

Analisis Kinerja Pengering Heat Pump Kompresi Uap untuk Pengeringan Temu Putih (*Curcuma zedoaria* (Berg.) Roscoe)

Hayatri Sali Setia^{1*}, Leopold Oscar Nelwan¹, I Wayan Astika¹, Rokhani Hasbullah¹

¹ Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB University, Indonesia

*Email korespondensi: hayatri_ss@apps.ipb.ac.id

Info Artikel	Abstract
<p><i>Diajukan: 15 Juni 2022</i> <i>Diterima: 7 Agustus 2022</i> <i>Diterbitkan: 31 Agustus 2022</i></p> <p>Keyword: <i>airflow rate; COP heatpump; SMER; vapor compression heat pump; zedoary drying</i></p> <p>Kata Kunci: <i>COP heatpump; heat pump kompresi uap; laju aliran udara; pengeringan temu putih; SMER</i></p>	<p><i>Zedoary (<i>Curcuma zedoaria</i> (Berg.) Roscoe) simplicia drying requires a proper treatment because it has high moisture content about 80–90 % that have perishable properties. Proper drying conditions need to be known so the quality of simplicia drying increases. Dryer with vapor compression heat pump (VCHP) system is one of alternative mechanical dryers to shorten drying time and maintain the quality. In VCHP system, the environmental airflow is passed through two components that is evaporator and condenser which the proportions need to be studied to increase its effect on drying air conditions. Airflow configuration is carried out before put in the material by adjusting the opening of the air input line before evaporator and condenser. The study aims to find the best configuration of airflow that produce suitable dryer air conditions for zedoary drying then analyze the performance. The research was conducted by configuring the airflow before put in the material and analyzing dryer performance of VCHP system. The results obtained the best configuration of airflow for zedoary drying are: (i) the air inlet before evaporator is given a gauze, (ii) the air inlet before condenser is closed. VCHP performance test results for zedoary drying are: (i) Coefficient of Performance Heat Pump (COP_{hp}) is 3.11, (ii) Specific Thermal Energy Consumption (STEC) value is 4.066 MJ/kg, (iii) Specific Moisture Extraction Rate Thermal (SMER_T) value is 0.870 kg/kWh, and (iv) Specific Moisture Extraction Rate Total (SMER_{Tot}) value is 0.449 kg/kWh. The STEC, SMER_T and SMER_{Tot} values obtained are affected by drying time.</i></p>
	<p>Abstrak</p> <p><i>Pengeringan simplisia temu putih (<i>Curcuma zedoaria</i> (Berg.) Roscoe) memerlukan penanganan yang tepat karena memiliki kadar air yang tinggi berkisar 80–90 % sehingga memiliki sifat mudah rusak. Kondisi pengeringan yang tepat perlu diketahui agar kualitas pengeringan simplisia yang dihasilkan meningkat. Pengering dengan sistem heat pump kompresi uap (HPKU) merupakan metode pengeringan mekanis alternatif untuk mempersingkat waktu pengeringan dan menjaga kualitas produk. Pada sistem HPKU, aliran udara lingkungan dilewatkan melalui dua komponen yaitu evaporator dan kondensor yang perlu dikaji proporsinya untuk meningkatkan efeknya pada kondisi udara pengering. Konfigurasi aliran udara dilakukan sebelum bahan dimasukkan dengan mengatur bukaan saluran input udara sebelum evaporator dan kondensor. Penelitian ini bertujuan menemukan konfigurasi aliran udara terbaik yang menghasilkan kondisi udara pengering yang sesuai untuk pengeringan temu putih kemudian menganalisis kinerjanya. Penelitian dilakukan dengan mengkonfigurasi aliran udara sebelum bahan dimasukkan, menerapkan konfigurasi aliran udara terbaik pada pengeringan temu putih dan menganalisis kinerja pengering HPKU. Hasil pengujian didapatkan konfigurasi aliran udara terbaik untuk pengeringan temu putih adalah: (i) inlet udara sebelum evaporator diberi kasa dan (ii) inlet udara sebelum kondensor ditutup. Hasil pengujian kinerja HPKU pada pengeringan temu putih adalah: (i) Coefficient of Performance Heat Pump (COP_{hp}) sebesar 3,11, (ii) nilai Specific Thermal Energy Consumption (STEC) sebesar 4,066 MJ/kg, (iii) nilai Specific Moisture Extraction Rate Thermal (SMER_T) sebesar 0,870 kg/kWh, dan (iv) nilai Specific Moisture Extraction Rate Total (SMER_{Tot}) sebesar 0,449 kg/kWh. Nilai STEC, SMER_T dan SMER_{Tot} yang didapat dipengaruhi oleh waktu pengeringan.</i></p>

1. Latar Belakang

Pengeringan tanaman obat umumnya berbentuk simplisia dimana bagian rimpang dari tanaman diiris tipis kemudian dikeringkan. Temu putih (*Curcuma zedoaria* (Berg.) Roscoe) merupakan tanaman obat yang banyak dimanfaatkan dalam pengobatan tradisional. Pengeringan simplisia temu putih memerlukan penanganan yang tepat karena memiliki kadar air tinggi berkisar 80–90 % sehingga mudah rusak. Kadar air akhir simplisia yang diharapkan berdasarkan Depkes (2008) adalah 10 %. Suhu, kelembapan nisbi dan laju aliran udara pengering serta kadar air awal bahan menjadi faktor-faktor yang paling berpengaruh pada proses pengeringan tanaman obat (Corzo *et al.* 2008). Pengeringan yang tepat akan menghasilkan mutu simplisia yang baik sehingga tahan disimpan untuk waktu yang lama dan tidak terjadi perubahan bahan aktif di dalamnya (Dixa dan Singh 2016). Untuk meningkatkan kualitas pengeringan tanaman obat, kondisi pengeringan yang tepat perlu diketahui.

Beberapa peneliti telah melakukan studi perilaku pengeringan tanaman obat di antaranya temu lawak (Manalu *et al.* 2012), jahe (Chapchaimoh *et al.* 2016), dan bangle (Nimnuan dan Nabnean 2020).

Pengering dengan sistem *heat pump* kompresi uap (HPKU) merupakan metode pengeringan mekanis alternatif untuk mempersingkat waktu pengeringan dan menjaga kualitas produk. Keunggulan pengering HPKU jika dibandingkan dengan pengering konvensional ialah higienis, pengoperasian dapat dilakukan pada suhu rendah (Claussen *et al.* 2007; Colak dan Hepbasli 2009), dan memiliki nilai SMER yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan metode pengeringan lainnya (Mujumdar dan Jangam 2011). Selain itu, produk yang dikeringkan memiliki kualitas lebih baik, tidak mengotori atmosfer karena tidak menghasilkan asap dan tidak dipengaruhi oleh kondisi cuaca luar (Perera dan Rahman 1997).

Salah satu tipe yang dikembangkan adalah pengering sistem HPKU oleh Nelwan *et al.* (2015) dimana udara lingkungan melewati evaporator kemudian mengalami peningkatan suhu dari panas yang dilepaskan di kondensor sehingga diperoleh udara dengan RH rendah. Beberapa penelitian menggunakan sistem HPKU ini telah dilakukan. Biksono *et al.* (2016) melakukan pengeringan gabah sistem terbuka dengan pengoperasian secara *intermittent*, memberikan nilai $SMER_T$ 7,06 kg/kWh dan nilai COP_{hp} berkisar 3,2–3,8. Effendy (2017) melakukan pengeringan jahe merah dengan mengkonfigurasi pengisian refrigeran R134a dan laju aliran udara yang berbeda, memberikan nilai $SMER_T$ 1,777–1,814 kg/kWh serta nilai COP mencapai titik maksimal yaitu 3,84. Nuraliza (2021) melakukan pengeringan kunyit menggunakan tiga tingkat laju aliran udara pada sistem HPKU dan menghasilkan nilai SMERT 0,83–0,91 kg/kWh dan nilai COP_{hp} yang diperoleh berkisar 4,21–4,38.

Pada sistem pengering HPKU ini, aliran udara lingkungan dilewatkan melalui evaporator dan kondensor. Untuk itu, konfigurasi aliran udara melalui kedua komponen ini dikaji proporsinya untuk meningkatkan efeknya pada kondisi udara pengering. Selanjutnya konfigurasi udara ini diterapkan pada pengeringan temu putih untuk dikaji karakteristik pengeringannya. Penelitian ini bertujuan menemukan konfigurasi aliran udara terbaik dari HPKU yang menghasilkan kondisi udara pengering yang sesuai untuk pengeringan temu putih kemudian menganalisis kinerja alat pengering HPKU untuk pengeringan temu putih serta melakukan analisis mutu produk yang dihasilkan.

2. Metode Penelitian

Bahan yang digunakan rimpang temu putih dari Tasikmalaya, Jawa Barat. Pengambilan data dilaksanakan di Laboratorium Energi Terbarukan, Leuwikopo – Institut Pertanian Bogor. Mesin pengering *heat pump* (Nelwan *et al.* 2015) yang digunakan mencakup kompresor torak Merk Tecumseh tipe AE.A.2.4.15Y-6, kondensor 0,5 kW dan 0,25 kW, 1 blower, *TXV valve, heat exchanger, hand valve, receiver, suction accumulator, filter dryer, sight glass*. Alat ukur yang digunakan adalah termokopel tipe T, *pressure gauge, watt meter, clamp meter* dan anemometer. Pengambilan data suhu menggunakan termokopel dengan recorder NI sebagai alat akuisisi data dengan interval pengambilan data per detik.

2.1 Konfigurasi Aliran Udara Pengering HPKU Tanpa Bahan

Konfigurasi aliran udara dilakukan sebelum bahan temu putih dimasukkan dengan mengatur bukaan saluran input udara sebelum evaporator dan sebelum kondensor pada tiga variasi suhu lingkungan yang tidak dikontrol dalam rentang suhu 24–25 °C, 27–28 °C dan 30–31 °C. Pengambilan data dilakukan pada rentang suhu lingkungan yang telah ditentukan untuk melihat laju aliran udara dan kinerja yang dihasilkan. Bukaan saluran input udara sebelum evaporator diatur dengan pemberian kasa dan tanpa diberi kasa, sedangkan bukaan saluran input udara sebelum kondensor diatur dengan menutup dan membuka penuh pintu saluran udara. Pemberian kasa pada *inlet* udara sebelum evaporator diharapkan membuat penurunan laju aliran udara dengan pola aliran yang lebih seragam pada penampang saluran *inlet*, sehingga udara yang didehumidifikasi di evaporator dapat mengalami penurunan kelembapan mutlak yang lebih tinggi. Konfigurasi aliran udara yang menghasilkan kondisi udara pengering terbaik selanjutnya akan diterapkan pada proses pengeringan temu putih. Kecepatan aliran udara diukur dengan menggunakan anemometer. Konfigurasi aliran udara dibagi menjadi empat konfigurasi seperti pada Tabel 1 dan skema konfigurasi aliran udara dapat dilihat pada Gambar 1.

Tabel 1. Konfigurasi aliran udara

Konfigurasi	Keterangan
I	<i>Inlet</i> I tanpa penghambat dan <i>inlet</i> II tertutup
II	<i>Inlet</i> I tanpa penghambat dan <i>inlet</i> II terbuka
III	<i>Inlet</i> I dengan penghambat dan <i>inlet</i> II tertutup
IV	<i>Inlet</i> I dengan penghambat dan <i>inlet</i> II terbuka

Perhitungan laju aliran udara dinyatakan dengan persamaan berikut (Cengel dan Cimbala 2006):

$$\dot{m}_u = \rho \times A \times V \tag{1}$$

Dimana \dot{m}_u adalah laju aliran udara (kg udara/s), ρ adalah densitas udara (kg/m³), A adalah luas penampang saluran ke ruang pengering (m²) dan V adalah kecepatan rata-rata fluida (m/s).

Perhitungan besarnya laju pindah panas sensibel dihitung dengan persamaan berikut:

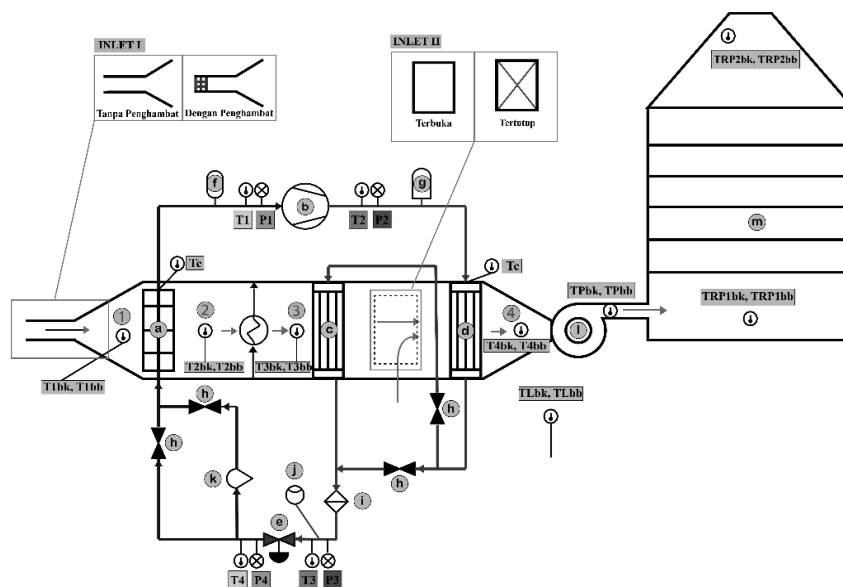
$$Q_{cs} = \dot{m} \times C_p \times \Delta T \tag{2}$$

Dimana Q_{cs} adalah laju pindah panas sensibel (kW), \dot{m} adalah laju aliran udara (kg/s), C_p adalah panas spesifik udara (kg/kJ °C) dan ΔT adalah selisih udara pengering dan udara lingkungan (°C).

Perhitungan laju uap yang diembunkan dihitung dengan persamaan berikut:

$$\dot{m}_v = \dot{m}_{uk} (H_{Lingkungan} - H_{Udara\ pendering}) \tag{3}$$

Dimana \dot{m}_v adalah laju uap yang diembunkan (kg uk/s), \dot{m}_{uk} adalah laju aliran udara (kg/s), $H_{Lingkungan}$ adalah kelembapan mutlak lingkungan (kg air/kg udara kering), $H_{Udara\ pendering}$ adalah kelembapan mutlak udara pendering (kg air/kg udara kering).



Keterangan: 1. Titik pengukuran suhu sebelum evaporator, 2. Titik pengukuran suhu setelah evaporator, 3. Titik pengukuran suhu sebelum kondensor, 4. Titik pengukuran suhu setelah kondensor; a. Evaporator, b. Kompresor, c. Kondensor, d. Kondensor, e. Katup TXV, f. Receiver, g. Suction accumulator, h. Hand valve, i. Filter dryer, j. Gelas penduga, k. Rotameter, l. Blower, m. Ruang pendering, P. Pressure gauge, T. Termokopel, tbk. Suhu bola kering, dan tbb. Suhu bola basah.

Gambar 1. Skematik bukaan saluran udara (inlet I dan II) dan sistem HPKU pengering dengan lokasi titik-titik pengukuran

2.2 Analisis Konfigurasi Aliran Udara Terhadap Kinerja Pendering HPKU

Pengukuran kinerja alat pengering HPKU dinyatakan dengan *Coefficient of Performance* (COP). Pengukuran suhu aliran udara sistem HPKU dilakukan pada titik (1) sebelum melewati evaporator, (2) setelah melewati evaporator, (3) sebelum melewati kondensor dan (4) setelah melewati kondensor. Nilai entalpi untuk setiap lokasi ditentukan berdasarkan suhu dan tekanan yang terukur dengan bantuan analisis *software* Coolpack versi 1.5 yang kemudian menghasilkan perhitungan nilai energi kompresor (W_k), energi kondensor (Q_c) dan energi evaporator (Q_e).

Pengukuran COP_{hp} berdasarkan perbandingan jumlah rata-rata panas di kondensor (Q_c) terhadap rata-rata kerja kompresor (W_k) yang didefinisikan sebagai berikut (Cengel dan Boles 2008; Biksono *et al.* 2016):

$$COP_{Heat\ Pump} = \frac{Q_e + W_k}{W_k} = \frac{Q_e}{W_k} + 1 = COP_{Ref} + 1 \tag{4}$$

Dimana W_k adalah energi kompresor (kJ/kg), Q_c adalah laju pindah panas kondensasi (kJ/kg) dan Q_e adalah laju pindah panas evaporator (kJ/kg).

2.3 Pengeringan Temu Putih dengan Pendering Heat Pump Kompresi Uap

Pengeringan temu putih dilakukan dengan menerapkan konfigurasi aliran udara terbaik. Parameter pengeringan temu putih yang diukur adalah sebagai berikut:

a. Kadar Air Bahan dan Jumlah Air yang Diuapkan

Pengukuran kadar air awal dan akhir dilakukan menggunakan metode oven dan untuk jumlah air yang diuapkan dihitung dengan persamaan berikut (Biksono *et al.* 2016):

$$W_{air} = \left(1 - \frac{100-m_f}{100-m_i}\right) \times W_i \tag{5}$$

Dimana W_{air} adalah jumlah air yang diuapkan (kg), W_i adalah berat bahan (kg), m_f adalah kadar air awal (%bb), m_i adalah kadar air akhir (%bk).

b. Waktu Pengeringan

Lama waktu pengeringan dihitung mulai saat unit HPKU dinyalakan dan dimatikan sampai kadar air temu putih mencapai <10 %bb yang dapat dinyatakan dalam menit maupun jam.

c. Laju Pengeringan

Laju pengeringan dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$\dot{W} = \frac{\Delta M}{\Delta t} \tag{6}$$

Dimana \dot{W} adalah laju pengeringan (%bk/jam), ΔM adalah penurunan kadar air (%bk), Δt adalah waktu pengeringan (jam).

2.4 Analisis Kinerja Pengering HPKU untuk Pengeringan Temu Putih

Kinerja sistem HPKU ditentukan oleh nilai COP_{hp} yang dihasilkan serta perhitungan konsumsi energi selama pengeringan.

a. *Coefficient of Performance Heat Pump* (COP_{hp})

Penentuan nilai COP_{hp} berdasarkan nilai energi kompresor (W_k), energi evaporator (Q_e) dan energi kondensor (Q_c) yang dinyatakan sesuai dengan persamaan (4).

b. *Specific Thermal Energy Consumption* (STEC)

Konsumsi energi termal spesifik dihitung dengan persamaan berikut (Biksono *et al.* 2016):

$$STEC = \frac{E_k}{W_{air}} \tag{7}$$

Dimana $STEC$ adalah *Specific Thermal Energy Consumption* (MJ/kg), E_k adalah konsumsi energi kompresor (kJ), W_{air} adalah jumlah air yang diuapkan (kg).

c. *Specific Moisture Extraction Rate* (SMER)

Nilai energi efisiensi rata-rata selama proses pengeringan yang dinyatakan dengan dua ekspresi konsumsi energi (Biksono *et al.* 2016) yaitu konsumsi energi listrik untuk pemanasan:

$$SMER_T = \frac{W_{air}}{E_T} \tag{8}$$

Dimana $SMER_T$ adalah *Specific Moisture Extraction Rate Thermal* (kg/kWh), W_{air} adalah jumlah massa air yang diuapkan (kg), E_T adalah energi yang digunakan sistem HPKU (kWh) dan konsumsi energi listrik untuk total energi yang digunakan untuk pemanasan dan untuk menggerakkan blower, yaitu:

$$SMER_{Tot} = \frac{W_{air}}{E_{Tot}} \tag{9}$$

Dimana $SMER_{Tot}$ adalah *Specific Moisture Extraction Rate Total* (kg/kWh), E_{Tot} adalah energi yang digunakan sistem HPKU dan blower (kWh).

2.5 Analisis Mutu Produk Simplisia

Analisis dilakukan untuk mengetahui kadar kurkumin pada temu putih sebelum dan setelah dilakukan pengeringan. Penentuan kadar kurkumin secara umum dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer pada λ 530 μ m. Analisis dilakukan di Laboratorium Analisis Mutu Balitro, Bogor.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengaruh Konfigurasi Aliran Udara Terhadap Kondisi Udara Pengering

Hasil konfigurasi aliran udara terhadap kondisi udara pengering disajikan pada Tabel 2. Hasil pengujian menunjukkan bahwa konfigurasi III dimana: (i) *inlet* udara sebelum evaporator diberi kasa dan (ii) *inlet* udara sebelum kondensor ditutup, merupakan konfigurasi yang memberikan kondisi udara pengering terbaik. Konfigurasi tersebut memberikan efek pemanasan sensibel tertinggi serta penurunan kelembapan udara pengering tertinggi. Pemberian kasa pada *inlet* udara sebelum evaporator menghasilkan penurunan kelembapan mutlak tertinggi. Pemberian kasa pada *inlet* udara sebelum evaporator diharapkan dapat memberikan penurunan laju aliran udara akan tetapi laju aliran udara yang dihasilkan hampir seragam. Dari hal tersebut bahwa kemungkinan adanya udara yang masuk melalui celah-celah alat (sebelum dan setelah blower) yang mengakibatkan udara tercampur sehingga laju aliran udara yang dihasilkan tidak berbeda jauh satu sama lain.

Tabel 2. Konfigurasi aliran udara terhadap kondisi udara pengering

Parameter Pengeringan	Konfigurasi			
	I	II	III	IV
Suhu rata-rata (°C)				
Lingkungan	25,2±0,6	24,9±0,7	25,2±0,3	24,7±0,2
Udara pengering	31,0±0,0	32,7±0,6	33,5±0,3	30,4±0,2
Kelembapan relatif rata-rata (%)				
Lingkungan	87,3±0,2	91,0±1,9	94,9±1,2	96,0±1,0
Udara pengering	59,2±2,1	55,1±1,3	53,8±1,2	67,8±0,4
Kelembapan mutlak rata-rata (kg air/kg udara kering)				
Lingkungan	0,0177±0,0007	0,0181±0,0004	0,0193±0,0002	0,0189±0,000074
Udara pengering	0,0168±0,0006	0,0172±0,0003	0,0176±0,0002	0,0186±0,0001
Laju aliran udara (kg/s)	0,1343	0,1341	0,1349	0,1345
Qcs (kW)	0,780	1,047	1,118	0,758
\dot{m}_v (kg air/s)	0,00012	0,00012	0,00022	0,00004
Daya kompresor (watt)	428,0	429,7	418,7	419,3
Suhu rata-rata (°C)				
Lingkungan	27,8±0,4	28,1±0,5	28,0±0,3	27,9±0,5
Udara pengering	33,4±0,6	34,4±0,3	34,5±0,03	34,0±1,0

Parameter Pengeringan	Konfigurasi			
	I	II	III	IV
Kelembapan relatif rata-rata (%)				
Lingkungan	85,3±2,0	81,7±2,5	78,5±1,8	82,2±1,4
Udara pengering	55,7±1,9	51,6±2,3	49,1±1,1	51,6±1,3
Kelembapan mutlak rata-rata (kg air/kg udara kering)				
Lingkungan	0,0199±0,0001	0,0196±0,0001	0,0187±0,0007	0,0196±0,0009
Udara pengering	0,0180±0,0002	0,0178±0,0006	0,0169±0,0004	0,0173±0,0013
Laju aliran udara (kg/s)	0,1356	0,1329	0,1360	0,1359
Qcs (kW)	0,789	0,849	0,888	0,825
m _v (kg air/s)	0,00025	0,00023	0,00024	0,00031
Daya kompresor (watt)	487,0	478,3	471,7	476,6
Suhu rata-rata (°C)				
Lingkungan	30,6±0,2	31,1±0,6	31,0±0,5	31,3±0,2
Udara pengering	37,9±0,3	38,6±0,9	39,5±1,0	39,0±1,6
Kelembapan relatif rata-rata (%)				
Lingkungan	76,1±0,7	76,7±0,7	79,6±1,3	76,4±1,3
Udara pengering	43,9±1,23	41,8±1,3	40,9±1,6	40,5±2,1
Kelembapan mutlak rata-rata (kg air/kg udara kering)				
Lingkungan	0,0212±0,0002	0,0221±0,0009	0,0228±0,0003	0,0222±0,0006
Udara pengering	0,0183±0,0004	0,0181±0,0004	0,0186±0,0003	0,0179±0,0007
Laju aliran udara (kg/s)	0,1330	0,1330	0,1370	0,1360
Qcs (kW)	0,977	0,995	1,163	1,060
m _v (kg air/s)	0,00038	0,00052	0,00056	0,00057
Daya kompresor (watt)	563,7	557,3	562,0	559,7

Laju aliran udara yang semakin tinggi memberikan peningkatan suhu udara pengering karena panas yang diserap di evaporator sedikit sehingga panas yang dilepaskan oleh kondensator semakin besar serta memberikan penurunan kadar air yang lebih cepat karena cenderung membawa uap air dari dalam bahan lebih cepat sehingga bahan mencapai kadar air 8–10 % dalam waktu singkat.

3.2 Pengaruh Konfigurasi Aliran Udara Terhadap Kinerja HPKU

Hasil pengujian konfigurasi aliran udara pada variasi suhu lingkungan terhadap kinerja HPKU disajikan pada Tabel 3. Pada konfigurasi I dan III terjadi peningkatan energi kompresi dari suhu rendah ke suhu tinggi karena semakin tinggi suhu udara lingkungan, kerja yang dibutuhkan kompresor semakin besar. Pada konfigurasi II dan IV diperoleh energi kompresi yang meningkat dari suhu 24–25 °C ke suhu 27–28 °C, kemudian turun pada suhu 30–31 °C. Biksono *et al.* (2016) menyatakan hal ini terjadi karena efek penurunan laju aliran refrigeran terhadap suhu kondensasi dimana peningkatan daya kompresi terjadi pada peningkatan suhu kondensasi pada tingkat suhu yang rendah dan cenderung akan menurun pada tingkat suhu yang tinggi. Pada konfigurasi III energi

kompresi meningkat seiring dengan peningkatan suhu evaporasi dan suhu kondensasi sedangkan rata-rata laju aliran refrigeran yang diperoleh pada suhu lingkungan 24–25 °C, 27–28 °C dan 30–31 °C berturut-turut sebesar 0,0052 kg/s, 0,0058 kg/s, dan 0,0067 kg/s. Terjadi peningkatan laju aliran refrigeran seiring dengan peningkatan suhu lingkungan.

Tabel 3. Pengaruh konfigurasi aliran udara pada variasi suhu lingkungan terhadap kinerja HPKU

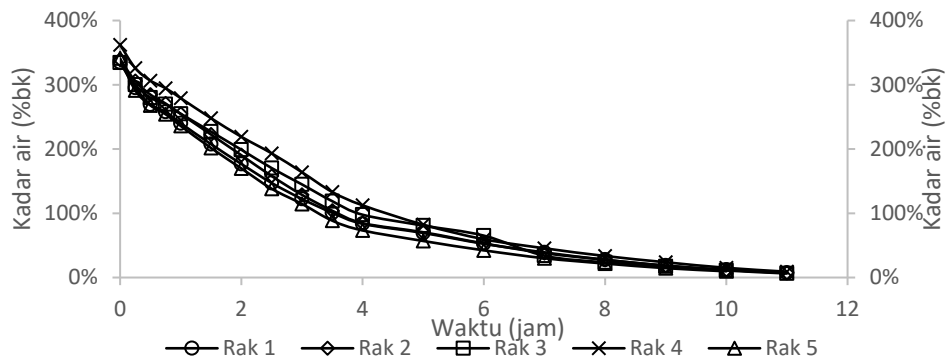
Konfi- gurasi	Suhu Lingkungan (°C)	Suhu (°C)		Energi (kJ/kg)			COP _{hp}
		Evaporasi	Kondensasi	Evaporasi	Kondensasi	Kompresi	
I	24-25	-7,46	38,69	189,610	261,121	71,511	3,65
	27-28	-5,70	40,13	187,592	262,300	74,708	3,51
	30-31	5,14	44,44	177,775	255,905	78,130	3,28
II	24-25	-3,12	39,61	184,607	263,947	79,340	3,33
	27-28	-0,89	40,60	184,600	264,758	80,159	3,30
	30-31	4,64	44,62	174,485	251,678	77,193	3,26
III	24-25	-1,24	36,67	185,007	265,324	80,317	3,30
	27-28	-0,40	40,78	182,901	264,385	81,484	3,24
	30-31	7,94	46,77	172,952	257,288	84,336	3,05
IV	24-25	-9,39	35,54	190,935	265,260	74,325	3,57
	27-28	-5,14	39,41	185,879	266,727	80,848	3,30
	30-31	5,55	45,27	173,256	248,438	75,182	3,30

Nilai COP_{hp} yang dihasilkan pada konfigurasi III menurun seiring dengan peningkatan suhu lingkungan. Konfigurasi aliran udara dinilai kurang signifikan dalam mempengaruhi nilai COP_{hp} yang diperoleh. Kenaikan suhu udara lingkungan mengakibatkan daya input kompresor meningkat, hal tersebut dipengaruhi oleh laju aliran massa refrigeran yang juga meningkat. Peningkatan daya kompresi memberikan penurunan pada nilai COP_{hp} yang dihasilkan. Laju aliran udara yang digunakan serta kondisi udara lingkungan tempat pengering diletakkan sangat berpengaruh terhadap kinerja pengering heat pump kompresi uap.

3.3 Heat Pump Kompresi Uap untuk Pengeringan Temu Putih

Pengeringan temu putih dilakukan dengan menerapkan konfigurasi aliran udara terbaik untuk proses pengeringan dengan kadar air awal 77,95 %bb dan laju aliran udara sebesar 0,129 kg/s selama lebih kurang 11 jam sampai kadar air akhir mencapai 8–10 %bb.

Ruang pengering memiliki lima rak, rak satu berada di posisi paling atas dan rak lima di posisi paling bawah. Dari grafik pengeringan (Gambar 2) sampel temu putih pada rak lima lebih cepat mencapai kadar air akhir <10 % sehingga waktu pengeringan lebih cepat dibanding rak lain. Hal tersebut karena posisi rak lima berada dekat dengan sumber udara panas dari pengering HPKU.



Gambar 2. Hubungan kadar air bahan dan waktu pengeringan

Suhu lingkungan rata-rata selama proses pengeringan sebesar 28,31 °C dengan standar deviasi sebesar ±1,73 dan suhu lingkungan berubah seiring waktu. Total waktu pengeringan yang dibutuhkan yaitu 11 jam dengan laju pengeringan sebesar 45,05 %bk/jam, massa awal bahan 7000 gram dan jumlah air yang diuapkan sebanyak 5318,81 gram.

3.4 Kinerja *Heat Pump* Kompresi Uap terhadap Pengeringan Temu Putih

Pengaruh kondisi udara lingkungan terhadap performa HPKU selama proses pengeringan disajikan pada Tabel 4. Energi kompresi yang diperoleh mengalami peningkatan yang dipengaruhi oleh suhu evaporasi dan suhu kondensasi yang secara linear mengalami peningkatan terhadap suhu lingkungan dengan nilai COP_{hp} yang menurun terhadap suhu lingkungan.

Tabel 4. Pengaruh kondisi udara lingkungan terhadap kinerja HPKU selama proses pengeringan

Parameter	Suhu lingkungan (°C)		
	24-27	27-30	30-keatas
Suhu (°C)			
Evaporasi	0,81	1,08	2,20
Kondensasi	40,31	41,86	42,46
Udara pengering	33,753	35,468	36,781
Energi kompresi (kJ/kg)	83,715	83,913	84,862
COP_{hp}	3,15	3,14	3,03

Performa HPKU terhadap pengeringan temu putih berdasarkan nilai COP_{hp} , STEC dan SMER. Nilai STEC yang diperoleh sebesar 4,066 MJ/kg, dan nilai $SMER_T$ serta $SMER_{Tot}$ yang diperoleh secara berturut-turut sebesar 0,870 kg/kWh dan 0,449 kg/kWh. Nilai STEC yang didapat lebih tinggi dibanding nilai STEC oleh Effendy (2017) sebesar 2,205 MJ/kg dan lebih rendah dibanding nilai STEC oleh Nuraliza (2021) sebesar 4,15 MJ/kg. Perbedaan nilai STEC yang didapat dipengaruhi oleh waktu pengeringan yang berbeda. Nilai STEC yang didapatkan dipengaruhi oleh waktu pengeringan. Secara umum nilai STEC, $SMER_T$ dan $SMER_{Tot}$ dipengaruhi oleh waktu pengeringan, tidak dipengaruhi oleh konsumsi energi pada kompresor. Nilai COP_{hp} selama pengeringan temu putih diperoleh sebesar 3,11. Energi yang digunakan selama pengeringan berturut-turut diperoleh sebesar 179,653 kJ/kg untuk energi evaporasi, 264,657 kJ/kg untuk energi kondensasi dan 85,004 kJ/kg untuk energi kompresi.

3.5 Analisis Kadar Kurkumin

Hasil pengeringan temu putih dengan pengering HPKU diperoleh kadar kurkumin temu putih sebesar 0,074–0,120 %. Pada Farmakope Herbal Indonesia (FHI) Edisi II Tahun 2017, kunyit memiliki kadar kurkumin tidak kurang dari 3,82 % dan temulawak memiliki kadar kurkumin tidak kurang dari 2,3 %. Jika dibandingkan hasil kadar kurkumin temu putih yang diperoleh dengan pengering HPKU terhadap kadar kurkumin kunyit dan temulawak berdasarkan FHI, nilai kurkumin pada temu putih lebih rendah. Kadar kurkumin yang terdeteksi pada temu putih sangat kecil karena kadar kurkumin yang terkandung pada temu putih lebih sedikit dibanding bahan aktif lain seperti *zingiberen* dan *zederon*.

4. Kesimpulan

Konfigurasi aliran udara terbaik untuk pengeringan temu putih adalah: (i) *inlet* udara sebelum evaporator diberi kasa dan (ii) *inlet* udara sebelum kondensor ditutup. Konfigurasi tersebut memberikan efek pemanasan sensibel tertinggi serta penurunan kelembapan udara pengering tertinggi. Pengeringan temu putih dilakukan dengan menerapkan konfigurasi aliran udara terbaik. Laju aliran udara selama proses pengeringan sebesar 0,129 kg/s dengan waktu pengeringan 11 jam. Suhu pengeringan rata-rata 35,62 °C, kelembapan relatif rata-rata 48,23 % dan laju pengeringan rata-rata 45,05 %bk/jam. Hasil pengujian performa HPKU pada pengeringan temu putih memberikan nilai COP_{hp} sebesar 3,11, nilai STEC sebesar 4,066 MJ/kg, nilai $SMER_T$ dan $SMER_{Tot}$ berturut-turut sebesar 0,870 kg/kWh dan 0,449 kg/kWh. Kadar kurkumin akhir pada sampel setelah pengeringan berkisar 0,74–0,120 %. Peningkatan laju aliran udara mempercepat waktu pengeringan tetapi kurang signifikan dalam mempengaruhi peningkatan pada nilai COP_{hp} .

Pengeringan temu putih hanya dilakukan pada konfigurasi aliran udara terbaik saja sehingga tidak dapat dilihat pengaruhnya pada jumlah kadar kurkumin yang dapat dipertahankan. Untuk itu dapat disarankan melakukan pengeringan pada konfigurasi laju aliran udara dengan suhu dan kelembapan relatif yang berbeda untuk mendapatkan kadar kurkumin simplisia temu putih yang tinggi dengan kondisi pengeringan yang tepat. Perlu dilakukan pengkajian pengaruh pengeringan terhadap mutu dan penyusutan temu putih.

5. Daftar Pustaka

- Biksono, D., L.O Nelwan, T. Mandang, D. Wulandani dan Y.S Gaos. 2016. Analisis sistem heat pump kompresi uap untuk pengeringan gabah. *JTEP*. Vol.4(2):139-146. doi:10.19028./jtep.04.2.139-146.
- Cengel, Y.A., M.A Boles. 2008. *Heat Transfer*. New York (US): McGraw-Hill Higher Education.
- Cengel, Y.A., J.M Cimbala. 2006. *Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications*. New York (US): McGraw-Hill.
- Chapchaimoh, K., N. Poomsa-ad, L. Wiset, J. Morris. 2016. Thermal characteristics of heat pump dryer for ginger drying. *Appl. Therm. Eng.* Vol.95:491-498. ISSN 1359-4311. doi:10.1016/j.applthermaleng.2015.09.025.

- Claussen, I.C, T.S Ustad, I. Strommen, P.M Walde. 2007. Atmospheric freeze drying – a review. *Dry. Technol.* Vol.25:947-957. doi:10.1080/07373930701394845.
- Colak, N., A. Hepbasli. 2009. A review of heat pump drying: part 1- system, models and studies. *Energy Convers. Manag.* Vol.50(09): 2180-2186. doi:10.1016/j.enconman.2009.04.031.
- Corzo, O., N. Brach, A. Vasquez, A. Pereira. 2008. Energy and exergy analyses of thin layer drying of coroba slices. *J. Food Eng.* Vol.86(2):151–161. doi:10.1016/j.jfoodeng.2007.05.008.
- [Depkes] Departemen Kesehatan Republik Indonesia. (2008). *Farmakope Herbal Indonesia*. Edisi I. Jakarta (ID): Departemen Kesehatan Republik Indonesia.
- [Depkes] Departemen Kesehatan Republik Indonesia. (2017). *Farmakope Herbal Indonesia*. Edisi II. Jakarta (ID): Departemen Kesehatan Republik Indonesia.
- Dixa, S., V.S Singh. 2016. Isolation and characterization of flavonoids in urena lobata leaves. *European J Med Plants*. Vol.11:1-6. doi:10.9734/EJMP/2016/21502.
- Effendy, M.I. 2017. Kajian heat pump kompresi uap terhadap jahe (*Zingiber officinale*) (Skripsi). Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Manalu, L.P., A.H Tambunan, dan L.O Nelwan. 2012. Penentuan kondisi proses pengeringan temu lawak untuk menghasilkan simplisia standar. *JDPI*. Vol.23(2):99-106. doi:10.28959/jdpi.v23i2.611.
- Mujumdar A.S., Jangam S.V. 2011. Some innovative drying technologies for dehydration of foods. In: Proceedings of ICEF. Athens. Greece. 555–556.
- Nelwan, L.O., D. Wulandani, I.D.M Subrata, P. Widodo, M.J Djafar. 2015. Disain sistem pengeringan gabah mandiri energi menggunakan sistem heat pump kompresi uap dan pengoperasian terkendali berenergi gasifikasi sekam. Kerjasama Kemitraan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Nasional. Jakarta (ID): Kementrian Pertanian.
- Nimnuan, P., S. Nabnean. 2020. Experimental and simulated investigations of the performance of the solar greenhouse dryer for drying cassumunar ginger (*Zingiber cassumunar Roxb.*). *Case Stud. Therm. Eng.* Vol.22:100745. doi:10.1016/j.csite.2020.100745.
- Nuraliza. 2021. Uji perfomansi pengeringan heat pump kompresi uap tipe rak pada kunyit (*Curcuma Domestica Val.*) (skripsi). Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Perera, C.O., M.S Rahman. 1997. Heat pump dehumidifier drying of food. *Trends Food Sci. Technol.* Vol.8(3):75-79. doi:10.1016/S0924-2244(97)01013-3.