



PERFORMANCE ANALYSIS OF A SPIRAL COIL CONDENSER USING COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)-BASED NUMERICAL SIMULATION IN A SYNTHETIC FUEL PRODUCTION FACILITY

Emilia Ansory¹, Dori Yuvenda^{1*}, Arwizet K¹, Andre Kurniawan¹

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Negeri Padang, INDONESIA

*Corresponding author: emiliaansory562003@gmail.com

Abstract

The energy crisis and increasing plastic waste have encouraged the development of thermochemical conversion technologies through pyrolysis. The pyrolysis process produces hydrocarbon vapor that must be condensed into liquid fuel, making condenser performance an important factor in determining the effectiveness of the condensation process. This study aims to analyze the effect of spiral coil diameter variation with a constant number of turns on condenser performance and to determine the most optimal configuration. A numerical method based on Computational Fluid Dynamics (CFD) was employed using ANSYS Fluent. The condenser was modeled in a shell-and-spiral-coil configuration with diameter variations of 10 cm, 20 cm, and 30 cm, while the number of turns was kept constant at 10. The simulations were performed under a counter-flow configuration using pyrolysis vapor as the hot fluid and water as the cooling fluid. The analyzed performance parameters included temperature distribution, heat transfer rate, overall heat transfer coefficient, Number of Transfer Units (NTU), and condenser effectiveness. The simulation results show that increasing the spiral coil diameter reduced the pyrolysis vapor outlet temperature from 24.376 °C at a diameter of 10 cm to 22.107 °C at 20 cm and 21.902 °C at 30 cm. The heat transfer rate increased from 197.144 W to 208.155 W and 209.150 W, while the NTU increased from 2.792 to 4.682 and 5.385. Condenser effectiveness also increased from 93.82% to 99.06% and 99.53%. The overall heat transfer coefficient decreased from 74.17 W/m²·K to 51.88 W/m²·K as the spiral coil diameter increased. Based on the overall performance parameters, the 30 cm diameter with 10 turns provided the most optimal configuration under the simulated conditions. These results provide a technical basis for the development of spiral-coil condenser designs for plastic waste pyrolysis systems.

Keywords: Spiral-coil condenser; pyrolysis; Computational Fluid Dynamics; heat transfer; condenser effectiveness.

Abstrak

Krisis energi dan peningkatan jumlah limbah plastik mendorong pengembangan teknologi konversi termokimia melalui proses pirolisis. Proses tersebut menghasilkan uap hidrokarbon yang perlu dikondensasikan menjadi bahan bakar cair, sehingga kinerja kondensor menjadi salah satu faktor penting dalam menentukan keberhasilan proses kondensasi. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi diameter *spiral coil* dengan jumlah lilitan tetap terhadap kinerja kondensor serta menentukan konfigurasi yang paling optimal. Penelitian dilakukan menggunakan metode numerik berbasis *Computational Fluid*

Article History

Received: Agustus 2026

Reviewed: Agustus 2026

Published: Agustus 2026

Plagiarism Checker

No 237.u873247.fh8374

Copyright : Author

Publish by : Kohesi



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



Dynamics (CFD) dengan perangkat lunak ANSYS Fluent. Kondensor dimodelkan dalam konfigurasi *shell and spiral coil* dengan variasi diameter 10 cm, 20 cm, dan 30 cm, sedangkan jumlah lilitan dipertahankan sebanyak 10 lilitan. Simulasi dilakukan menggunakan konfigurasi aliran *counter flow* dengan uap hasil pirolisis sebagai fluida panas dan air sebagai fluida pendingin. Parameter kinerja yang dianalisis meliputi distribusi temperatur, laju perpindahan panas, koefisien perpindahan panas menyeluruh, *Number of Transfer Units* (NTU), dan efektivitas kondensor. Hasil simulasi menunjukkan bahwa peningkatan diameter *spiral coil* menurunkan temperatur *outlet* uap dari 24,376 °C pada diameter 10 cm menjadi 22,107 °C pada diameter 20 cm dan 21,902 °C pada diameter 30 cm. Laju perpindahan panas meningkat dari 197,144 W menjadi 208,155 W dan 209,150 W, sedangkan nilai NTU meningkat dari 2,792 menjadi 4,682 dan 5,385. Efektivitas kondensor juga meningkat dari 93,82% menjadi 99,06% dan 99,53%. Nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh menurun dari 74,17 W/m²·K menjadi 51,88 W/m²·K seiring peningkatan diameter. Berdasarkan keseluruhan parameter kinerja, diameter 30 cm dengan 10 lilitan memberikan konfigurasi paling optimal pada kondisi simulasi penelitian. Hasil penelitian ini memberikan dasar teknis dalam pengembangan desain kondensor *spiral coil* untuk sistem pirolisis limbah plastik.

Kata kunci: Kondensor *spiral coil*; pirolisis; *Computational Fluid Dynamics*; perpindahan panas; efektivitas kondensor.

I. PENDAHULUAN

Krisis energi dan permasalahan lingkungan mendorong pengembangan teknologi konversi energi yang lebih berkelanjutan. *International Energy Agency* (IEA, 2024) mencatat bahwa emisi karbon dioksida sektor energi mencapai 37,4 miliar ton CO₂ pada tahun 2023. Indonesia juga menghadapi permasalahan limbah plastik yang terus meningkat. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK, 2024) melaporkan bahwa timbulan sampah mencapai sekitar 38,59 juta ton per tahun dengan proporsi plastik sebesar 19,46%. Meskipun memiliki karakteristik yang sulit terurai, limbah plastik mengandung senyawa hidrokarbon yang berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif (Novarini et al., 2021). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah plastik sebagai sumber energi alternatif dapat menjadi salah satu pendekatan dalam mengatasi permasalahan lingkungan sekaligus mendukung pengembangan energi yang lebih berkelanjutan.

Pirolisis merupakan salah satu teknologi konversi termokimia yang dapat digunakan untuk mengolah limbah plastik menjadi bahan bakar melalui proses dekomposisi termal tanpa kehadiran oksigen (Megaprastio et al., 2023). Proses pirolisis menghasilkan produk berupa gas, fraksi cair, dan residu padat yang memiliki karakteristik dan potensi pemanfaatan berbeda (Damayanti et al., 2023). Fraksi cair hasil pirolisis diperoleh melalui proses kondensasi uap hidrokarbon yang terbentuk selama proses pemanasan. Tahap kondensasi menjadi bagian penting dalam sistem pirolisis karena berperan dalam mengubah uap hidrokarbon menjadi produk cair yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar. Penerapan teknologi pirolisis pada limbah plastik juga telah dikaji sebagai salah satu alternatif dalam pengelolaan sampah dan konversi limbah menjadi bahan bakar (Rahman et al., 2025).



Kinerja kondensor menjadi salah satu faktor penting yang menentukan keberhasilan proses kondensasi pada sistem pirolisis. Proses perpindahan panas pada kondensor dipengaruhi oleh kondisi operasi, karakteristik fluida, luas permukaan perpindahan panas, serta konfigurasi geometris kondensor (Karo et al., 2023). Kondisi sistem kondensasi juga dapat memengaruhi jumlah minyak yang diperoleh dari proses pirolisis plastik (Santhiarsa, 2022). Perubahan konfigurasi geometris berupa jumlah lilitan pipa kondensor dapat memberikan pengaruh terhadap kuantitas minyak dan efektivitas proses kondensasi (Yasa & Siregar, 2023). Pengembangan desain kondensor yang mampu meningkatkan kemampuan perpindahan panas menjadi salah satu aspek penting dalam meningkatkan kinerja sistem pirolisis.

Salah satu konfigurasi kondensor yang berpotensi meningkatkan kemampuan perpindahan panas adalah kondensor *spiral coil*. Bentuk spiral menghasilkan lintasan aliran yang melengkung dan memungkinkan terjadinya aliran sekunder di dalam saluran. Aliran sekunder tersebut dapat meningkatkan pencampuran fluida dan memengaruhi karakteristik perpindahan panas pada pipa spiral. Kelengkungan saluran pada *spiral coil* dapat menghasilkan *Dean vortices* yang berpengaruh terhadap karakteristik perpindahan panas (Singh et al., 2019). Perubahan *Dean number* akibat kondisi aliran dan geometri *helical coil* juga dapat memengaruhi karakteristik perpindahan panas (Nashine et al., 2020). Karakteristik geometris *helical coil* merupakan salah satu faktor yang memengaruhi proses perpindahan panas (Inyang & Uwa, 2022). Konfigurasi *spiral coil* memiliki potensi untuk digunakan sebagai sistem kondensasi pada proses pirolisis limbah plastik.

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa parameter geometri berpengaruh terhadap kinerja kondensor *spiral coil*. Yasa dan Siregar (2023) meneliti pengaruh jumlah lilitan pipa kondensor dengan variasi 5, 7, dan 10 lilitan. Konfigurasi 10 lilitan menghasilkan kuantitas minyak dan efektivitas kondensasi yang lebih tinggi dibandingkan konfigurasi dengan jumlah lilitan yang lebih sedikit (Yasa & Siregar, 2023). Peningkatan jumlah lilitan dapat meningkatkan luas permukaan perpindahan panas dan memperpanjang lintasan aliran di dalam kondensor.

Parameter diameter spiral juga telah diteliti oleh Sadewo dan Siregar (2023) dengan variasi diameter 20 cm, 30 cm, dan 40 cm. Hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan kinerja kondensor pada setiap variasi diameter (Sadewo & Siregar, 2023). Penggunaan panjang total pipa yang tetap menyebabkan perubahan diameter diikuti oleh perubahan jumlah lilitan. Kondisi tersebut menyebabkan pengaruh diameter belum dapat diamati secara sepenuhnya terpisah dari pengaruh jumlah lilitan dan panjang lintasan aliran. Penelitian dengan jumlah lilitan yang dipertahankan tetap diperlukan agar pengaruh diameter *spiral coil* dapat dianalisis secara lebih terarah.

Pendekatan numerik berbasis *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dapat digunakan untuk menganalisis karakteristik aliran dan perpindahan panas pada geometri yang kompleks. CFD memungkinkan distribusi temperatur dan karakteristik perpindahan panas diamati secara numerik. Pendekatan numerik telah digunakan untuk menganalisis karakteristik perpindahan panas pada berbagai konfigurasi penukar kalor dan sistem pemanfaatan panas hasil pirolisis (Maksum et al., 2024). Metode CFD juga dapat digunakan untuk mengevaluasi pengaruh kondisi aliran dan *Dean number* terhadap karakteristik perpindahan panas pada *helical coil* (Nashine et



al., 2020). Penggunaan CFD memberikan informasi mengenai respons termal kondensor terhadap perubahan geometri yang sulit diperoleh hanya melalui pengamatan eksperimental.

Berdasarkan penelitian terdahulu, masih terdapat ruang penelitian mengenai pengaruh diameter *spiral coil* dengan jumlah lilitan yang dipertahankan tetap. Penelitian Sadewo dan Siregar (2023) menunjukkan adanya pengaruh diameter terhadap kinerja kondensor, tetapi perubahan diameter pada penelitian tersebut disertai perubahan jumlah lilitan. Penelitian Yasa dan Siregar (2023) menunjukkan bahwa jumlah lilitan juga merupakan parameter yang memengaruhi kinerja kondensasi. Pemisahan kedua parameter tersebut diperlukan agar pengaruh diameter dapat dianalisis secara lebih objektif. Pendekatan CFD dipilih untuk memberikan informasi mengenai distribusi temperatur dan karakteristik perpindahan panas pada kondensor dengan geometri spiral.

Penelitian ini menganalisis pengaruh variasi diameter *spiral coil* sebesar 10 cm, 20 cm, dan 30 cm dengan jumlah lilitan tetap sebanyak 10 lilitan menggunakan simulasi CFD pada ANSYS Fluent. Kondensor menggunakan konfigurasi *shell and spiral coil* dengan uap hasil pirolisis sebagai fluida panas dan air sebagai fluida pendingin. Parameter yang dianalisis meliputi distribusi temperatur, laju perpindahan panas, koefisien perpindahan panas menyeluruh, *Number of Transfer Units* (NTU), dan efektivitas kondensasi. Penelitian ini bertujuan menentukan pengaruh diameter *spiral coil* dengan jumlah lilitan tetap terhadap kinerja kondensasi serta memperoleh konfigurasi diameter yang paling optimal untuk pengembangan sistem kondensasi pada proses pirolisis limbah plastik.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian numerik berbasis simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) yang bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi diameter *spiral coil* terhadap karakteristik perpindahan panas dan kinerja kondensor pada sistem pirolisis limbah plastik. Metode ini dipilih karena mampu menggambarkan distribusi temperatur dan proses perpindahan panas secara numerik sehingga pengaruh perubahan geometri kondensor dapat dianalisis tanpa melakukan pengujian eksperimental secara langsung.

Proses simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak ANSYS Fluent dengan model geometri kondensor *shell and spiral coil* yang dirancang menggunakan SolidWorks. Variasi diameter *spiral coil* yang digunakan adalah 10 cm, 20 cm, dan 30 cm dengan jumlah lilitan tetap sebanyak 10 lilitan. Pipa *spiral coil* menggunakan material *stainless steel*, dengan diameter nominal 3/4 inci, ketebalan dinding 1 mm, dan *pitch* 50 mm. Parameter yang dianalisis meliputi distribusi temperatur, laju perpindahan panas, koefisien perpindahan panas menyeluruh (*overall heat transfer coefficient*), *Number of Transfer Units* (NTU), dan efektivitas kondensor.

Simulasi dilakukan dengan membentuk domain fluida pada *spiral coil* dan *shell*, kemudian melakukan *meshing* dan evaluasi kualitas *mesh* berdasarkan nilai *skewness* dan *orthogonal quality*. *Grid independence test* dilakukan untuk memastikan hasil simulasi tidak

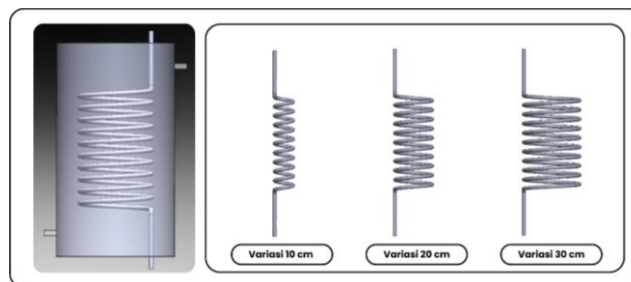
dipengaruhi oleh jumlah elemen. Model turbulensi yang digunakan adalah $k-\omega$ SST dengan pendekatan *Reynolds-Averaged Navier-Stokes* (RANS).

Kondisi batas ditetapkan pada *inlet*, *outlet*, dan dinding. Uap hasil pirolisis digunakan sebagai fluida panas dengan laju aliran massa 0,0028989754 kg/s dan temperatur masuk 65 °C, sedangkan air digunakan sebagai fluida pendingin dengan laju aliran massa 0,2827 kg/s dan temperatur masuk 21,7 °C. Kedua *outlet* menggunakan kondisi *pressure outlet* dengan *gauge pressure* 0 Pa, sedangkan permukaan dinding menggunakan kondisi *no-slip wall*. Simulasi dilakukan pada kondisi tunak (*steady-state*) dengan konfigurasi aliran *counter flow*.

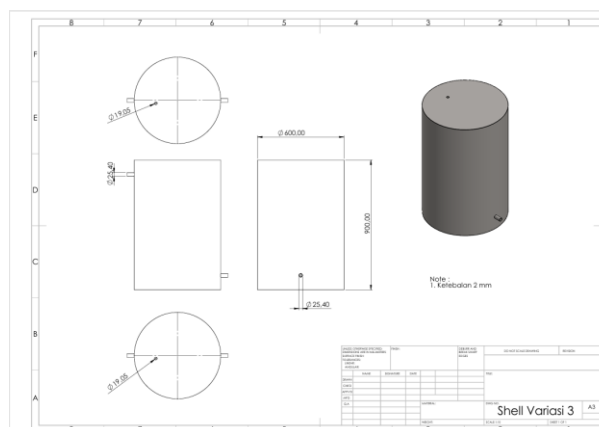
Hasil simulasi kemudian dibandingkan pada setiap variasi diameter untuk mengetahui pengaruh geometri *spiral coil* terhadap distribusi temperatur, perpindahan panas, dan kinerja kondensor serta menentukan diameter yang menghasilkan efektivitas kondensasi paling optimal.

1. Desain 3D Kondensor Spiral Coil pada Software Solidworks

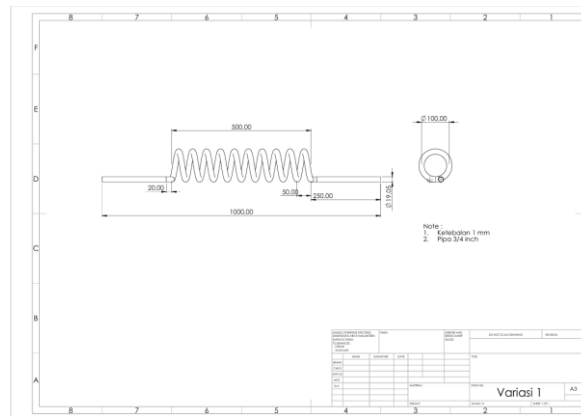
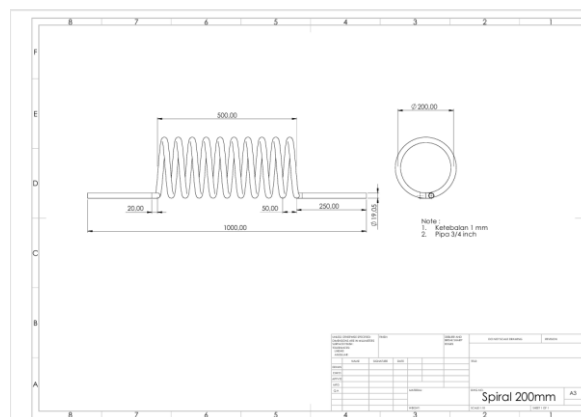
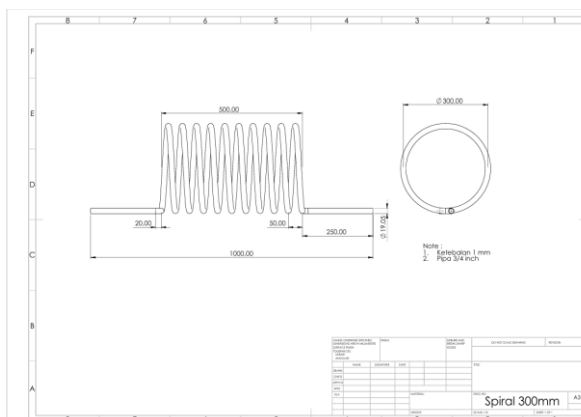
Desain tiga dimensi kondensor *shell and spiral coil* dibuat menggunakan perangkat lunak SolidWorks. Model terdiri atas pipa *spiral coil* sebagai jalur fluida panas dan *shell* sebagai ruang fluida pendingin. Geometri *spiral coil* dibuat dengan variasi diameter 10 cm, 20 cm, dan 30 cm, sedangkan jumlah lilitan dipertahankan sebanyak 10 lilitan dengan *pitch* 50 mm. Pipa *spiral coil* menggunakan ukuran nominal 3/4 inci dengan ketebalan dinding 1 mm.



Gambar 1. Variasi geometri *spiral coil* dengan diameter 10 cm, 20 cm, dan 30 cm.



Gambar 2. *Shell Kondensor*

Gambar 3. *Spiral coil* dengan diameter 10 cmGambar 4. *Spiral coil* dengan diameter 20 cmGambar 5. *Spiral coil* dengan diameter 30 cm

Setiap variasi diameter dibuat dengan parameter geometrik lainnya tetap sehingga pengaruh perubahan diameter dapat dibandingkan secara langsung. Hasil pemodelan tiga dimensi selanjutnya digunakan sebagai geometri awal untuk proses simulasi CFD pada ANSYS Fluent.

2. Simulasi Kondensor *Spiral Coil* pada Software ANSYS

Simulasi kondensor *spiral coil* dilakukan menggunakan perangkat lunak ANSYS Fluent dengan geometri yang telah dibuat pada SolidWorks. Domain fluida didefinisikan pada bagian dalam *spiral coil* sebagai jalur fluida panas dan pada sisi *shell* sebagai jalur fluida pendingin, kemudian dilakukan *meshing* dan evaluasi kualitas *mesh* berdasarkan nilai *skewness* dan *orthogonal quality*. Kondisi batas yang digunakan meliputi *mass flow inlet* pada uap hasil

pirolisis sebesar $0,0028989754 \text{ kg/s}$ dengan temperatur 65°C dan air pendingin sebesar $0,2827 \text{ kg/s}$ dengan temperatur $21,7^\circ\text{C}$, sedangkan *outlet* menggunakan *pressure outlet* dengan *gauge pressure* 0 Pa dan dinding menggunakan kondisi *no-slip wall*. Simulasi dilakukan pada kondisi tunak (*steady-state*) dengan konfigurasi aliran *counter flow* dan model turbulensi *k- ω SST*. Hasil simulasi digunakan untuk memperoleh distribusi temperatur, laju perpindahan panas, koefisien perpindahan panas menyeluruh (*overall heat transfer coefficient*), *Number of Transfer Units* (NTU), dan efektivitas kondensor pada masing-masing variasi diameter *spiral coil*.

Tabel 1. *Boundary Conditions*

No	Nama	Tipe	Keterangan
<i>Boundary</i>			
1	Inlet Uap	<i>Mass Flow Rate</i>	$0,0028989754 \text{ kg/s}$
2	Inlet Air	<i>Mass Flow Rate</i>	$0,2827 \text{ kg/s}$
3	Inlet Uap	<i>Temperature</i>	$T_{h1} = 65^\circ\text{C}$
4	Inlet Air	<i>Temperature</i>	$T_{c1} = 21,7^\circ\text{C}$
5	Outlet Air	<i>Pressure Outlet</i>	<i>Gauge Pressure</i> = 0 Pa
6	Outlet Uap	<i>Pressure Outlet</i>	<i>Gauge Pressure</i> = 0 Pa
7	<i>Body Shell</i>	<i>Wall</i>	<i>No-Slip wall</i>
8	<i>Body Spiral coil</i>	<i>Wall</i>	<i>No-Slip wall</i>

III. HASIL PENELITIAN

Pada penelitian tugas akhir ini, peneliti melakukan analisis terhadap kinerja kondensor tipe *spiral coil* pada sistem pirolisis limbah plastik dengan memvariasikan diameter *spiral coil* sebesar 10 cm , 20 cm , dan 30 cm . Analisis dilakukan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dengan perangkat lunak ANSYS Fluent untuk mengevaluasi pengaruh variasi diameter *spiral coil* terhadap kinerja perpindahan panas kondensor. Hasil simulasi yang diperoleh berupa distribusi temperatur serta temperatur fluida pada sisi masuk dan keluar kondensor. Data tersebut selanjutnya digunakan untuk menganalisis laju perpindahan panas, koefisien perpindahan panas menyeluruh (*overall heat transfer coefficient*), *Number of Transfer Units* (NTU), dan efektivitas kondensor. Pembahasan dilakukan secara komparatif pada setiap variasi diameter *spiral coil* untuk menentukan konfigurasi yang memberikan kinerja kondensor paling optimal.

Tabel 2. Hasil Simulasi Variasi Diameter *Spiral Coil*

NO	Variasi Diameter	Laju Masa Aliran (kg/s)		Suhu (°C)				Efektivitas (%)
	<i>Spiral Coil</i>	Inlet Uap	Inlet Air	Inlet Uap	Outlet Uap	Inlet Air	Outlet Air	
1	10 cm	0,0028989754	0,2827	65	24,376	21,7	21,867	93,82
2	20 cm	0,0028989754	0,2827	65	22,107	21,7	21,876	99,06
3	30 cm	0,0028989754	0,2827	65	21,902	21,7	21,876	99,53

Tabel 3. Laju Perpindahan Panas

No	Variasi Diameter <i>Spiral Coil</i>	Laju Perpindahan Panas (Watt)
1	10 cm	197,14359
2	20 cm	208,155
3	30 cm	209,15

Tabel 4. koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh

No	Variasi Diameter <i>Spiral Coil</i>	Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh ($W/m^2.K$)
1	10 cm	74,17
2	20 cm	66,23
3	30 cm	51,88

Tabel 5. NTU (*Number of Transfer Units*)

No	Variasi Diameter <i>Spiral Coil</i>	NTU (<i>Number of Transfer Unit</i>)
1	10 cm	2,79239
2	20 cm	4,682
3	30 cm	5,385

Tabel 6. Efektivitas Kondensor

No	Variasi Diameter <i>Spiral Coil</i>	Efektivitas Kondensor (%)
1	10 cm	93,82
2	20 cm	99,06
3	30 cm	99,5336



IV. PEMBAHASAN

1. Analisis Kinerja Kondensor

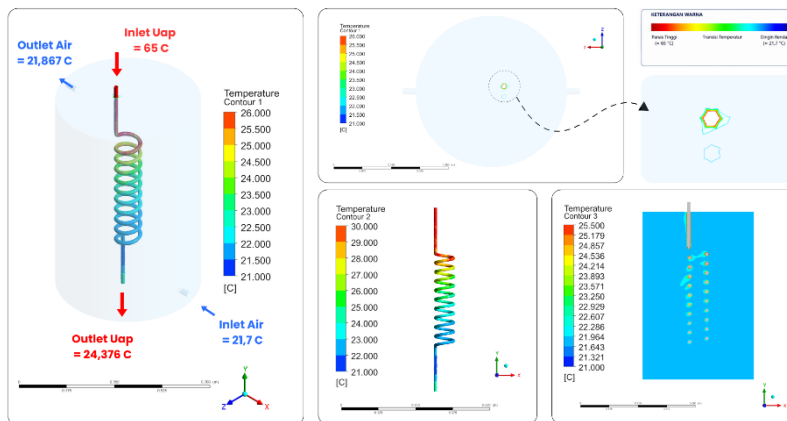
Berdasarkan hasil simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) menggunakan ANSYS Fluent, variasi diameter *spiral coil* 10 cm, 20 cm, dan 30 cm menghasilkan perbedaan kinerja perpindahan panas kondensor. Temperatur *inlet* uap dipertahankan sebesar 65 °C, sedangkan temperatur *outlet* uap berturut-turut sebesar 24,376 °C, 22,107 °C, dan 21,902 °C. Penurunan temperatur uap masing-masing sebesar 40,624 °C, 42,893 °C, dan 43,098 °C menunjukkan bahwa peningkatan diameter *spiral coil* meningkatkan kemampuan pendinginan uap. Kondisi tersebut berkaitan dengan bertambahnya luas permukaan perpindahan panas pada jumlah lilitan yang tetap.

Peningkatan kemampuan pendinginan tersebut diikuti oleh kenaikan laju perpindahan panas dari 197,144 W pada diameter 10 cm menjadi 208,155 W pada diameter 20 cm dan 209,150 W pada diameter 30 cm. Kenaikan terbesar terjadi dari diameter 10 cm ke 20 cm, sedangkan dari 20 cm ke 30 cm hanya sebesar 0,995 W. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan diameter tetap meningkatkan perpindahan panas total, tetapi tambahan kinerja semakin kecil pada diameter yang lebih besar.

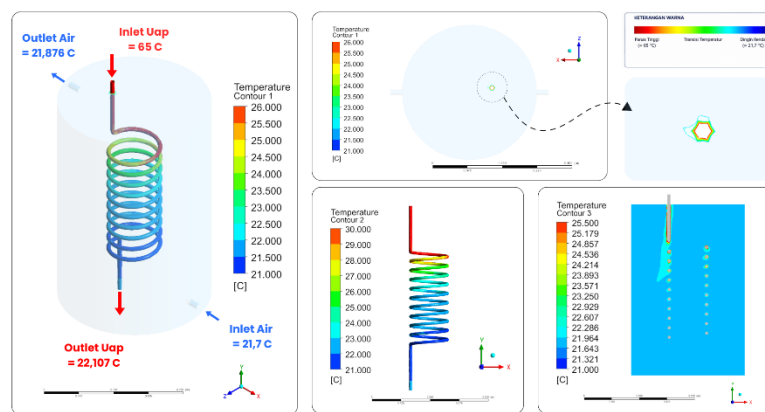
Berbeda dengan laju perpindahan panas, koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) mengalami penurunan dari 74,17 W/m²·K pada diameter 10 cm menjadi 66,23 W/m²·K pada diameter 20 cm dan 51,88 W/m²·K pada diameter 30 cm. Penurunan tersebut terjadi bersamaan dengan peningkatan luas permukaan perpindahan panas dan penurunan LMTD. Kondisi ini menunjukkan bahwa kemampuan perpindahan panas per satuan luas menurun, tetapi perpindahan panas total tetap meningkat karena luas permukaan yang lebih besar.

Nilai NTU meningkat dari 2,792 pada diameter 10 cm menjadi 4,682 pada diameter 20 cm dan 5,385 pada diameter 30 cm. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa kemampuan perpindahan panas keseluruhan kondensor semakin besar. Meskipun nilai U menurun, peningkatan luas permukaan menyebabkan nilai hasil kali U dan A tetap meningkat sehingga NTU juga meningkat.

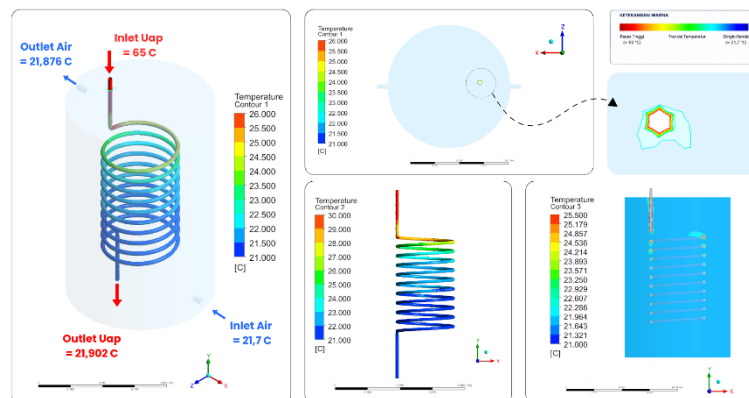
Efektivitas kondensor juga meningkat dari 93,82% pada diameter 10 cm menjadi 99,06% pada diameter 20 cm dan 99,53% pada diameter 30 cm. Peningkatan tersebut berkaitan dengan kenaikan laju perpindahan panas aktual, sedangkan laju perpindahan panas maksimum tetap sebesar 210,13 W. Dengan demikian, diameter yang lebih besar memberikan kemampuan yang lebih tinggi dalam memanfaatkan potensi perpindahan panas yang tersedia.



Gambar 6. Distribusi temperatur hasil simulasi pada diameter spiral coil 10 cm



Gambar 7. Distribusi temperatur hasil simulasi pada diameter spiral coil 20 cm



Gambar 8. Distribusi temperatur hasil simulasi pada diameter spiral coil 30 cm

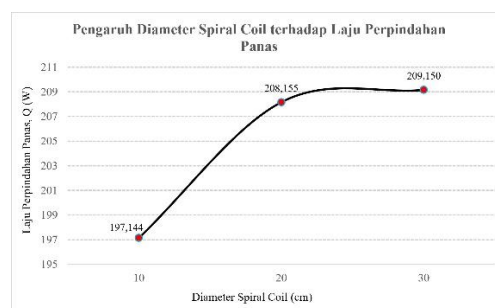
2. Analisis Pengaruh Diameter *Spiral Coil* terhadap Kinerja Kondensor

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan diameter *spiral coil* dengan jumlah lilitan tetap memberikan pengaruh terhadap kinerja termal kondensor. Diameter yang lebih besar meningkatkan luas permukaan perpindahan panas sehingga mampu menghasilkan penurunan temperatur uap dan laju perpindahan panas yang lebih tinggi. Kondisi tersebut tercermin dari peningkatan Q , NTU, dan efektivitas kondensor pada setiap kenaikan diameter. Hasil ini juga sejalan dengan kajian penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa parameter geometri,

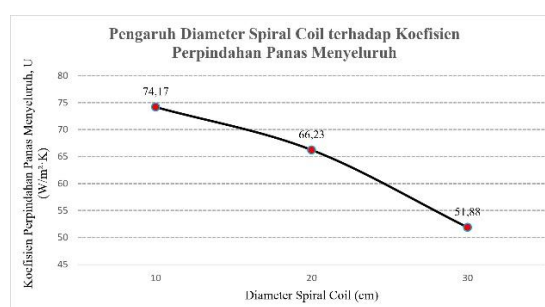
termasuk diameter *coil*, memengaruhi karakteristik perpindahan panas pada *helical coil heat exchanger*.

Peningkatan kinerja tidak berlangsung secara proporsional. Kenaikan efektivitas dari diameter 10 cm ke 20 cm mencapai 5,24 poin persentase, sedangkan dari 20 cm ke 30 cm hanya 0,47 poin persentase. Kecenderungan serupa terlihat pada laju perpindahan panas, yaitu peningkatan 11,011 W dari 10 cm ke 20 cm dan hanya 0,995 W dari 20 cm ke 30 cm. Hal tersebut menunjukkan adanya kecenderungan *diminishing return*, yaitu tambahan diameter pada ukuran yang lebih besar memberikan peningkatan kinerja yang semakin kecil.

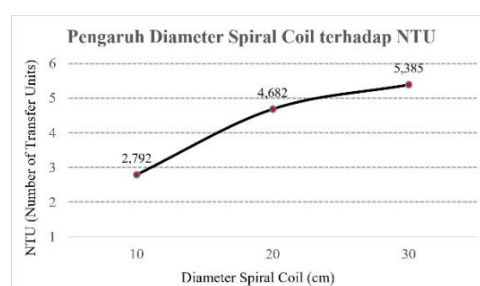
Berdasarkan keseluruhan parameter, diameter 30 cm memberikan kinerja kondensor paling optimal pada kondisi simulasi yang digunakan. Konfigurasi tersebut menghasilkan temperatur *outlet* uap terendah sebesar 21,902 °C, laju perpindahan panas tertinggi sebesar 209,15 W, NTU tertinggi sebesar 5,385, dan efektivitas tertinggi sebesar 99,53%. Nilai U yang lebih rendah pada diameter 30 cm tidak secara langsung menunjukkan kinerja yang lebih buruk karena U merepresentasikan kemampuan perpindahan panas per satuan luas, sedangkan kinerja total kondensor juga dipengaruhi oleh luas permukaan perpindahan panas. Evaluasi kinerja kondensor perlu mempertimbangkan Q, U, NTU, dan efektivitas secara bersamaan, bukan hanya satu parameter.



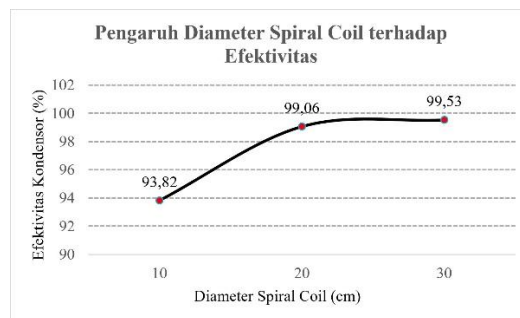
Gambar 9. Pengaruh diameter *spiral coil* terhadap laju perpindahan panas



Gambar 10. Pengaruh diameter *spiral coil* terhadap koefisien perpindahan panas menyeluruh



Gambar 11. Pengaruh diameter *spiral coil* terhadap Number of Transfer Units (NTU)

Gambar 12. Pengaruh diameter *spiral coil* terhadap efektivitas kondensorTabel 7. Ringkasan hasil kinerja kondensor pada variasi diameter *spiral coil*

Diameter	T outlet uap (°C)	Q (W)	U (W/m ² ·K)	NTU	Efektivitas (%)
10 cm	24,376	197,144	74,17	2,792	93,82
20 cm	22,107	208,155	66,23	4,682	99,06
30 cm	21,902	209,150	51,88	5,385	99,53

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) menggunakan ANSYS Fluent, variasi diameter *spiral coil* 10 cm, 20 cm, dan 30 cm dengan jumlah lilitan tetap 10 lilitan memengaruhi kinerja perpindahan panas kondensor pada sistem pirolisis limbah plastik. Peningkatan diameter *spiral coil* menghasilkan penurunan temperatur *outlet* uap dari 24,376 °C pada diameter 10 cm menjadi 22,107 °C pada diameter 20 cm dan 21,902 °C pada diameter 30 cm, serta meningkatkan laju perpindahan panas dari 197,144 W menjadi 208,155 W dan 209,150 W.

Koefisien perpindahan panas menyeluruh mengalami penurunan dari 74,17 W/m²·K pada diameter 10 cm menjadi 66,23 W/m²·K pada diameter 20 cm dan 51,88 W/m²·K pada diameter 30 cm, sedangkan nilai NTU meningkat dari 2,792 menjadi 4,682 dan 5,385. Efektivitas kondensor juga meningkat dari 93,82% menjadi 99,06% dan 99,53%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan diameter meningkatkan kemampuan perpindahan panas secara keseluruhan meskipun kemampuan perpindahan panas per satuan luas mengalami penurunan.

Berdasarkan keseluruhan parameter yang dianalisis, diameter *spiral coil* 30 cm dengan 10 lilitan merupakan konfigurasi paling optimal di antara variasi yang diuji pada kondisi simulasi penelitian. Konfigurasi tersebut menghasilkan temperatur *outlet* uap terendah, laju perpindahan panas tertinggi, nilai NTU tertinggi, dan efektivitas kondensor tertinggi sebesar 99,53%. Peningkatan kinerja dari diameter 20 cm ke 30 cm relatif kecil dibandingkan peningkatan dari 10 cm ke 20 cm, sehingga peningkatan diameter pada ukuran yang lebih besar menghasilkan tambahan kinerja yang semakin kecil.



VI. REFERENSI

- Damayanti, Z., Sudarti, S., & Yushardi, Y. (2023). Analisis karakteristik fuel pirolisis sampah plastik berdasarkan jenis plastik yang digunakan. *Jurnal Inovasi Teknik Kimia*, 8(1), 26-33.
- International Energy Agency. (2024). *CO₂ emissions in 2023*. IEA. <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2023>
- Inyang, U. E., & Uwa, I. J. (2022). Heat transfer in helical coil heat exchanger. *Advances in Chemical Engineering and Science*, 12(1), 26-39.
- Karo, S. F. K., Dariantio, D., & Idris, M. (2023). Analisis efektivitas perpindahan panas kondensor pada proses destilasi daun serai wangi. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin & Industri*, 2(1), 31-40.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2024). *Timbulan sampah*. Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional. <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/public/data/timbulan>
- Maksum, A., Gunadi, G. G. R., Ramadhan, F. I., & Widiyawayaty, C. D. (2024). Desain fully welded plate heat exchanger untuk pemanfaatan asap pirolisis dengan metode computational fluid dynamic (CFD). *Jurnal Mekanik Terapan*, 5(1), 8-15.
- Megaprastio, B., Syamsiro, M., Saputro, M. A., & Rina, F. (2023). Teknologi pirolisis untuk konversi sampah plastik menjadi bahan bakar minyak: Kajian literatur. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 18(2), 229-240.
- Nashine, P., Singh, T. S., Rajak, U., & Verma, T. N. (2020). Effect of Dean number on the heat transfer characteristics of a helical coil tube with variable velocity & pressure inlet. *Journal of Thermal Engineering*, 6(2), 128-139.
- Novarini, M., Kurniawan, S., Rusdianasari, & Bow, Y. (2021). *Bahan bakar minyak dari limbah kantong kresek*. Samudra Biru.
- Rahman, F., Putra, P., Fitrianti, E. T., Hudriansyah, H., Yahya, A., & Arsela, P. (2025). Penerapan teknologi pirolisis sampah plastik di Desa Uko. *Jurnal Abdi Insani*, 12(12), 6828-6836.
- Sadewo, A., & Siregar, I. (2023). *Rancang bangun kondensor dan pengaruh geometri diameter pipa spiral kondensor terhadap kuantitas minyak gasifikasi*.
- Santhiarsa, I. G. N. N. (2022). Rancang bangun alat konversi plastik menjadi bahan bakar minyak dengan metode pirolisis untuk penanganan sampah plastik. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 13(1), 189-196.
- Singh, H., Washiashi, J., Liu, J., Ichiyanagi, M., & Suzuki, T. (2019). Effect of Dean vortices on heat transfer characteristics of square channel spiral coil sub-cooled condenser. *International Journal of Automotive Engineering*, 10(2), 233-241.
- Yasa, M., & Siregar, I. (2023). Pengaruh jumlah lilitan pipa kondensor terhadap kuantitas minyak pirolisis sampah plastik. *Jurnal Teknik Mesin*, 11(1), 71-78.