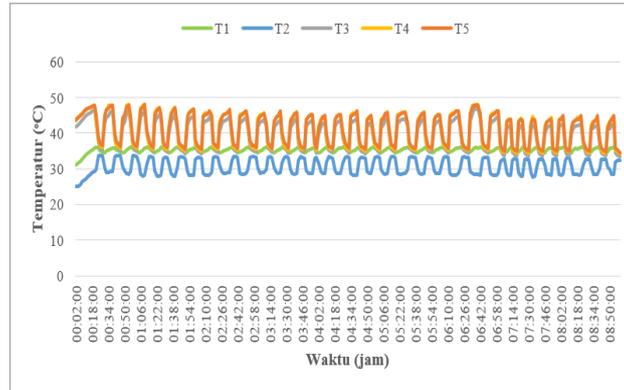
Dari Gambar 6 diatas terlihat kinerja sistem refrigerasi (COP_{ref}) lebih rendah daripada kinerja sistem heat pump (COP_{HP}). Terlihat nilai COP_{ref} tertinggi yakni 3,24 dan pada COP_{HP} sebesar 4,24. Ini berarti energi panas yang di keluarkan oleh kondensor dan dimanfaatkan untuk proses pengeringan produk lebih besar dibanding energi untuk proses penurunan kandungan uap air (*dehumidifikasi*) yang terjadi pada evaporator.

COP merupakan indikator efektifitas energi yang digunakan untuk menghasilkan panas dengan kata lain adalah rasio pemanasan atau pendinginan yang disediakan untuk energi yang dikonsumsi. Oleh karenanya nilai COP tidak pernah kurang dari 1, dan semakin tinggi nilai COP maka biaya operasi akan semakin rendah atau sistem tersebut semakin efektif. Dari hasil diatas didapatkan COP tertinggi untuk pompa kalor adalah

4.24. Angka ini memberikan pernyataan bahwa untuk setiap 1 kW energi listrik yang dibutuhkan untuk menggerakkan kompresor akan menghasilkan panas di kondensator sebesar 4.24 kW.

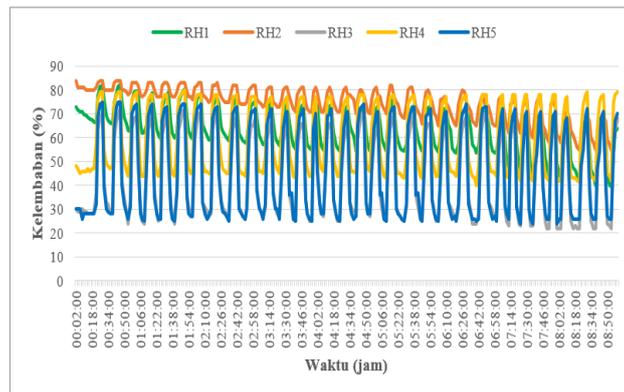
Pada sistem *heat pump dehumidifikasi* ini memadukan dua (2) komponen sekaligus yaitu kondensator dan evaporator, maka dapat dinyatakan dalam kinerja yaitu *total performance* (TP). Dari grafik diatas terlihat nilai tertinggi untuk TP yakni 7,5, ini berarti dalam 1 kW energi listrik yang dibutuhkan oleh kompresor mampu menghasilkan energi panas untuk mengangkat uap air dan energi untuk proses penurunan kandungan uap air yang terjadi pada evaporator sebesar 7,5 kW.

3.2 Analisa Data Sistem Tata Udara



Gambar 7. Temperatur udara pengering terhadap waktu

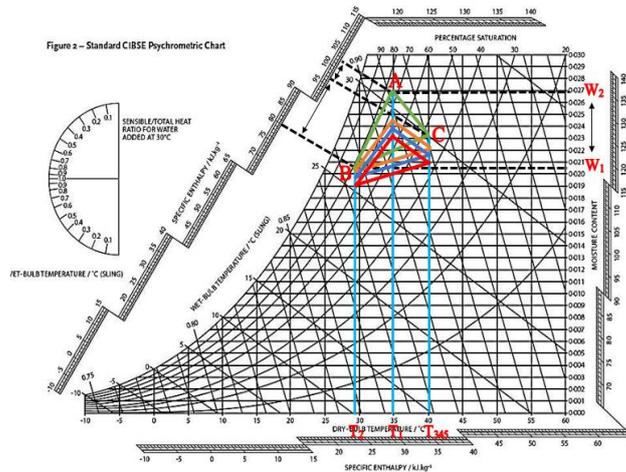
Pada Gambar 7 diatas terlihat perubahan temperatur akibat dari *on-off* kompresor. Untuk temperatur udara keluar kondensator atau masuk ruang pengering (T_{345}) yakni rata-rata sebesar 40°C , temperatur udara pada ruang pengering (T_1) rata-rata berkisar antara 35°C dan untuk temperatur udara keluar evaporator (T_2) yaitu rata-rata 29°C . Pada awal pengeringan temperatur udara yang keluar kondensator menuju ruang pengering memiliki temperatur yang tinggi hingga mencapai $47,5^{\circ}\text{C}$, ini dikarenakan pada awal pengeringan udara tersebut mengalami hambatan untuk sampai ke rak paling atas. Karena sensor thermostat berada pada rak paling atas, jadi sistem terus bekerja sampai temperatur sesuai setting thermostat yakni 36°C itu tercapai hingga rak paling atas. Selama pengujian dengan kapasitas kunyit 1,500 gram dengan masing-masing rak terdapat 500 gram irisan kunyit, sistem mengalami *cycling on/off* selama 10 menit dan 8 menit berturut-turut. Pada kapasitas 3000 gram sistem mengalami *on/off* lebih lama yakni 12 menit dan 10 menit.



Gambar 8. Kelembaban udara pengering terhadap waktu

Dari grafik pada Gambar 8 diatas terlihat perubahan kelembaban udara akibat dari *on-off* kompresor. Kelembaban udara ini berbanding terbalik dengan temperatur, dimana disaat temperatur tinggi maka kelembaban akan rendah begitupun sebaliknya. Pada kelembaban udara keluar kondensator/masuk menuju ruang pengering (RH_{345}) memiliki kenaikan dan penurunan kelembaban sesuai dengan keadaan temperatur, kelembaban udara pada titik ini berfluktuasi tetapi naik turunnya relatif konstan. Pada kelembaban udara ruang pengering (RH_1) dan keluar evaporator/keluar ruang pengering (RH_2) itu mengalami penurunan selama waktu pengujian berlangsung, dikarenakan air yang menguap ke udara dari kunyit tersebut sudah mulai berkurang.

Kelembaban udara terendah pada titik (RH₁) adalah 41% dan kelembaban udara terendah pada titik (RH₂) sebesar 51%.



Gambar 9. Proses pengeringan diagram psychrometric

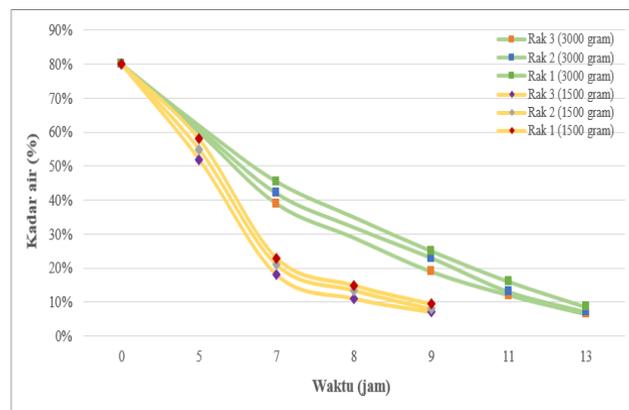
Pada diagram psychrometric yang terlihat seperti Gambar 9 diatas, awal pengeringan terlihat proses berwarna hijau memiliki kelembaban yang tinggi pada titik RH₁ (ruang pengering), RH₂ (keluar ruang pengering) dan RH₃ (masuk ruang pengering). Dari waktu 5 jam (berwarna hijau), 7 jam (berwarna orange), 8 jam (berwarna biru) dan 9 jam (berwarna merah) menunjukkan semakin lama proses pengeringan maka kelembaban udara akan semakin rendah. Dari proses tersebut juga didapatkan seberapa besar kandungan uap air yang berhasil diuapkan. Semakin kering produk tersebut dan semakin lama waktu pengeringan maka kandungan uap air (Δw) akan semakin sedikit. Kandungan uap air yang berhasil diuapkan berturut-turut 0,006, 0,005, 0,005 dan 0,004 (kg_{air}/kg_{udara}).

Tabel 2 Hasil perhitungan pada udara

No	Parameter	Nilai
1	Laju aliran massa udara \dot{m}_{udara} (kg/s)	0,4803
2	Debit aliran udara Q_{udara} (m ³ /s)	0,3936

3.3 Analisa Data Pengeringan Produk

Pada Gambar 10 diatas dapat dilihat grafik penurunan kadar air terhadap waktu pengeringan pada dua kapasitas pengeringan kunyit yaitu kapasitas 1500 gram dan kapasitas 3000 gram dengan masing-masing 4 kali percobaan dengan variasi waktu berbeda.



Gambar 10. Perbandingan kadar air terhadap waktu

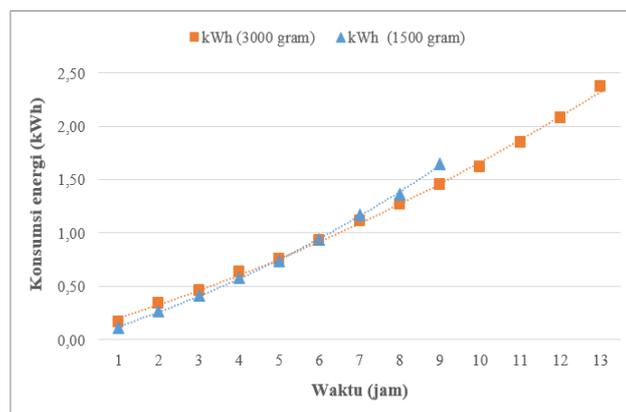
Bentuk grafik tersebut memperlihatkan tahap penurunan kadar air, yaitu tahap penurunan kadar air cepat dan tahap penurunan kadar air lambat yang terjadi pada akhir proses. Pada awal pengeringan, terjadi penurunan kadar air cepat, ini karena massa air yang terdapat pada permukaan bahan sangat besar yang di-

namakan dengan air bebas. Ketika proses pengeringan dimulai, udara yang membawa uap panas akan kontak dengan seluruh permukaan bahan, sehingga tekanan uap air akan naik, begitupun sebaliknya ketika tekanan uap air pada permukaan menurun maka perpindahan massa uap air pun menurun [13]. Saat itu terjadi tahap penurunan kadar air akan bergerak lambat dengan bentuk grafik yang landai pada akhir proses pengeringan.

Pada perlakuan kapasitas kunyit 1500 gram, waktu yang dicapai untuk memenuhi standar kadar air <10% yaitu pada waktu 9 jam. Terlihat kadar air terendah dari awal proses pengeringan yakni pada rak no 3 (paling bawah), ini dikarenakan aliran distribusi temperatur naik dari bawah menuju keatas sehingga dari awal mulainya proses pengeringan, rak ke-3 mendapatkan *supply* temperatur yang maksimal dari pada rak no 2 dan 1. Perlakuan kapasitas pengeringan kunyit 3000 gram juga sama, rak ke-3 mendominasi kadar air terendah. Tetapi waktu yang dicapai dalam proses pengeringan itu lebih lama daripada kapasitas 1500 gram yaitu dengan waktu 13 jam hingga mencapai kadar air yang distandarkan. Itu dikarenakan dengan menambah kapasitas produk maka distribusi udara panas akan terhambat oleh irisan kunyit sehingga udara panas tersebut akan berangsur-angsur naik setelah rak paling bawah mulai kering setelah itu diteruskan menuju rak tengah dan yang terakhir rak atas.

3.4 Analisa Data Konsumsi Energi

Pada kapasitas pengeringan 1500 gram pada pengujian selama 9 jam daya yang dikonsumsi kompresor dan fan sebesar 0,267 kW dengan total on-time kompresor selama pengujian yaitu 6 jam dan pada saat kompresor mati hanya fan saja yang bekerja selama 3 jam dengan daya 0,028 kW. Pengeringan dengan kapasitas 3000 gram pada pengujian selama 13 jam daya yang dikonsumsi kompresor dan fan sama seperti pengujian 1500 gram yakni sebesar 0,267 kW dengan total on-time kompresor lebih lama yakni selama 9 jam dan selama 4 jam hanya fan yang bekerja dengan daya 0,028 kW.



Gambar 11. Konsumsi energi pengering terhadap waktu

Pada Gambar 11 diatas terlihat kenaikan konsumsi energi setiap jamnya tetapi kenaikan tersebut tidak terlalu signifikan. Pada pengeringan kunyit dengan kapasitas 1500 gram, dimana hingga mencapai standar kadar yang dipersyaratkan, itu dapat dicapai dengan waktu 9 jam dengan tingkat konsumsi energi hanya 1,65 kWh. Untuk pengeringan dengan kapasitas 3000 gram dengan waktu pengeringan selama 13 jam konsumsinya yakni sebesar 2,37 kWh. Energi ini jauh lebih hemat daripada penelitian terdahulu dimana pada mesin ini hanya menggunakan panas buang dari kondensor untuk memanaskan dan evaporator untuk mengembunkan. Tidak ada komponen tambahan seperti heater yang notabene meningkatkan konsumsi energi 2 kali lipat dan juga pada mesin ini hanya terdapat satu fan saja. Walaupun pengeringannya sedikit lama tetapi dapat menghemat konsumsi energi dan juga tidak mengurangi kualitas dari kunyit kering yang dihasilkan karena menggunakan pengeringan dengan temperatur rendah.

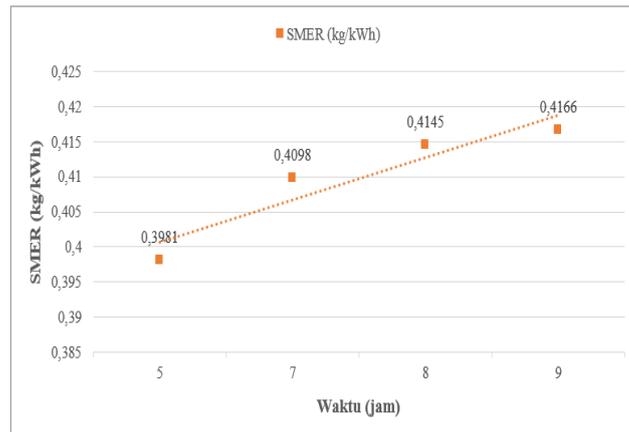
3.5 Analisa Kinerja Mesin Pengering

Analisa kinerja mesin pengering ini didefinisikan dengan laju pengeringan, SMER, dan SEC. Untuk hasil perhitungan parameter tersebut sebagai berikut ini :

Tabel 3 Hasil perhitungan kinerja mesin pengering

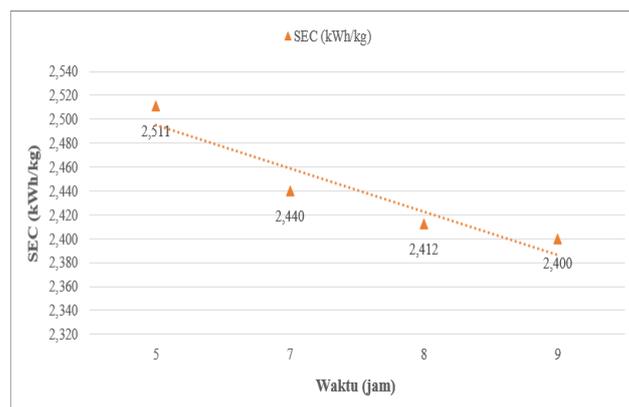
No	Waktu (jam)	\dot{m}_d (kg/jam)	SMER (kg/kWh)	SMER (kg/kWh)
1	5	0,129	0,3981	2,5119
2	7	0,1328	0,4098	2,4402
3	8	0,1343	0,4145	2,4125
4	9	0,135	0,4166	2,4003

Dari Tabel 3 diatas maka didapatkan sebuah grafik perbandingan SMER dan SEC terhadap variasi waktu pengeringan.



Gambar 12. SMER terhadap waktu pengeringan

Pada Gambar 12 terlihat perbandingan SMER terhadap waktu pengeringan dengan perlakuan kapasitas produk 1500 gram. Nilai SMER dari proses pengeringan dengan sistem pompa kalor memperlihatkan bahwa nilai SMER meningkat dari awal hingga akhir proses pengeringan. Nilai SMER berkisar antara 0,3981 kg/kWh – 0,4166 kg/kWh dari variasi waktu pengeringan. Ini artinya adalah jumlah air yang mampu dihilangkan/diuapkan dari bahan tiap 1 kWh adalah 0,3981 kg – 0,4166 kg.



Gambar 13. SEC terhadap waktu pengeringan

Sedangkan untuk nilai SEC terlihat pada Gambar 13 ini terus mengalami penurunan dari awal proses hingga akhir pengeringan. Nilai SEC pada pengeringan ini berkisar antara 2,511 kWh/kg – 2,400 kWh/kg, yang artinya bahwa energi dikonsumsi untuk menghilangkan 1 kg uap air dari bahan yang dikeringkan adalah antara antara 2,511 kWh – 2,400 kWh.

Dari kedua grafik diatas terlihat bahwa dari awal proses nilai SMER terus meningkat tetapi untuk nilai SEC terlihat menurun. Antara SMER dan SEC ini akan berbanding terbalik, semakin meningkat nilai SMER atau semakin rendah nilai SEC maka kinerja mesin pengering heat pump dehumidifikasi semakin baik.

Simpulan/ Conclusion

Analisis mesin pengering kunyit dengan sistem *dehumidifikasi* dan pompa kalor telah dilakukan dengan baik. Hasil kajian menunjukkan mesin pengering ini sesuai untuk mengeringkan tanaman obat karena temperatur dan kelembaban udara pengering rendah. Rata-rata temperatur masuk ruang pengering 40°C dengan kelembaban 43%. Mesin ini mampu mengeringkan kunyit sampai kadar air <10% dengan waktu 9 jam untuk kapasitas 1500 gram dan 13 jam untuk kapasitas 3000 gram dengan tingkat konsumsi energi yang cukup rendah yakni 1,65 kWh dan 2,37 kWh. Hasil kajian ini juga mengindikasikan bahwa sistem refrigerasi dapat beroperasi secara efisien dengan tingkat performansi COP_{ref} , COP_{HP} , dan TP yakni sebesar 3,24, 4,24, dan 7,5 berturut-turut. Kecepatan udara rata-rata 2,6 m/s dengan laju aliran massa udara 0,4803 kg/s dan debit aliran udara 0,3936 m³/s. Kinerja mesin pengering sangat baik ditandai dengan nilai SMER terus meningkat sedangkan SEC menurun.

Ucapan Terima Kasih/ Acknowledgment

Penulis menyampaikan terima kasih atas bantuan, bimbingan, arahan dan dukungan dari Bapak Dosen pembimbing 1 dan pembimbing 2 sehingga penelitian ini dapat selesai dengan baik. Juga teman sejawat yang telah memberikan masukan serta dukungan dan juga seluruh Dosen dan staf akademik yang telah membantu memberikan fasilitas dan ilmunya dalam penyelesaian penelitian ini

Referensi/ Reference

- [1] A.S. Mujumdar, *Handbook of Industrial Drying*, 3rd edition, Singapura: Taylor & Francis Group, LLC, 2006.
- [2] BPOM. 2007. *Temu Putih*. Jakarta: BPOM.
- [3] W. Chen, Y. Lu, M. Gao, J. Wu, A. Wang, and R. Shi, "Anti-angiogenesis effect of essential oil from *Curcuma zedoaria* in vitro and in vivo," *Journal of Ethnopharmacology*, 133 (1), 2011, pp. 220-226.
- [4] W.G. Seo, J.C. Hwang, S.K. Kang, U.H. Jin, S.J. Suh, S.K. Moon, and C.H. Kim, "Suppressive effect of *zedoariae* rhizoma on pulmonary metastasis of B16 melanoma cells," *Journal of Ethnopharmacology*, 101, 2005, pp. 249- 257.
- [5] J.L. Mau, Y.C. Eric, N.P. Wang, C.C. Chen, C. Chang, and C. Chyau, "Composition and antioxidant activity of the essential oil from *Curcuma zedoaria*," *Food Chemistry*, 82 (4) 2003, pp. 583-591.
- [6] Depkes, "Materia Medika Indonesia," Jilid III. Jakarta: Departemen Kesehatan Republik Indonesia, 1979.
- [7] Depkes, "Farmakope Herbal Indonesia," Edisi I. Jakarta: Departemen Kesehatan Republik Indonesia, 2008.
- [8] P.K. Adapa, G.J. Schoenau, and S. Sokhansanj "Performance study of a heat pump dryer system for specialty crops," Part 1 : development of a simulation model, *International Journal of Energy Research*, 26 (11), 2002, pp. 1001-19.
- [9] S. Darmanto, "Menganalisa Aliran Kalor pada Mesin Pengering Ikan Teri Berkapasitas 10 kg dengan Bahan Bakar Minyak," Laporan Penelitian DIK Rutin Universitas Diponegoro, Semarang, 2005.
- [10] T. Marnoto, E. Sulistyowati, M. Mahreni, M. Syahri "The Characteristic of Heat Pump Dehumidifier Drier in the Drying of Red Chili (*Capsium annum* L)," *International Journal of Science and Engineering*, 3 (1), 2012, pp. 22-25.
- [11] P. Suntivarakorn, S. Satmarong, C. Benjapiyaporn, and S. Theerakulpisut, "An Experimental Study on Clothes Drying Using Waste Heat from Spilt Type Air Conditioner," *International Journal of Aerospace and Mechanical Engineering*. 5 (3), 2010, pp. 168-173
- [12] M. Fatouh, M.N. Metwally, A.B. Helali, and M.H. Shedid, "Herbs drying using a heat pump dryer," *Energy Conversion and Management*. 47, 2006, pp. 2629-2643.
- [13] R. Andi. "Uji Performansi Alat Pengering Heat Pump (Dehumidifier) Untuk Pengeringan Pisang Sale," Skripsi, Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor, Bogor, 2003.