

Analisis Kinerja Kondensor Spiral dengan Variasi *Pitch* Pipa pada Destilasi Minyak Atsiri

Stephen Dwi Arjuna^{1*}, Danang Dwi Saputro²

^{1,2}Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang, Semarang, Indonesia

Corresponding Author's e-mail : stephendwiarjuna@gmail.com



e-ISSN: 2964-2981

ARMADA : Jurnal Penelitian Multidisiplin

<https://ejournal.45mataram.ac.id/index.php/armada>

Vol. 04, No. 07 Juli, 2026

Page: 2775-2783

DOI:

<https://doi.org/10.55681/armada.v4i7.3023>

Article History:

Received: Mei 11, 2026

Revised: Juni 25, 2026

Accepted: Juli 18, 2026

Abstract : *Essential oils are high-value commodities widely used in the perfume, cosmetics, pharmaceutical, and food industries. The effectiveness of the distillation process is strongly influenced by condenser performance in converting vapour into liquid. This study aims to analyse the effect of pitch variation on pipe length, number of coils, and heat-transfer rate in finned and unfinned spiral condensers. The pitch variations used were 70.00 mm, 90.00 mm, and 110.00 mm, with stainless steel 304 as the construction material. The design process was conducted using SolidWorks 2021, while heat-transfer analysis was based on the condenser's geometric parameters. The results show that a smaller pitch produces a longer pipe and a greater number of coils. A pitch of 70.00 mm produced a pipe length of 30.97 m and 10 coils, whereas a pitch of 110.00 mm produced a pipe length of 21.43 m and 7 coils. Finned condensers achieved higher heat-transfer rates than unfinned condensers across all variations. Therefore, a smaller pitch combined with fins improves the effectiveness of spiral condensers in essential-oil distillation. This configuration also offers promising potential for efficient industrial-scale applications..*

Keywords : *Spiral Condenser, Fins, Pipe Pitch Heat Tranfer, Lemongrass Essential Oils.*

Abstrak : Minyak atsiri merupakan komoditas bernilai ekonomi tinggi yang dimanfaatkan dalam industri parfum, kosmetik, farmasi, dan pangan. Efektivitas proses destilasi sangat dipengaruhi oleh kinerja kondensor dalam mengubah uap menjadi cairan. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi *pitch* terhadap panjang pipa, jumlah lilitan, dan laju perpindahan panas pada kondensor spiral tanpa sirip dan bersirip. Variasi *pitch* yang digunakan adalah 70,00 mm, 90,00 mm, dan 110,00 mm dengan material stainless steel 304. Perancangan dilakukan menggunakan SolidWorks 2021, sedangkan analisis perpindahan panas didasarkan pada parameter geometri kondensor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin kecil nilai *pitch*, semakin besar panjang pipa dan jumlah lilitan. Pada *pitch* 70,00 mm diperoleh panjang pipa 30,97 m dan 10 lilitan, sedangkan *pitch* 110,00 mm menghasilkan panjang pipa 21,43 m dan 7 lilitan. Laju perpindahan panas kondensor bersirip lebih tinggi dibandingkan tanpa sirip pada seluruh variasi. Dengan demikian, penggunaan *pitch* kecil dan penambahan sirip meningkatkan efektivitas kondensor spiral pada destilasi minyak atsiri.

Kata Kunci : Kondensor Spiral, Sirip, Pitch Pipa, Perpindahan Panas, Minyak Atsiri.

PENDAHULUAN

Tanaman sereh merupakan tanaman yang banyak dijumpai di Indonesia, khususnya sereh dapur (*Cymbopogon citratus*) dan sereh wangi (*Cymbopogon nardus*). Sereh wangi dapat menghasilkan minyak atsiri yang sangat dihargai nilai ekonominya karena penting di berbagai industri, seperti kosmetik, parfum, aromaterapi, kesehatan, dll. Meningkatnya permintaan global akan kebutuhan minyak atsiri memberikan peluang yang signifikan bagi produsen utama seperti Indonesia untuk meningkatkan produksi mereka dan memperkuat posisi mereka di pasar ekspor internasional. Produksi minyak sereh wangi di Indonesia memiliki potensi yang menjanjikan. Proses penyulingan yang inovatif diperlukan untuk mewujudkan potensi ini sepenuhnya, kondisi tersebut banyak ditemukan pada sektor UMKM yang mengolah sereh dan bioetanol. Efisiensi termal dari sistem kondensor menjadi elemen kunci yang mempengaruhi hasil dan kualitas minyak sereh yang disuling.

Kondensor merupakan salah satu komponen utama yang menentukan keberhasilan proses kondensasi uap menjadi cairan. Kondensor bekerja dengan prinsip perpindahan panas, yaitu melepaskan kalor dari uap hasil destilasi menuju media pendingin sehingga terjadi perubahan fase dari uap menjadi cair. Efektivitas perpindahan panas dipengaruhi oleh luas permukaan perpindahan panas, koefisien konveksi, dan perbedaan temperatur fluida (Çengel & Ghajar, 2020). Desain kondensor yang mampu meningkatkan luas permukaan perpindahan panas akan menghasilkan proses kondensasi yang lebih baik. Penelitian tentang destilator berbasis panas limbah kendaraan menyimpulkan bahwa teknologi pemurnian yang hemat energi dan ramah lingkungan dapat diciptakan dengan menggunakan strategi desain yang efektif. Efisiensi bukan hanya faktor teknologi tetapi juga faktor ekonomi dan ekologi, terutama ketika mempertimbangkan negara-negara berkembang seperti Indonesia (Mahesa, 2024).

Kondensor konvensional umumnya menggunakan konfigurasi pipa lurus yang sederhana, namun desain ini memiliki efisiensi perpindahan panas yang rendah, berukuran besar, dan menyebabkan kehilangan panas yang signifikan. Kehilangan panas pada kondensor tipe ini mencapai 25-35% dari total energi penyulingan, sehingga proses berlangsung lebih lama dan konsumsi energinya meningkat. Dampak dari efisiensi termal yang rendah tidak hanya pada masalah teknis, tetapi juga dampak ekonomi (Kabeel et al., 2013). Proses penyulingan membutuhkan lebih banyak waktu dan energi, biaya produksi meningkat, yang secara signifikan dapat mengurangi margin keuntungan, terutama bagi UMKM. Penurunan efisiensi juga dapat mempengaruhi kualitas minyak, seperti konsentrasi senyawa aktif yang terdegradasi akibat pemanasan berlebih atau waktu pendinginan yang terlalu lambat.

Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan efektivitas perpindahan panas pada kondensor adalah menggunakan konfigurasi spiral atau heliks. Pipa spiral mampu meningkatkan turbulensi aliran fluida sehingga koefisien perpindahan panas menjadi lebih tinggi dibandingkan pipa lurus. Aliran sekunder (*secondary flow*) yang terbentuk pada pipa spiral menyebabkan distribusi temperatur menjadi lebih merata dan meningkatkan efektivitas perpindahan panas (Naphon & Wongwises, 2006). Inovasi kondensor spiral yang menampilkan desain berbentuk kumparan yang dirancang untuk meningkatkan luas permukaan perpindahan panas dalam ruang terbatas (Dhotre & Sathe, 2024). Penggunaan spiral dalam sistem pengering berbasis limbah panas untuk memproses rumput laut dapat menghemat 414 kWh energi sekaligus meningkatkan efisiensi pengeringan hingga 1,52% (Zuhraini et al., 2024). Hal ini menunjukkan seberapa baik geometri spiral bekerja untuk meningkatkan kinerja termal dalam berbagai aplikasi sistem pemanas. Kelemahan dari inovasi ini adalah masih menggunakan ruang yang lumayan besar.

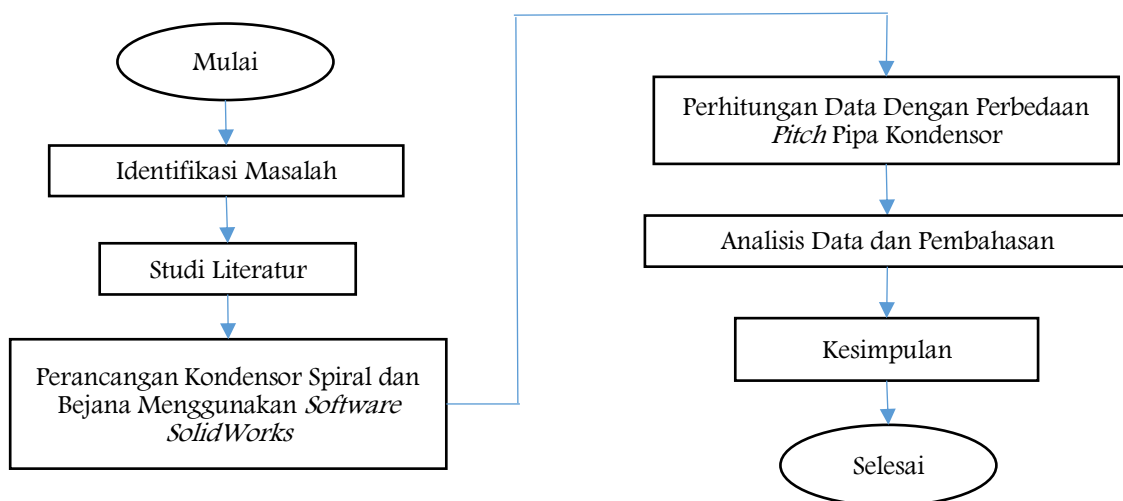
Kondensor spiral dapat meningkatkan efisiensi perpindahan panas sebanyak 40% dibandingkan dengan desain pipa lurus konvensional (Tapre & Kaware, 2015). Peningkatan kinerja disebabkan oleh bentuk spiral, yang mendorong peningkatan turbulensi fluida dan akibatnya koefisien perpindahan panas yang lebih tinggi. Inovasi tersebut dapat ditingkatkan lebih jauh melalui penambahan sirip (*fin*) pada permukaan pipa. Penambahan sirip pada kondensor

akan memperluas area perpindahan panas dan dapat mengurangi total panjang pipa sehingga kinerja perpindahan panas menjadi lebih efisien. Sirip berfungsi memperluas permukaan perpindahan panas, mempercepat penurunan temperatur, dan memperbaiki distribusi fluida pendingin (Farahani et al., 2022). Kombinasi bentuk spiral dengan sirip menjadi metode yang lebih efektif dan efisien untuk meningkatkan kinerja termal kondensor. Penelitian mengenai penggunaan sirip pada sistem perpindahan panas menunjukkan bahwa penambahan sirip pada *heat exchanger* mampu meningkatkan luas permukaan perpindahan panas dan meningkatkan efektivitas termal sistem (Suyatno et al., 2017). Penelitian tersebut menggunakan *heat exchanger* tipe umum dan belum mengaplikasikan sirip pada kondensor spiral untuk proses destilasi minyak atsiri. Diameter kumparan pipa dan bejana yang digunakan berukuran kecil sehingga menjadi kurang efektif (Suryono, 2025).

Penelitian ini menggunakan diameter kumparan pipa dan bejana diperbesar sehingga perpindahan panas dapat menjadi lebih baik dan ukuran panjang pipa dapat berkurang sehingga ruang yang dibutuhkan menjadi lebih sedikit. Tujuan dari penelitian ini adalah dapat mengetahui perbandingan ukuran panjang pipa dan jumlah lilitan terhadap variasi *pitch*, serta mengetahui perpindahan panas antara pipa kondensor spiral dan pipa kondensor spiral bersirip dengan variasi *pitch* pipa. Penelitian ini diharapkan memberikan pengetahuan ilmiah bagi pengembangan teknologi penyulingan minyak atsiri serta mendukung penelitian akademik yang relevan dengan kondensor spiral dengan penambahan sirip, terutama tentang penggunaannya di Indonesia.

METODE PENELITIAN

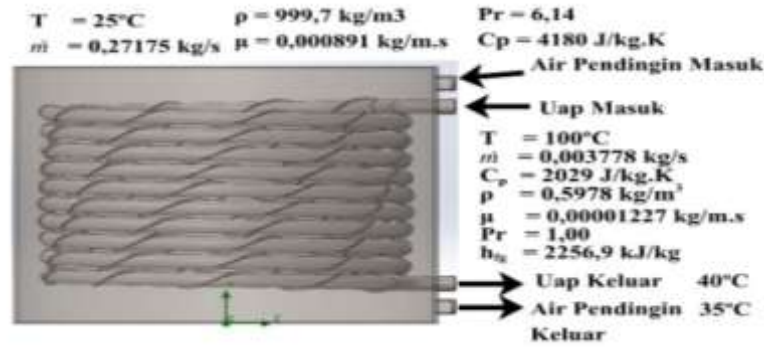
Diagram alir penelitian pada gambar 1 adalah urutan proses perancangan kondensor dan perhitungan perpindahan panas dengan perbedaan *pitch* pada pipa kondensor spiral.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Perancangan Menggunakan Software SolidWorks

Kondensor dan bejana dirancang menggunakan *software SolidWorks 2021*. *Software SolidWorks 2021* melalui proses kalibrasi dan pengaturan awal untuk memastikan bahwa dimensi serta model 3D yang dibuat telah sesuai dengan spesifikasi teknis yang ditetapkan. Persamaan yang digunakan dalam penelitian ini juga telah disesuaikan dengan kebutuhan. Langkah ini dilakukan untuk memastikan bahwa hasil desain simulasi dan perhitungan memiliki tingkat validitas dan reliabilitas yang tinggi dalam mendukung penelitian. Data awal penelitian dapat dilihat pada gambar 2. Bahan baku yang digunakan pada UMKM Asoka Farm yaitu sereh sebanyak 70kg. Perhitungan didasarkan pada parameter yang telah ditentukan, termasuk massa air, tekanan operasi, suhu, efisiensi boiler, serta nilai entalpi dari tabel properti.



Gambar 2. Data Awal Bejana dan Kondensor

Diameter bejana adalah 1200mm, tinggi bejana adalah 1000mm, diameter putaran pipa adalah 1000mm, diameter luar pipa adalah 52,8mm, diameter dalam pipa adalah 50,8mm, *pitch* sirip adalah 330mm, tebal sirip adalah 4mm, tinggi sirip adalah 10mm. Variasi *pitch* pipa adalah 70mm, 90mm, dan 110mm. Jenis bahan yang digunakan pada bejana dan kondensor adalah *stainless stell 304*.

Perhitungan pada Kondensor Tanpa Sirip

a. Laju aliran massa uap ($\dot{m}_{uap}$)

$$\dot{m}_{uap} = \frac{m}{t} \quad (1)$$

Dimana: $\dot{m}_{uap}$ = laju aliran massa uap (kg/s), m = massa (kg), dan t = waktu (s) (Çengel, 2003). Sebelum proses distilasi dimulai, sebanyak 32 kg air ditambahkan ke dalam bejana untuk memastikan ketersediaan air selama penguapan yang berlangsung selama empat jam. Menurut (Suryono, 2025), setelah proses pelayuan selama 3 hari, bahan baku sereh masih mengandung kadar air sekitar 32%, yaitu sekitar 22,4 kg dari total 70 kg bahan sereh yang digunakan. Total massa 32 kg dan 22,4 kg dijumlahkan lalu dibagi dengan waktu pelayuan dalam satuan detik sehingga didapat laju aliran massa uap sebesar 0,003778 kg/s.

b. Laju panas dari uap ($\dot{Q}_{uap}$)

$$\dot{Q}_{uap} = \dot{m}_{uap}(h_g - h_f) \quad (2)$$

Dimana: $\dot{Q}_{uap}$ = laju panas dari uap (kJ/s), $\dot{m}_{uap}$ = laju aliran massa uap (kg/s), $h_g - h_f$ = kalor laten kondensasi (kJ/kg) (Çengel, 2003). h_g dan h_f merupakan angka enthalpi penguapan dan pengambunan dari air pada suhu 100°C .

c. Total panjang pipa (L) dan jumlah lilitan pipa dalam bejana (n)

$$L_{pitch} = n \times L_1 \quad (3)$$

Dimana: L_{pitch} = total Panjang pipa spiral (m), n = jumlah lilitan, L_1 = panjang satu lilitan (m) (Çengel, 2003).

d. Kecepatan uap (v)

$$v = \frac{4\dot{m}}{\rho \pi d_i^2} \quad (4)$$

Dimana: v = kecepatan aliran fluida (m/s), $\dot{m}$ = laju aliran massa (kg/s), ρ = massa jenis fluida (kg/m^3), d_i = diameter dalam pipa (m) (Das et al., 2023; Hameed & Hamad, 2022).

e. Koefisien perpindahan panas di dalam pipa (h_i)

$$h_i = \frac{N_u \times k}{d_i} \quad (5)$$

Dimana: h_i = koefisien perpindahan panas sisi dalam ($\text{W/m}^2 \text{ K}$), N_u = bilangan *Nusselt*, k = konduktivitas termal fluida (W/m K), d_i = diameter dalam pipa (m) (Das et al., 2023; Hameed & Hamad, 2022).

f. Koefisien perpindahan panas pada luar pipa (h_o)

$$h_{0 \text{ air}} = \frac{N_u \times k}{d_h} \quad (6)$$

Dimana: h_o = koefisien perpindahan panas sisi luar (W/m² K), N_u = bilangan *Nusselt*, k = konduktivitas termal fluida (W/m K), d_h = diameter hidrolisis (m) (Das et al., 2023; Hameed & Hamad, 2022).

g. *Overall heat transfer coefficient*

$$\frac{1}{U} = \frac{A_o}{A_i h_i} + \frac{A_o \ln(d_o/d_i)}{2\pi k L} + \frac{1}{h_o} \quad (7)$$

Dimana: U = *overall heat transfer coefficient* (W/m² K), A_i = luas permukaan sisi dalam (m²), A_o = luas permukaan sisi luar (m²) (Çengel, 2003).

h. Laju perpindahan panas (Q)

$$Q_{\text{tanpa sirip per meter}} = U A \Delta T_{LMTD} \quad (8)$$

Dimana: Q = laju perpindahan panas (W), ΔT_{LMTD} = *log mean temperature difference* (°C) (Çengel, 2003).

Perhitungan Kondensor Bersirip

a. Panjang sirip total

$$L_{\text{sirip total}} = L_{\text{sirip}} \times n_{\text{sirip}} \quad (9)$$

Dimana: $L_{\text{sirip total}}$ = panjang total sirip (m), L_{sirip} = panjang satu sirip (m), n_{sirip} = jumlah sirip (Çengel & Ghajar, 2020; Holman, 2010).

b. Kalor yang di hantarkan per 1 sirip

$$Q_{1\text{ sirip}} = \eta_{\text{sirip}} h A_{\text{sirip}} (T_b - T_{\infty}) \quad (10)$$

Dimana: $Q_{1\text{ sirip}}$ = panas yang dilepas oleh 1 sirip (W), η_{sirip} = efisiensi sirip, h = koefisien perpindahan panas konveksi (W/m² K), T_b = temperatur dasar (°C), T_{∞} = temperatur fluida sekitar (°C) (Çengel & Ghajar, 2020; Holman, 2010). (Suyatno et al., 2017) dalam penelitiannya menggunakan memperoleh hasil efisiensi sirip sebesar 56,19%. Angka tersebut menjadi perbandingan sirip yang diteliti menjadi lebih efisien.

c. Luas permukaan perpindahan panas sirip

$$A_{\text{sirip}} = 2(L_1 \cdot h) + 2(L_1 \cdot t) + 2(t \cdot h) \quad (11)$$

Dimana: A_{sirip} = luas permukaan total sirip berbentuk balok (m²), L_1 = panjang sirip (m), h = tinggi sirip (m), t = tebal sirip (m) (Çengel & Ghajar, 2020).

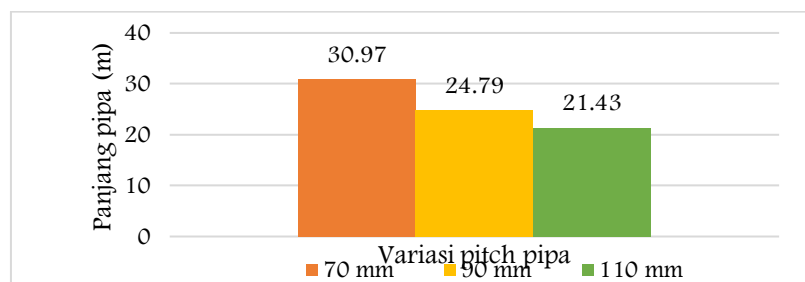
d. Total laju perpindahan panas setiap 1 meter pipa bersirip (Çengel & Ghajar, 2020; Holman, 2010).

$$Q_{\text{pipa bersirip}} = Q_{\text{tanpa sirip}} + Q_{\text{sirip per meter}} \quad (12)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

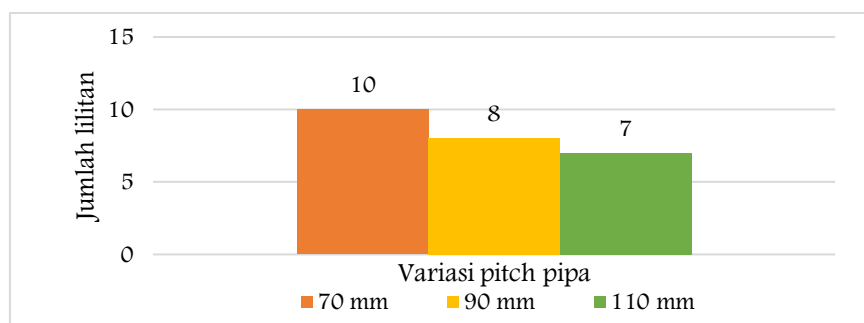
Hasil perbandingan variasi *pitch* terhadap total panjang dan lilitan pipa kondensor

Hasil perbandingan ini bertujuan untuk mengetahui seberapa jauh perbedaan total panjang dan lilitan pipa kondensor didalam bejana. Hasil perbandingan ini didapatkan dari perhitungan total panjang dan lilitan berdasarkan diameter melingkar pipa, tinggi pipa, dan *pitch* pipa.



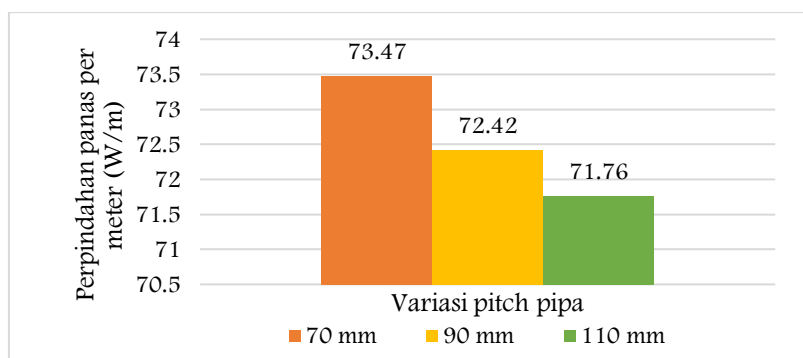
Gambar 3. Perbandingan panjang pipa terhadap pitch pipa

Gambar 3 diatas menunjukkan perbandingan total panjang pipa berdasarkan variasi *pitch* pipa kondensor. *Pitch* pipa 70,00 mm, total panjang pipa adalah 30,97 meter. *Pitch* pipa 90,00 mm, total panjang pipa berkurang menjadi 24,79 meter. *Pitch* 110.00 mm, total panjang pipa semakin berkurang menjadi 21,43 meter. Angka tersebut didapat dari perhitungan menggunakan persamaan 3. Fenomena ini terjadi karena semakin besar *pitch* maka jarak antar lilitan spiral menjadi semakin renggang. Kondisi tersebut menyebabkan jumlah putaran spiral berkurang sehingga total panjang pipa yang terbentuk juga menjadi lebih pendek. Secara geometris, *pitch* merupakan jarak aksial antar lilitan spiral, sehingga peningkatan *pitch* akan memperbesar jarak antar putaran dan mengurangi jumlah lintasan pipa dalam satu bejana. Panjang pipa yang lebih besar pada *pitch* kecil memberikan keuntungan dalam proses perpindahan panas karena luas permukaan kontak antara pipa dan fluida pendingin menjadi lebih besar. Semakin luas area perpindahan panas, maka kemampuan kondensor untuk melepaskan kalor dari uap destilasi juga meningkat. Hal ini sesuai dengan teori perpindahan panas yang menyatakan bahwa laju perpindahan panas berbanding lurus dengan luas permukaan perpindahan panas (Çengel & Ghajar, 2020).



Gambar 4. Perbandingan jumlah lilitan terhadap *pitch* pipa

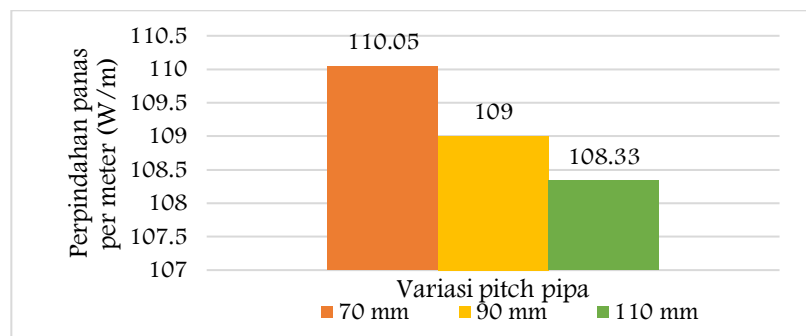
Gambar 4 menunjukkan perbedaan jumlah lilitan berdasarkan perbedaan *pitch* pipa kondensor. *Pitch* 70,00 mm didapatkan 10 lilitan, lalu berkurang menjadi 8 lilitan pada *pitch* 90,00 mm, dan 7 lilitan pada *pitch* 110,00 mm. Jumlah lilitan ini dibulatkan agar bentuk spiral tetap utuh dan minimal membentuk satu putaran penuh. Penurunan jumlah lilitan ini dipengaruhi oleh konfigurasi spiral yang semakin renggang ketika *pitch* diperbesar. Jumlah lilitan yang lebih banyak menghasilkan distribusi pipa yang lebih rapat di dalam bejana pendingin sehingga kontak termal antara pipa dan fluida pendingin menjadi lebih optimal. Jumlah lilitan yang lebih banyak dapat meningkatkan waktu kontak uap di dalam pipa kondensor sehingga proses kondensasi menjadi lebih efektif. Konfigurasi spiral dengan *pitch* kecil mampu meningkatkan turbulensi aliran fluida pendingin di sekitar pipa. Turbulensi tersebut dapat meningkatkan koefisien perpindahan panas konveksi sehingga pelepasan kalor menjadi lebih baik dibandingkan *pitch* yang lebih besar. **Hasil perbandingan pipa spiral tidak bersirip dan pipa spiral bersirip dengan variasi *pitch* pipa kondensor**



Gambar 5. Perpindahan panas kondensor tanpa sirip

Gambar 5 menunjukkan bahwa perpindahan panas pada kondensor spiral tanpa sirip mengalami penurunan seiring bertambahnya *pitch* pipa. *Pitch* 70,00 mm menunjukkan perpindahan panas sebesar 73,47 W/m, kemudian menurun menjadi 72,42 W/m pada *pitch* 90,00 mm, dan menjadi 71,76 W/m pada *pitch* 110,00 mm. Fenomena ini terjadi karena semakin besar *pitch* menyebabkan berkurangnya total panjang pipa sehingga luas permukaan perpindahan panas juga berkurang. Berkurangnya luas permukaan mengakibatkan kemampuan kondensor dalam menyerap dan melepaskan kalor dari uap menjadi lebih rendah. Selain itu, konfigurasi spiral yang lebih renggang menurunkan intensitas turbulensi fluida pendingin di sekitar pipa, sehingga koefisien perpindahan panas konveksi ikut menurun.

Penurunan yang terjadi memang tidak terlalu besar, tetapi hasil tersebut menunjukkan bahwa *pitch* tetap mempengaruhi performa termal kondensor spiral. *Pitch* yang kecil memberikan distribusi pipa yang lebih rapat dan area perpindahan panas yang lebih besar sehingga laju perpindahan panas menjadi lebih tinggi.



Gambar 6. Perpindahan panas kondensor pakai sirip

Gambar 6 menunjukkan perbandingan perpindahan panas kondensor spiral menggunakan sirip terhadap pitch pipa. Nilai perpindahan panas meningkat cukup signifikan di semua variasi pitch dibandingkan kondensor tanpa sirip. Pitch pipa 70,00 mm menunjukkan perpindahan panas yang terjadi adalah 110,05 W/m. Perpindahan panas yang terjadi pada pitch pipa 90,00 mm adalah 109,00 W/m. Perpindahan panas yang terjadi pitch pipa 110,00 mm adalah 108,33 W/m. Peningkatan perpindahan panas ini menunjukkan bahwa penambahan sirip dapat memperbesar luas permukaan perpindahan panas tanpa harus menambah panjang pipa secara signifikan. Sirip bekerja sebagai extended surface yang membantu mempercepat pelepasan kalor dari permukaan pipa menuju fluida pendingin. Semakin besar luas area kontak antara sirip dan fluida pendingin, maka laju perpindahan panas konveksi juga semakin meningkat.

Nilai perpindahan panas pada kondensor bersirip tetap mengalami penurunan saat pitch diperbesar, tetapi hasilnya masih lebih tinggi dibandingkan kondensor tanpa sirip pada semua variasi pitch. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan sirip mampu mengkompensasi penurunan luas permukaan akibat berkurangnya panjang pipa. Penggunaan material stainless steel 304 pada penelitian ini juga mempengaruhi hasil perpindahan panas yang diperoleh. Material tersebut memiliki konduktivitas termal sekitar 16,2 W/m·K pada suhu 100°C, sehingga kemampuan penghantaran panasnya masih lebih rendah dibandingkan material lain. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi pitch kecil dan penambahan sirip memberikan performa paling optimal pada kondensor spiral untuk proses destilasi minyak atsiri. Pitch 70 mm menghasilkan panjang pipa dan jumlah lilitan terbesar serta nilai perpindahan panas tertinggi, baik pada kondensor tanpa sirip maupun bersirip. Dengan demikian, konfigurasi tersebut dapat direkomendasikan sebagai desain yang lebih optimal untuk meningkatkan efisiensi proses kondensasi pada sistem destilasi minyak atsiri.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, variasi pitch dapat memberikan pengaruh terhadap panjang total pipa, jumlah lilitan, dan kinerja perpindahan panas pada kondensor spiral. Semakin kecil nilai pitch, maka panjang pipa yang dihasilkan semakin besar

dan jumlah lilitan juga semakin banyak. Pitch 70 mm diperoleh panjang pipa terbesar yaitu 30,97 m dengan 10 lilitan, sedangkan pada pitch 90 mm panjang pipa menurun menjadi 24,79 m dengan 8 lilitan, dan pada pitch 110 mm menjadi 21,43 m dengan 7 lilitan. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan pitch menyebabkan konfigurasi spiral menjadi lebih renggang sehingga jumlah putaran dan panjang pipa berkurang. Berdasarkan sisi perpindahan panas, peningkatan pitch menyebabkan nilai perpindahan panas cenderung menurun, baik pada kondensor tanpa sirip maupun kondensor bersirip. Nilai perpindahan panas pada kondensor tanpa sirip dari 73,47 W/m pada pitch 70 mm menjadi 72,42 W/m pada pitch 90 mm, dan 71,76 W/m pada pitch 110 mm. Tren yang sama juga terjadi pada kondensor bersirip, di mana nilai perpindahan panas pada pitch 70 mm sebesar 110,05 W/m, kemudian sedikit menurun menjadi 109 W/m pada pitch 90 mm, dan 108,33 W/m pada pitch 110 mm. Penurunan ini dipengaruhi oleh berkurangnya luas permukaan pipa.

Penambahan sirip terbukti mampu meningkatkan performa perpindahan panas secara signifikan dibandingkan kondensor spiral konvensional. Sirip berfungsi memperbesar luas permukaan perpindahan panas sehingga laju pelepasan kalor menjadi lebih tinggi tanpa harus menambah panjang pipa secara besar-besaran. Dengan demikian, penggunaan pitch kecil dan penambahan sirip dapat direkomendasikan sebagai desain yang lebih efektif untuk meningkatkan efisiensi kondensor pada proses destilasi minyak atsiri. Angka perpindahan panas pada penelitian ini didapat tidak terlalu besar karena menggunakan material stainless steel 304, dimana hanya memiliki konduktivitas termal sebesar 16,2 W/m K pada suhu 100°C. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat mencari material yang lebih baik dalam menghantarkan panas agar kinerja perpindahan panas dapat lebih optimal. Bentuk, ketebalan, dan variasi pitch lainnya juga masih dapat dikembangkan pada penelitian berikutnya. Penelitian ini diharapkan dapat dijadikan sebagai dasar bagi pengembangan studi lanjutan yang lebih komprehensif, khususnya dalam upaya optimalisasi desain serta implementasi alat kondensor spiral guna mendukung peningkatan kinerja UMKM di Indonesia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberi dukungan baik moril maupun materil sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Çengel, Y. A. (2003). *Heat Transfer: A Practical Approach* (2nd ed.). McGraw-Hill Companies, Inc.
- Çengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2020). *Heat and Mass Transfer: Fundamentals & Applications* (6th ed). McGraw-Hill Education.
- Das, S. K., Susmoy, K. H., Bappy, A. D., Arthy, J. T., & Hossain. Md Sarwar. (2023). *Shell and Helical Coil Tube Heat Exchanger (SHCTHX)*. <https://doi.org/https://doi.org/10.13140/RG.2.2.18782.45128>
- Dhotre, & Sathe, V. (2024). A simulation-guided tri-spiral condenser design for enhancing lemongrass essential oil recovery. *Journal of Food Process Engineering*, 47(3).
- Farahani, S. D., Farahani, M., & Ghanbari, D. (2022). Experimental study of the effect of spiral-star fins and nano-oil-refrigerant mixture on refrigeration cycle characteristics. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 147(11), 6469–6480. <https://doi.org/10.1007/s10973-021-10921-0>
- Hameed, V. M., & Hamad, F. J. (2022). Implementation of novel triangular fins at a helical coil heat exchanger. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, 172. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2021.108745>
- Holman, J. P. (2010). *Heat Transfer* (10th ed.). McGraw-Hill.
- Kabeel, A. E., Hamed, M. H., Omara, Z. M., & Sharshir, S. W. (2013). Water Desalination Using a Humidification-Dehumidification Technique—A Detailed Review. *Natural Resources*, 04(03), 286–305. <https://doi.org/10.4236/nr.2013.43036>

- Mahesa, H. (2024). Simulasi Pengaruh Panjang Pipa Terhadap Efektifitas Destilator Dengan Memanfaatkan Energi Panas Gas Buang Mesin. *Universitas Hasanuddin Repository*. <https://repository.unhas.ac.id/id/eprint/41115/>
- Naphon, P., & Wongwises, S. (2006). A review of flow and heat transfer characteristics in curved tubes. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 10, Number 5, pp. 463–490). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2004.09.014>
- Suryono, A. (2025). *Desain Kondensor Destilasi Spiral Dengan Penambahan Sirip*. Universitas Negeri Semarang.
- Suyatno, Riupassa, H., & Bayani, A. J. (2017). Analisis perpindahan panas pada heat exchanger tipe T147D menggunakan sirip duri bentuk kerucut. *Jurnal Teknik Mesin*, Vol. 6, 63–75.
- Tapre, R. W., & Kaware, J. P. (2015). Review on Heat Transfer in Spiral Heat Exchanger. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 5(6). www.ijsrp.org
- Zuhraeni, N., Titahelu, N., & Latuny, J. (2024). ANALISIS EFEKTIVITAS PENDINGIN KONVEKTIF LIMBAH PANAS RUMPUT LAUT DENGAN HEAT INPUT BERBEDA. *Journal Teknik Mesin, Elektro, Informatika, Kelautan Dan Sains*, 4(1), 31–46. <https://doi.org/10.30598/metiks.2024.4.1.31-46>