



Pengaruh Laju Aliran Fluida *Helical Coil* Terhadap Efektivitas Kondensor Minyak Atsiri Cengkeh Berbasis *Shell*

Effect Flow Rate of Helical Coil on The Effectiveness of Shell-Based Clove Essential Oil Condenser

Cendy S.E Tupamahu* dan Sefnath J. E. Sarwuna
Universitas Pattimura, Jln M. Putuhena, Fakultas Teknik Unpatti, Indonesia

Informasi artikel

Diterima:
17/06/2021
Direvisi:
30/06/2021
Disetujui:
02/07/2021

Abstract

One of the main tools in the process of making essential oils is a condenser. The simple use of condensers is still used for essential oil processing by small business groups of Clove essential oil in Suli Village, Central Maluku. This is what encourages this research to be carried out. This research includes designing and testing the condenser model using COMSOL Multiphysics 4.5 Software to determine the optimal efficiency of the condenser by varying the mass flow rate of cold fluid on the shell side. The condenser used in this study is a helical coil condenser where hot fluid flows on the tube side and cold fluid flows on the shell side. Tube and shell materials are made of stainless steel 304, with a tube diameter of 1.905 cm, shell diameter 30 cm, shell height 57 cm, coil diameter 24 cm, coil height 50 cm. mass flow rate variations of 0.25, 0.51, 0.76, 1.01, and 1.26 kg / s. The results showed that the effectiveness of the condenser was effective at the mass flow rate $m' = 1.26$ kg/s where the effectiveness (ϵ) was 91%.

Keywords: flow rate, helical coil, condenser, effectiveness.

Abstrak

Salah satu alat utama dalam proses pembuatan minyak atsiri yaitu kondensor. Penggunaan kondensor secara sederhana masih digunakan untuk pengolahan minyak atsiri oleh para kelompok usaha kecil minyak atsiri Cengkeh di Desa Suli, Maluku Tengah. Hal inilah yang mendorong untuk dilakukan penelitian ini. Penelitian ini meliputi perancangan serta pengujian model kondensor menggunakan *Software Comsol Multiphysics 4.5*, untuk mengetahui Efisiensi Optimal dari Kondensor dengan memvariasikan laju aliran massa fluida dingin pada sisi *shell*. Kondensor yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis kondensor helical coil dimana fluida panas mengalir pada sisi tube dan fluida dingin mengalir pada sisi *shell*. Bahan tube dan shell terbuat dari *stainless steel 304*, dengan diameter tube 1,905 cm, diameter *shell* 30 cm, tinggi *shell* 57 cm, diameter *coil* 24 cm, tinggi *coil* 50 cm. variasi laju aliran massa 0,25, 0,51, 0,76, 1,01, dan 1,26 kg/s. Hasil penelitian mendapatkan efektivitas kondensor yang efektif pada laju aliran massa $m' = 1,26$ kg/s yang mana efektivitasnya(ϵ) sebesar 91%.

Kata Kunci: laju aliran fluida, helical koil, kondensor, efektifitas.

*Penulis Korespondensi. Tel: - ; Handphone: -
email : tupamahucendy@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Cengkeh (*Syzygium aromaticum*) merupakan tanaman asli Indonesia yang pada bagian bunga, batang dan gagangnya terdapat minyak atsiri yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan, misalnya pada dunia industri seperti industri kosmetik, obat-obatan, makanan dan minuman (Grush dkk., 2004). Untuk mendapatkan minyak atsiri, umumnya diproses secara destilasi metode dikukus (water and steam distillation), dimana komponen-komponen destilasi terdiri dari ketel, kondensor, tangki pendingin, separator, dehidrator, dan penampung minyak (Pratiwi, dkk., 2016). Kondensor merupakan salah alat yang digunakan untuk penukar panas (heat exchanger) antara fluida panas dan fluida dingin secara terpisah atau tidak saling bercampur. Proses perpindahan panas yang terjadi diantara fluida panas dan fluida dingin menyebabkan terjadinya kondensasi (Mafruddin, dkk., 2017).

Beberapa penelitian terdahulu telah membahas sistem destilasi minyak atsiri, antara lain; Analisis pengaruh masukan panas terhadap karakteristik proses destilasi minyak atsiri cengkeh (Titahelu, 2019). Penelitian tersebut diatas menggunakan pipa kondensor lurus, dimana temperatur kondensat atau minyak atsiri saat keluar masih cukup tinggi dalam kisaran 35-45 oC. Penelitian lain yang membahas kondensor diantaranya rancang bangun kondensor pada sistem destilasi uap minyak atsiri dengan metode aliran silang berbahan baku daun serai wangi (Roiyan, 2018).

Penelitian terkait helical coil antara lain: Numerical investigation of vertical helically coiled tube heat exchangers (Mirgobabaei, 2018) dilakukan metode simulasi dimana fluida air pada sisi tube dan fluida air pada sisi shell. Material tube yang digunakan adalah tembaga. Mekanisme perpindahan panas pada penukar kalor pipa heliks didapati bahwa efektivitas perpindahan panas pada penukar kalor pipa

heliks sangat tinggi karena gerakan aliran sekunder yang tegak lurus terhadap aliran (Xu, dkk., 2018).

Penelitian terkait pengaruh kecepatan dan sifat fluida pendingin terhadap koefisien perpindahan kalor pada penukar kalor shell and tube (Lazim, 2013). Hasilnya dengan penambahan laju aliran fluida pendingin laju perpindahan kalor yang terjadi akan meningkat sehingga koefisien perpindahan kalor keseluruhan juga akan meningkat (Lazim, 2013). Permodelan alat destilasi untuk penyulingan minyak nilam telah dilakukan menggunakan software Ansys Fluent R 14,5. Dengan kondisi temperatur air pendingin masuk 25°C, air pendingin keluar 37 °C, suhu awal kondensat 100 °C, dan suhu akhir kondensat 25-30oC. data input berupa suhu steam 100 °C dan tekanan 2 bar (Turmizi dkk, 2018).

Berdasarkan penelitian terdahulu dan survei sistem destilasi minyak atsiri Cengkeh di desa Suli, Maluku Tengah, para pelaku usaha minyak atsiri cengkeh masih menggunakan kondensor pipa lurus. Adapun kelemahan dalam menggunakan kondensor pipa lurus yaitu temperatur keluaran (kondensat) masih sangat tinggi. Hal tersebut menunjukkan bahwa efektivitas kondensor pada sistem destilasi belum optimal, dimana efektivitas merupakan parameter dari karakteristik destilasi.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengoptimalkan efektivitas kondensor sistem destilasi minyak atsiri cengkeh salah satu parameter yang berpengaruh ialah laju aliran massa. Laju aliran massa merupakan banyaknya massa fluida yang masuk per satuan waktu. Pada penelitian ini kita memvariasikan laju aliran massa fluida dingin 0,25, 0,51, 0,76, 1,01, dan 1,26 kg/s, untuk helical coil p/d 4 cm. Komponen destilasi didesain mengikuti komponen-komponen yang beroperasi di lapangan dan akan di simulasi-kan dengan menggunakan *software COMSOL Multiphysics* untuk mendapatkan efektivitas kondensor berbasis *shell*.

2. METODOLOGI

Lokasi Penelitian Dan Spesifikasi Alat dan Bahan

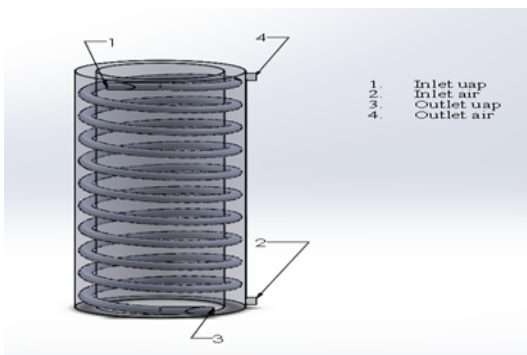
Penelitian ini dilaksanakan pada lab. Termodinamika dan Perpindahan Panas, Fakultas Teknik Universitas Pattimura. Survey dilakukan di Desa Suli, Maluku Tengah. Desain sistem destilasi minyak atsiri dapat dilihat pada gambar 1. Material *tube* dan *shell* yaitu *stainless steel* 304, parameter penelitian dapat dilihat pada tabel 1.



Gambar 1. Sistem destilasi minyak atsiri

Tabel 1. Parameter penelitian

Parameter	Ukuran (cm)
Diameter <i>shell</i>	30
Tinggi <i>shell</i>	57
Diameter <i>tube</i>	1,905
Diameter koil	24
Tinggi koil	50
Pitch	4



Gambar 2. Desain kondensor *helical coil*

Gambar 2 menampilkan desain dari kondensor *helical coil* yang digunakan dalam sistem destilasi minyak atsiri.

Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data melalui simulasi menggunakan COMSOL Multiphysics 4.5, dengan variasi laju aliran massa kemudian dilakukan iterasi hingga konvergen. Kemudian dilakukan perhitungan karakteristik perpindahan panas untuk mendapatkan efisiensi kondensor berbasis shell.

Teknik Analisa Data

Perhitungan Sisi Tube

a. Bilangan Rayleigh (Ra,t).

Transisi dari sebuah konveksi pada batas antar lapisan tergantung dari relavitas gaya tarik menarik dari gaya buoyancy dan kekentalan di dalam fluida. Hal ini biasanya berkorelasi dan disebut bilangan Rayleigh (Ra). Menurut (Fernández-Seara, dkk. 2014) bilangan Rayleigh (Ra) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Ra = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)d^3}{\nu^2} \frac{C_p \times \mu}{k} \quad (1)$$

b. Bilangan Nusselt (Nu,t).

Menurut Hamdeh (Hamdeh, 2020), bilangan Nusselt untuk helical koil adalah

$$Nu_h = 0.0779(Ra)^{0.275} \left(\frac{D}{d_o}\right)^{0.184} \left(\frac{D}{d_o}\right)^{0.212} \left(\frac{L}{d_o}\right)^{0.108} \quad (2)$$

c. Koefisien perpindahan panas konveksi.

Koefisien perpindahan panas konveksi didefinisikan sebagai,

$$h = \frac{Nu_t \cdot k}{L} \quad (3)$$

Perhitungan Sisi Shell

a. Bilangan Reynold (Re,s).

Menurut Hamdeh (Hamdeh, 2020), bilangan Reynold untuk *helical coil* adalah

$$Re = \frac{V_s d_s}{\mu_s} \quad (4)$$

b. Bilangan Nusselt (Nu,s).

Menurut Tuncer (Tuncer, dkk., 2021), bilangan Nusselt pada sisi *shell* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut

$$Nu_c = 0.6(Re, c)^{0.5}(Pr)^{0.31} \quad (5)$$

c. Koefisien Perpindahan Panas Konveksi (h, s).

Koefisien perpindahan panas konveksi pada sisi shell (ho), Menurut Fernández-Seara (Fernández-Seara, dkk. 2014) dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$h_s = \frac{Nu_s \cdot k}{L} \quad (6)$$

Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh (U)

Menurut Ali (Ali, 1994), koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) menggunakan persamaan berikut:

$$\frac{1}{U_o} = \frac{A_{io}}{A_{ii}h_i} + \frac{A_{io} \ln(d_o/d_i)}{2\pi k_w} + \frac{1}{h_o} \quad (7)$$

Beda Temperatur Rata-rata Logaritma (LMTD).

Menurut Sheeba (Sheeba, dkk., 2019), besarnya beda temperatur rata-rata logaritma (LMTD) menggunakan persamaan:

$$LMTD = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln(\Delta T_2 / \Delta T_1)} = \frac{(T_{ho} - T_{ci}) - (T_{hi} - T_{co})}{\ln((T_{ho} - T_{ci}) / (T_{hi} - T_{co}))} \quad (8)$$

Efektivitas (ε)

Perhitungan kinerja adalah salah satu masalah khusus dalam analisis penukar kalor. Rasio perpindahan panas actual terhadap perpindahan panas maksimum yang mungkin terjadi didefinisikan sebagai efektivitas penukar kalor (ε) dan pada umumnya digunakan sebagai pendekatan untuk menganalisis kinerja penukar kalor (Yan, dkk., 2020)

$$\epsilon = \frac{Q_{aktual}}{Q_{max}} \quad (9)$$

- Laju Perpindahan Panas Aktual (Q_{Actual}):

$$Q_{aktual} = UA \Delta_{LMTD} \quad (10)$$

- Laju Perpindahan Panas maksimum (Q_{Maz}):

$$Q_{max} = C_{min}(T_{h,in} - T_{h,out}) \quad (11)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi komponen kondensor helikal coil dengan memvariasikan laju aliran massa memperlihatkan data point temperatur masuk dan keluar fluida pada sisi shell dan sisi tube yang disajikan dalam tabel 2.

Tabel 2. Data point simulasi komponen kondensor helikal coil

<i>m</i> (kg/s)	Thi (K)	Tho (K)	Tci (K)	Tco (K)
1.26	373.15	294.569	293.2	300.053
1.01	373.15	294.929	293.2	297.085
0.76	373.15	295.527	293.2	295.585
0.51	373.15	297.030	293.2	294.987
0.25	373.15	299.998	293.2	294.627

Hasil perhitungan karakteristik perpindahan panas konveksi pada komponen kondensor helikal coil untuk kelima variasi laju aliran massa dilakukan terhadap; bilangan Rayleigh (Ra), bilangan Reynold (Re), bilangan Nusselt (Nu), koefisien konveksi (h), koefisien perpindahan panas menyeluruh (U), efektivitas (ε).

Tabel 3. Hasil perhitungan Rayleigh (Ra)

<i>m</i> (kg/s)	Ra	Nu,t	hi (W/m ² .K)
0,25	23375	8,648	2,67
0,51	23720	8,683	2,68
0,76	24186	8,730	2,69
1,01	25210	8,840	2,73
1,26	27828	9,073	2,80

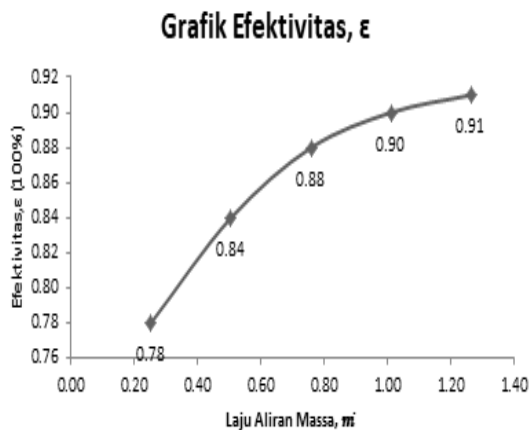
Tabel 4. Hasil perhitungan Reynold (Re)

Re	Nu,s	ho (W/m ² .K)
235,433	16,964	17,963
466,164	23,830	25,244
687,857	28,864	30,599
881,125	32,429	34,445
1022,0	34,4	36,677

Tabel 5. Hasil perhitungan Efektivitas (ϵ)

m (kg/s)	Ra	Nu,t
0,25	23375	8,648
0,51	23720	8,683
0,76	24186	8,730
1,01	25210	8,840
1,26	27828	9,073

Hasil analisis simulasi kelima variasi laju aliran massa fluida dingin menunjukkan bahwa terjadi kenaikan pada nilai efektivitas (ϵ) seiring dengan meningkatnya laju aliran massa, dengan nilai efektivitas (ϵ) tertinggi yakni 0,91 (91%) ditunjukkan pada variasi laju aliran massa = 1,26 kg/s dan nilai efektivitas (ϵ) terendah yakni 0,78 (78%) ditunjukkan pada variasi $\dot{m} = 0,25$ kg/s seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Kenaikkan nilai efektivitas diakibatkan oleh semakin besar laju aliran massa (\dot{m}) dengan temperatur masuk fluida dingin (T_{ci}) konstan 273,15 K, maka terjadi kenaikan pada keseluruhan nilai karakteristik perpindahan panas Ra, Re, Nu, h, U dan ϵ . Hal ini juga sesuai dengan data point yang ditunjukkan tabel 2 untuk plot temperatur masuk dan keluar, dan hasil perhitungan pada tabel 3, 4 dan 5 Hal ini mengindikasikan bahwa nilai laju aliran massa \dot{m} mempengaruhi efektivitas kondensor.

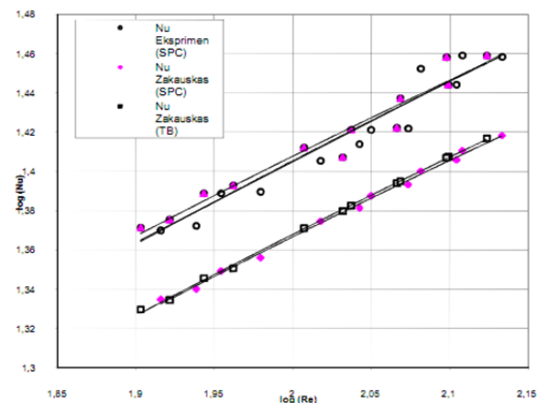


Gambar 3. Grafik Efektivitas

Sebagai pembandingan penelitian ini dengan penelitian terdahulu, digunakan parameter yakni bilangan Nusselt pada sisi shell yang ditunjukkan pada Gambar 4.

Dimana penambahan laju aliran fluida pendingin laju perpindahan kalor yang terjadi akan meningkat sehingga bilangan Nusselt dan berdampak pada kenaikan koefisien perpindahan kalor keseluruhan (Lazim, 2013).

Trend grafik bilangan Nusselt yang dilakukan secara eksperimen oleh Lazim (Lazim, 2013) memiliki kesamaan yakni kenaikan nilai bilangan Nusselt semakin meningkat seiring dengan meningkatnya nilai laju aliran massa yang dapat dilihat pada table 3 dan 5.



Gambar 4. Grafik laju aliran massa vs Nu (Lazim, 2013)

4. SIMPULAN

Dari hasil penelitian dengan variasi laju aliran massa $\dot{m} = 0,25; 0,51; 0,76; 1,01; 1,26$ kg/s dengan temperatur masuk fluida konstan, dapat disimpulkan bahwa efektivitas kondensor helical coil semakin optimal apabila nilai \dot{m} semakin besar. Hal ini ditunjukkan dengan nilai efektivitas tertinggi terjadi pada $\dot{m} = 1,26$ kg/s, dimana efektivitas kondensor helical coil dapat mencapai nilai 0,91 (91 %).

DAFTAR PUSTAKA

Fernández-Seara, J., Piñeiro-Pontevedra, C. dan Dopazo, J.A., 2014. On the performance of a vertical helical coil heat exchanger. Numerical model and experimental validation. *Applied thermal engineering*, 62(2), hal. 680-689.

Grush, J., Noakes, D.L.G. dan Moccia, R.D., 2004. The efficacy of clove oil as an anesthetic for the zebrafish, *Danio rerio* (Hamilton). *Zebrafish*, 1(1), hal. 46-53.

- Hamdeh, Abu, N.H., Bantan, R.A. dan Tlili, I., 2020. Analysis of the thermal and hydraulic performance of the sector-by-sector helically coiled tube heat exchangers as a new type of heat exchangers. *International Journal of Thermal Sciences*, 150, hal.106229.
- Lazim, M., 2013. Pengaruh Kecepatan Dan Sifat Fluida Pendingin Terhadap Koefisien Perpindahan Kalor Pada Penukar Kalor Shell And Tube. *Jurnal Desiminasi Teknologi*, 1(1). hal. 50-58.
- Mafruddin, M., Dharma, U.S. dan Nuryanto, A., 2017. Pengaruh Geometri Pipa Kondensor Terhadap Perpindahan Panas Pada Destilasi Minyak Plastik. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 6(2). hal. 193-197
- Mirgolbabaie, H., 2018. Numerical investigation of vertical helically coiled tube heat exchangers thermal performance. *Applied thermal engineering*, 136, hal. 252-259.
- Pratiwi, L., Rachman, M.S. dan Hidayati, N., 2016. Ekstraksi minyak atsiri dari bunga cengkeh dengan pelarut etanol dan N-Heksana. In *University Research Colloquium. Universitas Muhammadiyah, Surakarta*.
- Titahelu, N. 2019. Analisis Pengaruh Masukan Panas Terhadap Karakteristik Proses Destilasi Minyak Atsiri Cengkeh (*Syzygium aromaticum*). *Prosiding Seminar Nasional ALE ke-2 tahun 2019*. hal. 70-75.
- Tuncer, A.D., Sözen, A., Khanlari, A., Gürbüz, E.Y. dan Variyenli, H.İ., 2021. Analysis of thermal performance of an improved shell and helically coiled heat exchanger. *Applied Thermal Engineering*, 184, hal.116272.
- Turmizi dan Hamdani., 2018. Permodelan alat Distilasi Untuk Penyulingan Minyak Nilam. *Jurnal Inovtek POLBENG*, Vol.8, No.1, hal. 10-14.
- Xu, X., Zhang, Y., Liu, C., Zhang, S. dan Dang, C., 2018. Experimental investigation of heat transfer of supercritical CO₂ cooled in helically coiled tubes based on exergy analysis. *International Journal of Refrigeration*, 89, hal.177-185.
- Yan, S.R., Moria, H., Pourhedayat, S., Hashemian, M., Assadi, S., Dizaji, H.S. dan Jermittiparsert, K., 2020. A critique of effectiveness concept for heat exchangers; theoretical-experimental study. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 159, hal.120160.