

ANALISIS PENGARUH MASUKAN PANAS PADA OVEN PENGERING BUNGA CENGKEH TERHADAP KARAKTERISTIK PERPINDAHAN PANAS KONVEKSI PAKSA

Nicolas Titahelu¹⁾, Cendy S. E. Tupamahu²⁾

e-mail: ¹⁾ntitahelu@fatek.unpatti.ac.id, titahelun@gmail.com, ²⁾tupamahucendy@gmail.com

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Kampus Poka-Ambon, 97233, Indonesia

ABSTRAK

Analisis pengaruh masukan panas (Q^*) terhadap karakteristik perpindahan panas oven pengering bunga cengkeh telah diteliti dengan perpindahan panas konveksi paksa dan diaplikasikan untuk mendesain oven pengering bunga cengkeh guna menjawab kebutuhan masyarakat yang selama ini menggunakan cara pengeringan tradisional. Model uji dimodifikasi dengan memberikan saluran udara masuk dan keluar agar bilangan Nusselt meningkat dengan kecepatan udara (V) = 165.56 m/s konstan. Penelitian eksperimen dilakukan dengan variasi masukan panas (Q^*) = 400 s/d 600 W, untuk mengamati karakteristik perpindahan panas konveksi paksa. Karakterik perpindahan panas konveksi paksa meningkat seiring dengan membesarnya masukan panas. Semakin meningkat masukan panas untuk (Q^*) < 550 W, maka karakteristik perpindahan panas konveksi paksa yakni lajuperpindahan panas heater (q_h), laju perpindahan panas pelat (q_p) dan efektifitas pelat (ϵ_p) semakin meningkat dengan gradient kenaikan curam, sedangkan laju perpindahan panas udara (q_{ud}), bilangan Reynolds (Re), bilangan Nusselt (Nu), koefisien konveksi (h) dan efektifitas panas udara (ϵ_u) semakin menurun dengan gradient penurunan curam. Untuk masukan panas (Q^*) > 550 W laju perpindahan panas heater (q_h), laju perpindahan panas pelat (q_p) dan efektifitas panas pelat (ϵ_p) semakin meningkat dengan gradien kenaikan landai, sedangkan laju perpindahan panas udara (q_{ud}), bilangan Reynolds (Re), bilangan Nusselt (Nu), koefisien konveksi (h) dan efektifitas panas udara (ϵ_{ud}) semakin menurun dengan gradien penurunan landai. Semakin meningkat masukan panas, maka waktu pengeringan cengkeh ($t_{c,o}$) semakin menurun. Waktu pengeringan cengkeh ($t_{c,o}$) dari 16 jam hingga 9 jam.

Kata kunci: masukan panas, bunga cengkeh, konveksi paksa, bilangan Nusselt, efektifitas.

PENDAHULUAN

Tanaman cengkeh (*Syzygium aromaticum*) merupakan salah satu tanaman perkebunan yang sebagian besar diupayakan dalam bentuk perkebunan rakyat di Indonesia. Bagian penting dari tanaman cengkeh adalah bunga cengkeh, daun dan tangkai bunga cengkeh, dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku industri rokok, industri farmasi, kosmetik dan lain-lain (Nurjanah, 2004). Umumnya penanganan pasca panen tanaman cengkeh, di Indonesia masih dilakukan dengan cara tradisional termasuk di Maluku. Proses pengolahan bunga cengkeh menjadi cengkeh kering meliputi; panen, perontokan (pemisahan tangkai bunga dan bunga), pemeraman, pengeringan dan sortasi. Mutu bunga cengkeh yang baik menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 01-3392-1994, salah satunya adalah kadar air 14%. Menurut Khathir et al. (2008) kadar air awal bunga cengkeh (*Syzygium aromaticum*) 71.32%.

Menurut Farel et al., (2012) menyatakan bahwa pengeringan bertujuan memperpanjang umur simpan dengan cara mengurangi kadar air untuk mencegah tidak ditumbuhi oleh mikroorganisme pembusuk, dimana dalam proses pengeringan dilakukan pengaturan terhadap suhu, kelembaban dan aliran udara. Untuk mencapai kadar air yang diisyaratkan oleh SNI, maka melalui cara pengeringan tradisional bunga cengkeh dikeringkan dengan bantuan sinar

matahari. Menurut Yuliasih (2009) proses pengeringan konvensional ini juga mempunyai kelebihan karena proses kerjanya mudah dan tidak menyulitkan, tetapi kelemahannya sangat tergantung pada cuaca atau musim.

Berbagai penelitian terdahulu terkait sistem pengeringan diantaranya oleh Widayana G (2015), melakukan penelitian bunga cengkeh dengan menggunakan sistem pengeringan tertutup dengan memanfaatkan sumber energi surya. Selain itu Putri (2010) melakukan uji performance model pengering efek rumah kaca (ERK)-Hybrid tipe rak berputar untuk pengeringan cengkeh. Selain itu Tahir et al, (2014), melakukan desain dan uji performace sistem pengeringan model rak pengering ERK.

Permasalahan yang terjadi dalam proses pengeringan bunga cengkeh sangat terganggu pada cuaca yang sangat tidak menentu baik pada musim barat maupun musim timur, sehingga waktu pengeringan bunga cengkeh menjadi panjang. Dari permasalahan di atas, maka peneliti berupaya meneliti tentang oven pengering rak yang memanfaatkan energi panas dari heater sauna yang disirkulasikan dalam ruang pemanas dengan memanfaatkan fan atau kipas angin untuk menghembuskan energi panas kedalam ruang pengering guna mengeringkan bunga cengkeh. Bunga cengkeh dihamparkan diatas rak. Proses pengeringan

bunga cengkeh yang terjadi dalam ruang pengering berlangsung dengan mekanisme perpindahan panas konveksi paksa, dimana ada pengaruh gaya luar terhadap proses perpindahan panas dari bunga cengkeh. Besarnya masukan panas akan mempengaruhi suhu, dimana suhu merupakan salah satu parameter yang tidak langsung sangat mempengaruhi bilangan adalah Reynold (Re). Bilangan Nusselt merupakan salah satu parameter penentu dari karakteristik perpindahan panas konveksi paksa, dimana bilangan Nusselt merupakan fungsi dari bilangan Reynold dan bilangan Prandtl. Semakin tinggi bilangan Nusselt berarti semakin baik proses perpindahan panas konveksi paksa yang terjadi dari bunga cengkeh dalam ruang pengering. Dengan meningkatnya masukan panas mengindikasikan bahwa proses pengeringan bunga cengkeh akan semakin cepat. Tujuan penelitian ini untuk menganalisis pengaruh masukan panas terhadap karakteristik perpindahan panas konveksi paksa, massa dan waktu pengeringan akhir bunga cengkeh pada kadar air terikat 14% yang standarkan oleh SNI.

KAJIAN TEORI DAN METODE

1. Karakteristik Perpindahan Panas Konveksi Paksa.

Menurut Bergman, Th. L, et al. (2011), untuk menghitung laju perpindahan panas dari heater menggunakan persamaan, berikut :

$$q_h = \frac{T_h - T_\infty}{\frac{1}{h_i} \left(\frac{D_o}{D_i} \right) + \frac{1}{2\pi k_L \left(\frac{1}{D_i} - \frac{1}{D_o} \right) + \frac{1}{2\pi L_c k_c}} + \frac{T_h - T_\infty}{\frac{1}{2\pi k_L \left(\frac{1}{D_i} - \frac{1}{D_o} \right) + \frac{1}{2\pi L_c k_c}} \quad (1)$$

dimana: T_h = temperatur heater (K), T_∞ = temperatur udara sekeliling (K), D_o = diameter luar tube (m), D_i = diameter dalam tube (m), L_c = panjang pelat konveksi (m), k_i = konduktivitas panas (W/m.K), h = koefisien konveksi (W/m².K),

Menurut Bergman *et al.* (2011), menyatakan bahwa bilangan Reynold (Re) merupakan perbandingan gaya viskous dan gaya inersia, dinyatakan sebagai

$$R_L = \frac{V.L}{\nu} \quad (2)$$

dimana: V = kecepatan udara (m/s), L = panjang karakteristik (m), ν = viskositas kinematis (m²/s).

Menurut Kothandaraman (2006), untuk mencari bilangan Nusselt (Nu) memiliki banyak persamaan yang dapat digunakan untuk aliran di luar silinder, yakni persamaan Churchill dan Berstein yang merupakan persamaan komprehensif tunggal mencakup bilangan Reynold (Re) dan bilangan Prandtl (Pr) untuk berbagai data, dinyatakan dalam persamaan

$$\overline{N} = 0.332 R_L^{1/2} P^{1/3} \quad (3)$$

Untuk $[R_L P] > 0.2$

Menurut Naylor *et al.* (1999), untuk menghitung koefisien konveksi digunakan persamaan

$$h = \frac{k}{L} N \quad (4)$$

dimana K = konduktivitas termal (W/m.K), L = panjang karakteristik (m), Nu = bilangan Nusselt.

Menurut Cengel (2002), konveksi adalah proses perpindahan panas yang terjadi bila ada gradient temperatur antara permukaan benda padat dengan fluida yang bergerak melintasi permukaan tersebut. Perpindahan panas konveksi dinyatakan dengan hukum Newton pendinginan

$$q_k = \bar{h} \cdot A(T_s - T_\infty) \quad (5)$$

dimana q_k = laju perpindahan panas konveksi (kJ/jam), \bar{h} = koefisien perpindahan panas konveksi rerata (kJ/jam.m².K), T_s = temperatur permukaan (K), T_∞ = temperatur fluida aliran bebas (K).

Unjuk kerja oven pengering cengkih yang akan dianalisa adalah efektivitas untuk sisi udara maupun sisi pelat, yaitu :

$$\varepsilon_u = \frac{q_u}{q_h} \times 100\% ; \varepsilon_p = \frac{q_p}{q_h} \times 100\% \quad (6)$$

2. Penentuan Kadar Air

Menurut Prakash *et al.* (2017), kadar air ini dapat diindikasikan sebagai persen atau sebagai rasio desimal. Jumlah kadar air dalam suatu produk dapat dinyatakan dalam dua metode, adalah basis basah (% w.b) dan basis kering (% d.b).

Metode basis basah, massa kadar air per satuan massa produk biasanya dilambangkan sebagai 'm'. Kadar air dalam basis basah dihitung sebagai (Belessiotis dan Delyannis 2011):

$$m = \frac{m_w}{m_w + m_d} = \frac{m_w}{m_T} \quad (7)$$

Dalam basis kering, massa kadar air per satuan massa produk kering biasanya dilambangkan sebagai 'M' dan ditentukan sebagai berikut:

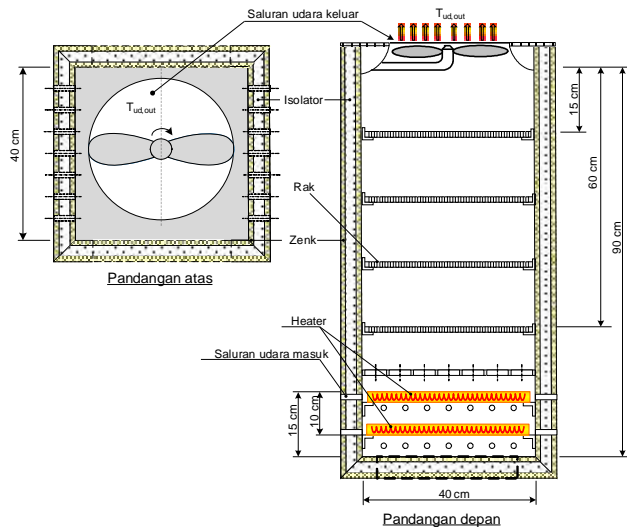
$$M = \frac{m_w}{m_d} \quad (8)$$

dimana: m = kadar air basis basah (wb), M = kadar air dasar kering (db), m_d = massa bahan kering dalam produk, m_w = massa air dalam produk, m_T = total massa produk.

3. Metode

Penelitian ini dilaksanakan dengan menggunakan metode eksperimen, dengan variabel bebas adalah masukan panas (Q^*) dan variabel terikat adalah karakteristik perpindahan panas konveksi paksa yakni; q_p , q_u , q_h , Pr , Re , Nu , h , q dan ε .

• Peralatan penelitian



Gambar 1. Peralatan penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Penelitian

Penelitian secara eksperimen dilakukan dengan memvariasikan masukan panas (Q^*) pada temperatur kamar (T_r) dan kecepatan udara (m/s konstan), diperoleh data penelitian yang disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Data Penelitian

Parameter	Masukan Panas, Q^* (W)				
	400	450	500	550	600
T_r (K)	309.7	310.4	311.3	312.1	312.9
P (bar)	0.9				
V (m/s)	165.56				
T_r (K)	315.5				
T (K)	301				
\bar{T}_p (K)	318.4	319.8	321.5	323.3	324.7
$\bar{T}_{u,i}$ (K)	323.2	326.0	328.7	331.4	344.1
$\bar{T}_{u,d}$ (K)	303.4	304.0	304.6	305.2	305.8
\bar{T}_h (K)	429.4	431.8	433.9	436.0	438.2
t (jam)	16	14	12	10	9
m _r (g)	1000	1000	1000	1000	1000
M (g)	140	140	140	140	140

Sumber: Lab. Perpindahan panas, 2018

2. Pembahasan

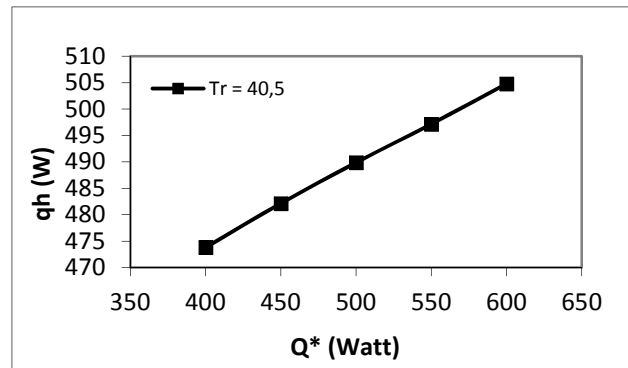
2.1. Karakteristik Perpindahan Panas Konveksi Paksa

Penelitian analisis karakteristik perpindahan panas oven pengering cengkeh telah diteliti dengan memvariasikan pengaruh masukan panas (Q^*) = 400 - 600 W dengan kecepatan udara (V), temperatur kamar (T_r), temperatur sekeliling (T) adalah konstan.

• Analisis laju perpindahan panas heater

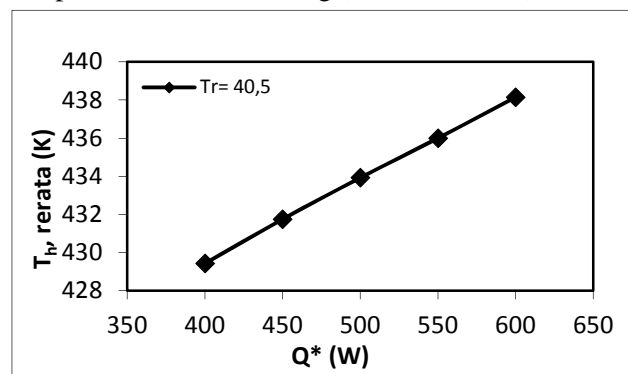
Hasil eksperimen dengan memvariasikan beban panas (Q^*) = 400 - 600 W pada temperatur kamar

oven pengering (T_{ro}) = 42.5 °C konstan, memperlihatkan bahwa semakin besar masukan panas (Q^*) dengan temperatur ruang oven pengering (T_{ro}) konstan maka semakin meningkat pula laju perpindahan panas heater (q_h), seperti diperlihatkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Grafik korelasi masukan panas (Q^*) dan laju perpindahan panas heater (q_h)

Gambar 2 memperlihatkan kenaikan laju perpindahan panas heater cukup signifikan terjadi pada $Q^* < 550$ W dengan gradien kenaikan yang curam, sedangkan pada $Q^* > 550$ W terjadi pula kenaikan laju perpindahan panas heater namun dengan gradien kenaikan landai. Laju perpindahan panas minimum pada $Q^* = 400$ W dan laju perpindahan panas maksimum pada $Q^* = 600$ W. Fenomena ini terjadi disebabkan oleh semakin meningkatnya temperatur rata-rata heater sehingga gradien temperatur heater semakin besar terhadap temperatur udara sekeliling (lihat Gambar 3).



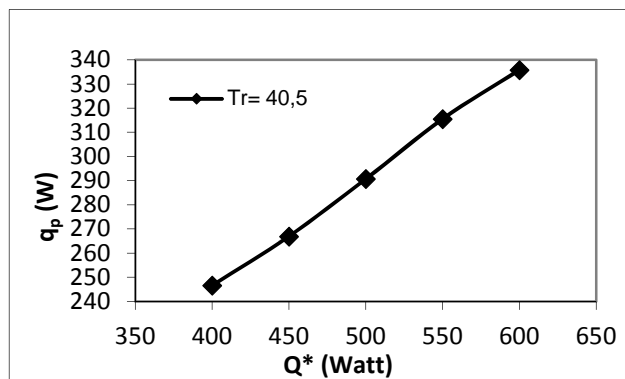
Gambar 3 Grafik korelasi masukan panas (Q^*) dan temperatur heater rerata

Ha ini sesuai pula, dengan persamaan (1) laju perpindahan panas heater merupakan berbanding lurus dengan gradien temperatur rata-rata heater dan temperatur udara sekeliling.

• Analisis laju perpindahan panas pelat ke udara sekeliling

Hasil eksperimen dengan memvariasikan beban panas (Q^*) = 400 - 600 W pada temperatur kamar oven pengering (T_{ro}) = 42.5 °C konstan, memperlihatkan bahwa semakin besar masukan panas (Q^*) dengan temperatur ruang oven pengering

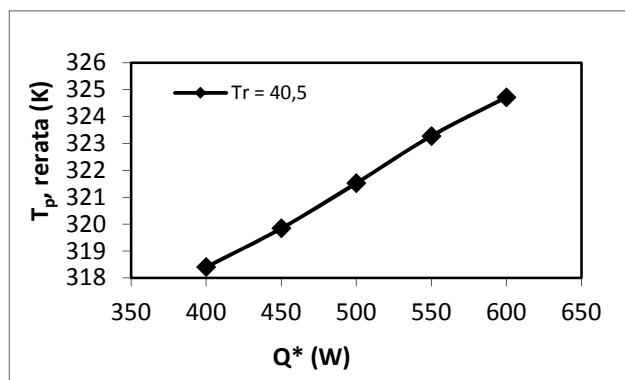
(T_{ro}) konstan maka semakin meningkat pula laju perpindahan panas pelat (q_p), seperti diperlihatkan dalam Gambar 4.



Gambar 4. Grafik korelasi masukan panas (Q^*) dan laju perpindahan panas pelat (q_p)

Peningkatan laju perpindahan panas pelat (q_p) cukup signifikan terjadi pada masukan panas (Q^*) < 500 W dengan gradien penurunan curam, sedangkan untuk masukan panas (Q^*) > 500 W terjadi pula penurunan laju perpindahan panas udara (q_{ud}) tetapi tidak signifikan dengan gradien penurunan landai. Laju perpindahan panas udara (q_p) maksimum terdapat pada (Q^*) = 600 W sedangkan laju perpindahan panas udara (q_{ud}) minimum terdapat pada (Q^*) = 400 W.

Fenomena ini memperlihatkan laju perpindahan panas pelat (q_p) sangat didominasi oleh kenaikan temperatur pelat rata-rata (lihat Gambar 5), dimana profil laju perpindahan panas pelat cenderung sama dengan profil temperatur pelat rerata akibat variasi masukan panas (Q^*).



Gambar 5. Grafik korelasi masukan panas (Q^*) dan temperatur pelat rerata (T_p)

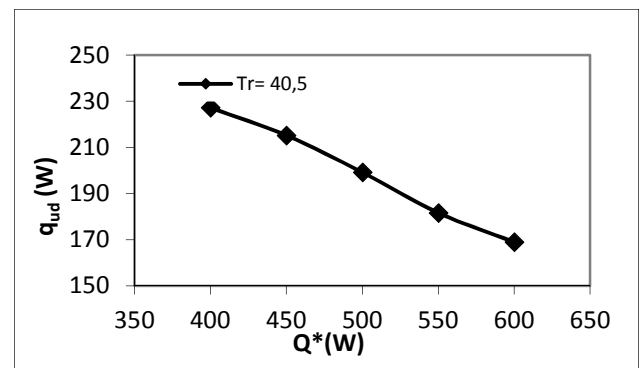
Nampak pula bahwa untuk temperatur kamar oven (T_{ro}) konstan, temperatur pelat rata-rata akan semakin meningkat dengan semakin bertambahnya masukan panas (Q^*) dan peningkatan temperatur pelat rata-rata ini cenderung mendekati linear (lihat Gambar 5.4). Dengan temperatur pelat rata-rata yang lebih tinggi maka gradien temperatur pelat dengan

temperatur udara sekeliling yang relatif konstan akan menjadi lebih besar.

Semakin meningkatnya temperatur pelat rata-rata menyebabkan gradien temperatur pelat rata-rata dan udara sekeliling yang konstan semakin curam menyebabkan laju perpindahan panas konveksi pada sisi pelat ke udara luar menjadi semakin menurun, dimana laju perpindahan panas pelat cenderung didominasi oleh penurunan koefisien konveksi yang mengalami penurunan. Hal ini sesuai dengan persamaan laju perpindahan panas pelat berbanding lurus dengan temperatur pelat rerata.

• Analisis laju perpindahan panas udara

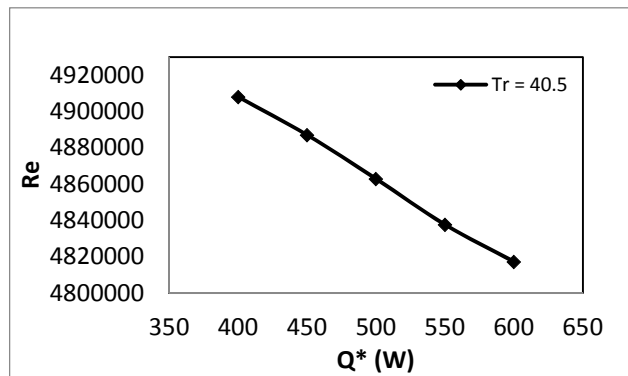
Hasil eksperimen dengan memvariasikan beban panas (Q^*) = 400 - 600 W pada temperatur kamar oven pengering (T_{ro}) = 42.5 °C konstan, memperlihatkan bahwa semakin besar masukan panas (Q^*) dengan temperatur ruang oven pengering (T_{ro}) konstan maka semakin menurun pula laju perpindahan panas udara (q_{ud}), seperti diperlihatkan dalam Gambar 6. Penurunan laju perpindahan panas udara (q_{ud}) cukup signifikan terjadi pada masukan panas (Q^*) < 500 W dengan gradien penurunan curam, sedangkan untuk masukan panas (Q^*) > 500 W terjadi pula penurunan laju perpindahan panas udara (q_{ud}) tetapi tidak signifikan dengan gradien penurunan landai. Laju perpindahan panas udara (q_{ud}) maksimum terdapat pada (Q^*) = 400 W sedangkan laju perpindahan panas udara (q_{ud}) minimum terdapat pada (Q^*) = 600 W.



Gambar 6. Grafik korelasi masukan panas (Q^*) dan laju perpindahan panas udara

Hal ini menunjukkan bahwa laju perpindahan panas udara dipengaruhi secara dominan oleh laju alir massa udara yang cenderung konstan dan temperatur udara rata-rata yang mengalir dalam saluran yang mengalami peningkatan seiring bertambahnya masukan panas (Q^*) seperti diperlihatkan pada gambar 5.6, dimana semakin besar masukan panas (Q^*) temperatur udara rata-rata semakin meningkat. Kenaikan temperatur udara rata-rata lebih dominan yang mengakibatkan koefisien konveksi udara dalam saluran mengalami penurunan sehingga akan

menyebabkan penurunan pula laju perpindahan panas udara (q_{ud}).

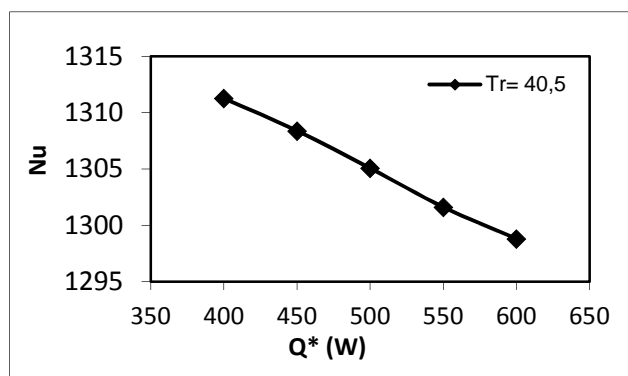


Gambar 7. Grafik korelasi masukan panas (Q^*) dan bilangan Reynold (Re)

Meningkatnya temperatur pelat rata-rata menyebabkan bilangan Reynolds mengalami penurunan cukup signifikan seperti diperlihatkan pada gambar 7, yang disebabkan oleh semakin meningkatnya viskositas kinematik. Hal ini sesuai pula dengan persamaan bilangan Reynolds.

Meningkatnya temperatur pelat rata-rata menyebabkan bilangan Nusselt (Nu) mengalami penurunan yang cukup signifikan (lihat Gambar 8), karena bilangan Nusselt merupakan fungsi dari bilangan Reynolds dan bilangan Prandtl (Pr) dimana semakin meningkatnya temperatur pelat rata-rata maka bilangan Re dan Pr semakin mengalami penurunan. Bilangan Nusselt (Nu) merupakan salah satu parameter yang sangat penting untuk mengetahui karakteristik perpindahan panas konveksi.

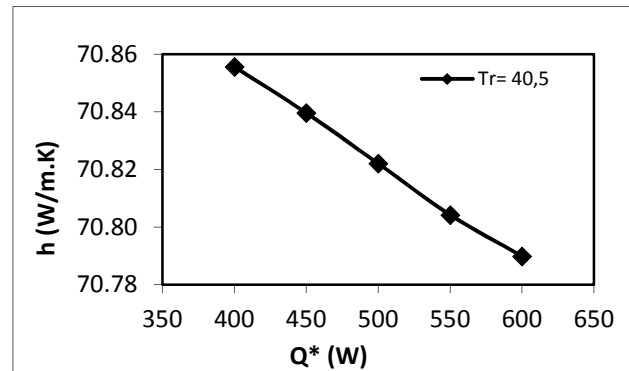
Dari penelitian pendahuluan yang telah dilakukan bahwa bilangan Nusselt adalah ratio antara konveksi dan konduksi fluida. Semakin mengecilnya bilangan Nusselt (Nu) akibat bertambahnya beban panas (Q^*).



Gambar 8. Grafik korelasi masukan panas (Q^*) dan bilangan Nusselt (Nu)

Peningkatan temperatur pelat rata-rata ini akan berdampak pada koefisien perpindahan panas konveksi, dimana semakin besar temperatur pelat

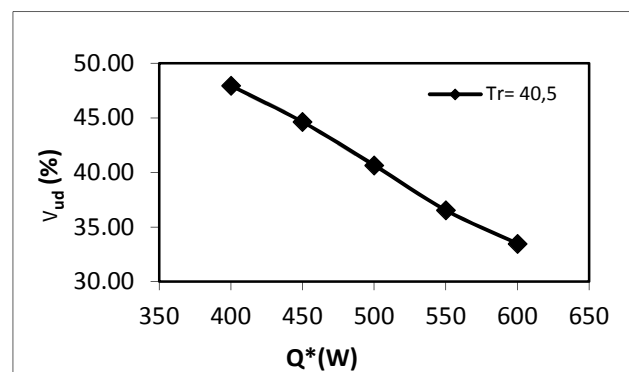
maka bilangan Nusselt (Nu) semakin kecil demikian pula koefisien perpindahan panas konveksi (h) semakin menurun pula (lihat gambar 9). Fenomena penurunan koefisien perpindahan panas konveksi (h) sesuai pula dengan persamaan (4) koefisien konveksi.



Gambar 9. Grafik korelasi masukan panas (Q^*) dan koefisien konveksi (h)

• Analisis efektivitas pengering cengkeh

Hasil eksperimen dengan memvariasikan beban panas (Q^*) = 400 - 600 W pada temperatur kamar oven pengering (T_{ro}) = 42.5 °C konstan, memperlihatkan bahwa semakin besar masukan panas (Q^*) dengan temperatur ruang oven pengering (T_{ro}) konstan maka semakin menurun pula efektivitas panas udara (ϵ_{ud}), seperti diperlihatkan dalam Gambar 10. Penurunan efektivitas panas udara (ϵ_{ud}) cukup signifikan terjadi pada beban panas (Q^*) < 500 W dengan gradien penurunan curam, sedangkan untuk beban panas (Q^*) > 500 W terjadi pula penurunan efektivitas panas udara (ϵ_{ud}) tetapi tidak signifikan dengan gradien penurunan landai. Efektivitas panas udara (ϵ_{ud}) maksimum terdapat pada (Q^*) = 400 W sedangkan efektivitas panas udara (ϵ_{ud}) minimum terdapat pada (Q^*) = 600 W.



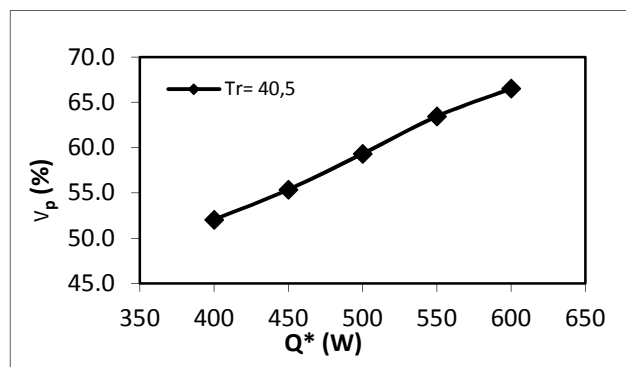
Gambar 10. Grafik korelasi masukan panas (Q^*) dan efektivitas udara

Fenomena ini menunjukkan bahwa efektivitas panas udara dipengaruhi secara dominan oleh laju alir massa udara yang cenderung konstan dan temperatur udara rata-rata yang mengalir dalam saluran yang

mengalami peningkatan seiring bertambahnya masukan panas (Q^*) seperti diperlihatkan pada Gambar 10. Kenaikan temperatur udara rata-rata lebih dominan yang mengakibatkan koefisien konveksi udara dalam saluran mengalami penurunan sehingga akan menyebabkan penurunan pula efektivitas panas udara (ϵ_{ud}).

Hal ini menyebabkan laju perpindahan panas heater lebih besar dari pada laju perpindahan panas udara, dimana sesuai dengan persamaan (6) efektivitas panas udara.

Hasil eksperimen dengan memvariasikan beban panas (Q^*) = 400 - 600 W pada temperatur kamar oven pengering (T_{ro}) = 42.5 °C konstan, memperlihatkan bahwa semakin besar masukan panas (Q^*) dengan temperatur ruang oven pengering (T_{ro}) konstan maka semakin meningkat pula efektivitas panas pelat (ϵ_p), seperti diperlihatkan dalam Gambar 11. Peningkatan efektivitas panas pelat (ϵ_p) cukup signifikan terjadi pada masukan panas (Q^*) < 500 W dengan gradien peningkatan curam, sedangkan untuk masukan panas (Q^*) > 500 W terjadi pula peningkatan efektivitas panas pelat (ϵ_p) tetapi tidak signifikan dengan gradien peningkatan landai.



Gambar 10. Grafik korelasi masukan panas (Q^*) dan efektivitas pelat

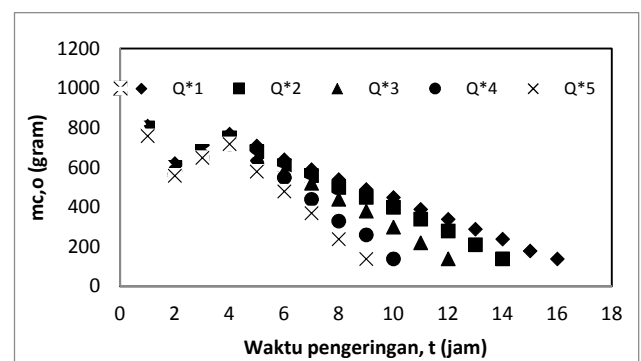
Hasil eksperimen dengan memvariasikan beban panas (Q^*) = 400 - 600 W pada temperatur kamar oven pengering (T_{ro}) = 42.5 °C konstan, memperlihatkan bahwa semakin besar masukan panas (Q^*) dengan temperatur ruang oven pengering (T_{ro}) konstan maka semakin meningkat pula efektivitas panas pelat (ϵ_p), seperti diperlihatkan dalam Gambar 11. Peningkatan efektivitas panas pelat (ϵ_p) cukup signifikan terjadi pada masukan panas (Q^*) < 500 W dengan gradien peningkatan curam, sedangkan untuk masukan panas (Q^*) > 500 W terjadi pula peningkatan efektivitas panas pelat (ϵ_p) tetapi tidak signifikan dengan gradien peningkatan landai.

Fenomena ini menunjukkan bahwa efektivitas panas pelat dipengaruhi secara dominan oleh temperatur pelat rata-rata yang mengalami

peningkatan seiring bertambahnya masukan panas (Q^*) seperti diperlihatkan pada Gambar 11, mengakibatkan gradien temperatur pelat rata-rata dan udara sekeliling yang konstan semakin curam menyebabkan efektivitas pada sisi pelat ke udara luar menjadi semakin meningkat. Hal ini menyebabkan laju perpindahan panas heater lebih besar dari pada laju perpindahan panas pelat, dimana sesuai dengan persamaan efektivitas panas udara di atas.

2.2. Analisis massa dan waktu pengeringan cengkeh

Hasil eksperimen dengan memvariasikan beban panas (Q^*) = 400 - 600 W pada temperatur kamar oven pengering (T_{ro}) = 42.5 °C konstan, memperlihatkan bahwa semakin besar masukan panas (Q^*) dengan temperatur ruang oven pengering (T_{ro}) konstan maka semakin menurun pula waktu pengeringan cengkeh ($t_{c.o}$), seperti diperlihatkan dalam Gambar 5.12. Penurunan waktu pengeringan cengkeh mengindikasikan bahwa semakin meningkat masukan panas, maka cengkeh lebih cepat mencapai kadar air akhir yang disyaratkan oleh Standar Nasional Indonesia yakni sebesar 14%. Untuk masukan panas maksimal (Q^*) = 600 W waktu pengeringan adalah 9 jam, sedangkan untuk masukan panas minimal (Q^*) = 400 W waktu pengeringan adalah 16.



Gambar 11. Grafik korelasi M (db) dan waktu pengeringan cengkeh

KESIMPULAN

Penelitian pengaruh masukan panas (Q^*) terhadap karakteristik perpindahan panas pada oven pengering cengkeh kapasitas 1000 g, telah diteliti dengan penelitian eksperimen dengan memvariasikan masukan panas (Q^*) = 400 – 600 W pada kecepatan (V) = 165,56 m/s, temperatur kamar (T_r) = 42,5 °C konstan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Semakin meningkat masukan panas (Q^*), maka karakteristik perpindahan panas yakni;
 - Untuk masukan panas (Q^*) < 550 W, laju perpindahan panas heater (q_h), laju perpindahan panas pelat (q_p) dan efektivitas panas pelat (ϵ_p) semakin meningkat dengan gradient kenaikan curam, sedangkan laju

- perpindahan panas udara (q_{ud}), bilangan Reynolds (Re), bilangan Nusselt (Nu), koefisien konveksi (h), efektivitas panas udara (ϵ_{ud}) semakin menurun dengan gradien penurunan curam.
- Untuk masukan panas (Q^*) > 550 W, laju perpindahan panas heater (q_h), laju perpindahan panas pelat (q_p) dan efektivitas panas pelat (ϵ_p) semakin meningkat dengan gradien kenaikan landai, sedangkan laju perpindahan panas udara (q_{ud}), bilangan Reynolds (Re), bilangan Nusselt (Nu), koefisien konveksi (h) dan efektivitas panas udara (ϵ_{ud}) semakin menurun dengan gradien penurunan landai.
2. Semakin meningkat masukan panas, maka waktu pengeringan cengkeh ($t_{c,o}$) semakin menurun. Waktu pengeringan cengkeh ($t_{c,o}$) dari 16 jam hingga 9 jam.

DAFTAR PUSTAKA

- Bejan, A., Tsatsaronis, G., Moran, M, 1996., Thermal Desain and Optimization, John Wiley & Sons, Inc, New York.
- Bergman. Th. L, Lavine. A. S, Incropera. F.P, De Witt. D, 2011., Fundamental of Heat and Mass Transfer, 7th Edition, John Wiley & Sons, New York. 1050p.
- Cengel, Yunus, A., 2002, "Heat Transfer a Practical Approach", Second Edition, McGraw-Hill, New York. 853p.
- Farel, H. N., Putra., M. T, 2012, Perancangan dan Pengujian Alat Pengering Kakao Dengan Tipe Kabinet Untuk Kapasitas 7,5 kg per Siklus. Jurnal Dinamis, Volume II, No. 10.
- Kays, W. M dan Crawford, M. E., 1993, Convective Heat and Mass Transfer, McGraw-Hill, Inc, New York.
- Khathir R, Lueke W, Hartulistiyoso E, Nelwan L O. 2008. Study on Drying Clove (*Syzygium aromaticum*) using Greenhouse Effect Solar Dryer Integrated by Biomass Energy. Competition for Resources in a Changing World: New Drive for Rural Development. Tropentag, Oct 7-9, 2008, Hohenheim.
- Kothandaraman C P. 2006. Heat and Mass Transfer. Revised Third Edition. New Age International (P) Limited, Publishers. New Delhi. 712p
- Moran, M. J, Shapiro, H. N, Boettner, D. D, Bailey, M. B, 2014., "Fundamentals of Engineering Thermodynamic, 8th, John Wiley & Sons, Inc, New York.
- Naylor, D dan Oosthuizen, P. H., 1999, Introduction to Convective Heat Transfer Analysis, McGraw-Hill, New York.
- Nurdjannah N., 2004. Diversifikasi Penggunaan Cengkeh. Jurnal Perspektif, Volume 3 no. 2, p 61-70.
- Prakash O, Kumar A. 2017. Solar Drying Technology: Concept, Design, Testing, Modeling, Economics, and Environment. Published by Springer Nature, Singapore Pte Ltd, 633p.
- Putri Y. E, 2010. Uji Performance Model Pengering Efek Rumah Kaca (ERK)-Hybrid Tipe Rak Berputar Untuk Pengeringan Cengkeh. Skripsi Departemen Teknik Pertanian Fakultas Pertanian IPB.
- Standar Nasional Indonesia (SNI), Bunga Cengkeh no : 01-3392-1994
- Wark, K. Jr, Richard, D. E, 1999., Termodinamics, 6th Edition, McGraw-Hill International Editions, New York. 738p
- Widayana G., 2015., Prototipe Sistem Pengering Cengkeh Dengan Energi Surya. Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV. Banjarmasin.