

Perancangan dan Analisa Kondensor pada Alat Pirolisis Pelepah Kelapa Sawit Kapasitas 150 Kg

Edo Filma Jaya Siahaan *¹
Alfansuri ²

^{1,2} Politeknik Negeri Bengkalis

*e-mail: edoasus1234@gmail.com¹, alfansuri@polbeng.ac.id²

Abstrak

Indonesia menghadapi tantangan pengelolaan limbah pelepah kelapa sawit yang sering kali menyebabkan dampak lingkungan negatif. Penelitian ini mengembangkan metode pirolisis untuk mengolah limbah tersebut, menghasilkan produk seperti asap cair dengan nilai kalor tinggi. Fokusnya adalah merancang dan menganalisis kinerja kondensor pada alat pirolisis kapasitas 150 kg menggunakan software SolidWorks dan metode Computational Fluid Dynamics (CFD). Hasil menunjukkan kondensor yang dirancang mampu menurunkan suhu input dari 60 °C menjadi 30,65 °C dengan laju perpindahan panas sebesar 87.005 W dan koefisien perpindahan panas rata-rata 418.379 W/m². Penelitian ini berkontribusi pada pengembangan teknologi pirolisis yang lebih efektif dan ramah lingkungan untuk pengelolaan limbah pelepah kelapa sawit di Indonesia.

Kata Kunci : Asap Cair, CFD, Kondensor, Pelepah Kelapa Sawit, Perpindahan Panas, Pirolisis, SolidWorks.

Abstract

Indonesia faces the challenge of managing palm frond waste which often causes negative environmental impacts. This research develops a pyrolysis method to process this waste, producing products such as liquid smoke with high heating value. The focus is to design and analyze the performance of the condenser on a pyrolysis device with a capacity of 150 kg using SolidWorks software and the Computational Fluid Dynamics (CFD) method. The results show that the designed condenser is able to reduce the input temperature from 70 °C to 30.03 °C with a heat transfer rate of 1333 W and an average heat transfer coefficient of 1927 W/m². This research contributes to the development of more effective and environmentally friendly pyrolysis technology for managing palm frond waste in Indonesia.

Keywords : Pyrolysis, Palm Fronds, Condenser, CFD, SolidWorks, Heat Transfer, Liquid Smoke.

PENDAHULUAN

Indonesia, sebagai produsen utama kelapa sawit di dunia, menghadapi tantangan serius dalam pengelolaan limbah pelepah kelapa sawit yang dihasilkan dalam jumlah besar oleh industri kelapa sawit. Limbah ini, jika tidak dikelola dengan baik, dapat menyebabkan masalah lingkungan, terutama ketika metode tradisional seperti pembakaran terbuka dan penumpukan di lahan terbuka digunakan, yang berkontribusi pada pencemaran udara, tanah, dan air. Pelepah kelapa sawit, sebagai salah satu limbah padat organik, memiliki potensi untuk diolah melalui teknik pirolisis, yang dapat mengubah limbah ini menjadi produk bernilai tinggi seperti asap cair. Asap cair yang dihasilkan melalui proses pirolisis memiliki nilai kalor tinggi dan dapat dimanfaatkan dalam sektor pertanian. Teknik pirolisis melibatkan dekomposisi bahan organik pada suhu tinggi dalam kondisi minim oksigen, yang menghasilkan produk seperti biochar, yang berguna sebagai pembenah tanah.

Walaupun beberapa penelitian telah mengeksplorasi pirolisis pelepah kelapa sawit, masih terdapat kekurangan informasi mengenai potensi penuh serta tantangan dalam penerapan teknologi ini di skala industri. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan fokus pada dampak lingkungan, ekonomi, dan sosial dari penggunaan teknologi pirolisis dalam pengelolaan limbah pelepah kelapa sawit. Untuk mencapai hasil pirolisis yang optimal, diperlukan alat pirolisis yang dirancang secara efisien, terutama dalam mengatur distribusi suhu selama proses. Kondensor merupakan komponen penting dalam sistem ini, berfungsi untuk mengkondensasi uap menjadi cairan selama proses pirolisis. Penelitian ini

berfokus pada perancangan dan analisis kondensor yang efisien menggunakan *software SolidWorks* dan metode *Computational Fluid Dynamics (CFD)*. CFD memungkinkan simulasi dan analisis mendalam terhadap aliran fluida dan perpindahan panas dalam sistem pirolisis, memberikan gambaran rinci mengenai fenomena seperti distribusi suhu, kecepatan aliran, tekanan, dan koefisien perpindahan panas. Dengan pendekatan ini, penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi pada pengembangan teknologi pengolahan limbah pelepah kelapa sawit yang lebih efektif dan berkelanjutan, serta mendukung upaya untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Politeknik Negeri Bengkalis, Riau, selama kurun waktu sekitar lima bulan. Proses penelitian melibatkan beberapa tahapan yang dilakukan secara sistematis untuk merancang dan menganalisis kondensor pada alat pirolisis pelepah kelapa sawit. Alat utama yang digunakan adalah komputer yang dilengkapi dengan perangkat lunak *SolidWorks*. Komputer ini berfungsi untuk mendesain alat pirolisis serta melakukan simulasi aliran fluida pada kondensor menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics (CFD)*. *SolidWorks*, sebagai perangkat lunak CAD (*Computer-Aided Design*) dan CAE (*Computer-Aided Engineering*), digunakan untuk melakukan perancangan desain dan analisis teknik yang meliputi analisis gerak, analisis statik, analisis termal, dan analisis aliran.

Tahapan penelitian dimulai dengan studi literatur, di mana peneliti mengumpulkan berbagai referensi dari buku, jurnal, dan dokumen yang relevan untuk memperoleh data dan informasi yang diperlukan dalam proses perancangan alat pirolisis dan analisis kondensor. Setelah itu, dilakukan perancangan desain alat pirolisis menggunakan *SolidWorks*, yang memungkinkan visualisasi bentuk dan fungsi dari sistem pirolisis pelepah kelapa sawit. Teknik pengumpulan data mencakup studi literatur dan studi dokumen. Studi literatur berfungsi untuk mendukung perancangan dan analisis kondensor, sedangkan studi dokumen digunakan untuk mengumpulkan data dari hasil analisis aliran fluida dan perpindahan panas melalui simulasi CFD. Dalam simulasi ini, parameter penting seperti desain alat, suhu, sifat material, dan kapasitas suplai air untuk proses kondensasi dimasukkan ke dalam program CFD. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan teknologi pirolisis yang lebih efektif dan berkelanjutan, terutama dalam pengelolaan limbah pelepah kelapa sawit.

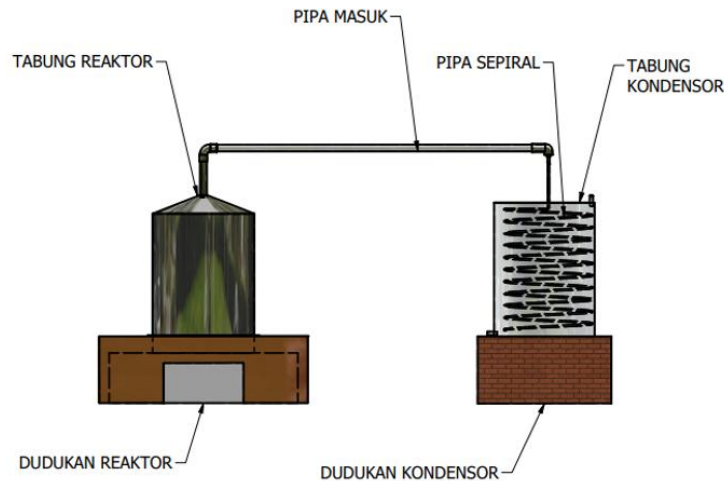
HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan hasil perancangan alat pirolisis dengan kapasitas 150 kg untuk pengolahan pelepah kelapa sawit. Proses perancangan dilakukan menggunakan perangkat lunak *SolidWorks* untuk memastikan desain yang optimal, terutama pada komponen kondensor. Selanjutnya, simulasi *Computational Fluid Dynamics (CFD)* diterapkan secara khusus pada kondensor pirolisis untuk mengevaluasi dan menyempurnakan desain tersebut. Pendekatan ini bertujuan untuk memperoleh rancangan alat yang paling efisien dan efektif, yang diharapkan dapat meningkatkan kinerja proses pirolisis dalam pengelolaan limbah pelepah kelapa sawit secara berkelanjutan. Bab ini juga membahas hasil dari simulasi tersebut, termasuk analisis aliran fluida dan perpindahan panas, yang berperan penting dalam memastikan kondensor berfungsi dengan optimal dalam kondisi operasional yang diharapkan.

A. Data Hasil Perancangan & Parameter yang Digunakan

Desain alat pirolisis yang dirancang untuk mengolah pelepah kelapa sawit dengan kapasitas 150 kg dihasilkan melalui kajian literatur dan perhitungan teknis yang cermat. Spesifikasi alat ini mencakup berbagai komponen utama yang dirancang untuk memastikan efisiensi dan efektivitas proses pirolisis. Reaktor yang digunakan memiliki diameter 1,5 meter dan terbuat dari bahan baja karbon, yang dikenal karena ketahanannya terhadap suhu tinggi. Kondensor, dengan diameter yang sama yaitu 1,5 meter, terbuat dari aluminium baja tipe 302, memiliki tinggi 2 meter dan volume sebesar 3.529 liter. Material ini dipilih karena kemampuannya dalam menghantarkan

panas dengan baik, sehingga memaksimalkan proses kondensasi uap. Kondensator juga dilengkapi dengan pipa spiral yang terbuat dari tembaga, dengan diameter 2,54 cm, ketebalan 1 mm, dan panjang total 24,9 meter. Rancangan ini memberikan dimensi yang akurat, pilihan material yang tepat, serta tata letak komponen yang optimal untuk mendukung proses pirolisis. Informasi spesifik ini diperlukan agar simulasi yang dilakukan dapat mereplikasi kondisi operasional yang sebenarnya, sehingga hasil yang diperoleh mendekati kondisi nyata.



Gambar 1. Desain alat pirolisis pelepah kelapa sawit kapasitas 150 kg

Pada simulasi *Computational Fluid Dynamics (CFD)* yang diterapkan, sejumlah parameter penting telah ditentukan berdasarkan literatur dan asumsi-asumsi yang relevan. Kecepatan aliran fluida pendingin dalam kondensator diatur pada 6,26 m/s, sementara kecepatan aliran fluida uap yang masuk ke kondensator diatur pada 1,5 m/s. Kondisi operasi dirancang dengan tekanan sebesar 2 bar dan temperatur berkisar antara 25 hingga 60 derajat Celsius. Fluida yang digunakan dalam proses ini adalah uap jenuh, dengan uap input berupa karbon monoksida dan uap output berupa air cair. Hasil dari simulasi ini memberikan wawasan mendalam tentang dinamika aliran fluida dan perpindahan panas dalam sistem, yang sangat penting untuk mengoptimalkan performa kondensator. Analisis yang dilakukan melalui CFD tidak hanya membantu dalam memvalidasi desain, tetapi juga memungkinkan penyesuaian lebih lanjut untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan proses pirolisis.

B. Perhitungan Rancangan Kondensator Pirolisis

Dalam penelitian ini, dilakukan perancangan dan analisis kondensator untuk proses pirolisis pelepah kelapa sawit dengan kapasitas 150 kg. Tahapan awal melibatkan perhitungan luas permukaan tabung kondensator, yang dihitung menggunakan rumus $A=\pi r^2$. Dengan diameter tabung yang telah ditentukan, luas permukaan yang diperoleh adalah 1,764 m². Luas permukaan ini menjadi dasar dalam menentukan volume air yang dapat ditampung dalam tabung kondensator. Menggunakan rumus volume $V=A.t$, di mana t adalah tinggi tabung kondensator, diperoleh volume sebesar 3.529 liter. Ini menunjukkan kapasitas maksimum air yang dapat dikondensasi dalam tabung tersebut.

Selanjutnya, perhitungan ketebalan pipa spiral dilakukan untuk memastikan pipa mampu menahan tekanan kerja yang ditentukan. Dengan menggunakan persamaan:

$$S \quad : \text{maximum allowable stress valve} = 12,8 \text{ ksi} = 12.800 \text{ lb/in}^2$$

$$E \quad : \text{join coefficient} = 0,85$$

P : tekanan perancangan = 2 bar = 29,0075 lb/in²
 R : radius dalam pipa = 0,3 in

Maka tebal pipa spiral ialah:

$$t = \frac{PR}{SE - 0,6P} + 0,04$$

$$t = \frac{29,0075 \frac{lb}{in^2} \times 1in}{12.800 \frac{lb}{in^2} \times 0,85 - 0,6 \times 29,0075 \frac{lb}{in^2}} + 0,04$$

$$t = \frac{29,0075 \frac{lb}{in^2}}{12.800 \frac{lb}{in^2} \times 0,85 - 0,6 \times 29,0075 \frac{lb}{in^2}} + 0,04$$

$$t = \frac{29,0075 \frac{lb}{in^2}}{10.800 \frac{lb}{in^2} - 17,4045 \frac{lb}{in^2}} + 0,04$$

$$t = \frac{29,0075 \frac{lb}{in^2}}{10,862 \frac{lb}{in^2}} + 0,04$$

$$t = 0,0026 + 0,04$$

$$t = 0,0426$$

$$t = 1,08204 \text{ mm} = 1 \text{ mm}$$

Mengacu pada nilai tekanan kerja, radius pipa, serta faktor keselamatan yang relevan, diperoleh ketebalan pipa spiral sebesar 1 mm. Ketebalan ini dipilih untuk memastikan pipa spiral memiliki daya tahan yang cukup terhadap tekanan selama operasi.

Perhitungan panjang pipa spiral juga dilakukan dengan rumus:

$$L = \sqrt{\left(\pi \frac{h}{h_1} D\right)^2 + h^2}$$

Dimana

- L : panjang pipa spiral (m)
- H : tinggi/panjang kondensor (2 m)
- h1 : jarak antar pipa spiral (0,1 m)
- D : keliling lingkaran (8,4)
- Pi : 3,14

Maka panjang pipa spiral

$$L = \sqrt{\left(\pi \frac{h}{h_1} D\right)^2 + h^2}$$

$$L = \sqrt{\left(3,14 \frac{2}{0,1} (8,4)\right)^2 + 2^2}$$

$$L = \sqrt{(3,14(20)(8,4))^2 + 2^2}$$

$$L = \sqrt{(3,14(168))^2 + 2^2}$$

$$L = \sqrt{3,14(28.224) + 4}$$

$$L = \sqrt{615,44 + 4}$$

$$L = 24,9 \text{ m}$$

Panjang pipa spiral yang diperoleh dari perhitungan ini adalah 24,9 meter. Panjang ini merupakan panjang optimal untuk memastikan aliran uap dapat terkondensasi dengan efisien dalam sistem.

Terakhir, jumlah pitch pipa spiral dihitung untuk menentukan berapa kali pipa melingkar di dalam tabung kondensor dengan rumus:

n : jumlah pitch

panjang tembaga : 24,9 m

panjang 1 pitch : 2,3 m

penyelesaian sebagai berikut

$$n = \frac{\text{panjang tembaga}}{\text{panjang 1 pitch}}$$

$$n = \frac{24,9}{2,3}$$

$$n = 10 \text{ pitch}$$

Mengacu perhitungan di atas, maka diperoleh jumlah pitch sebanyak 10 pitch. Jumlah ini memastikan bahwa distribusi aliran fluida dalam kondensor optimal, yang pada gilirannya meningkatkan efisiensi proses kondensasi uap menjadi cairan. Secara keseluruhan, perancangan dan analisis kondensor ini menunjukkan bahwa desain yang dihasilkan mampu memenuhi kebutuhan operasional pirolisis, dengan pertimbangan efisiensi perpindahan panas dan daya tahan material yang digunakan. Hasil perancangan ini memberikan kontribusi penting bagi pengembangan teknologi pirolisis yang lebih efisien dan berkelanjutan dalam pengolahan limbah pelepah kelapa sawit.

C. Hasil dan Pembahasan Simulasi CFD Kondensor

Pada penelitian ini, simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) digunakan untuk menganalisis perpindahan panas dalam kondensor yang digunakan dalam proses pirolisis pelepah kelapa sawit. Tujuan dari simulasi ini adalah untuk menentukan suhu rata-rata, suhu keluaran pada pipa spiral, dan suhu keluaran pada tabung kondensor, serta menghitung koefisien perpindahan panas menyeluruh.

- Hasil Simulasi Perpindahan Panas

Tabel 1. Hasil simulasi

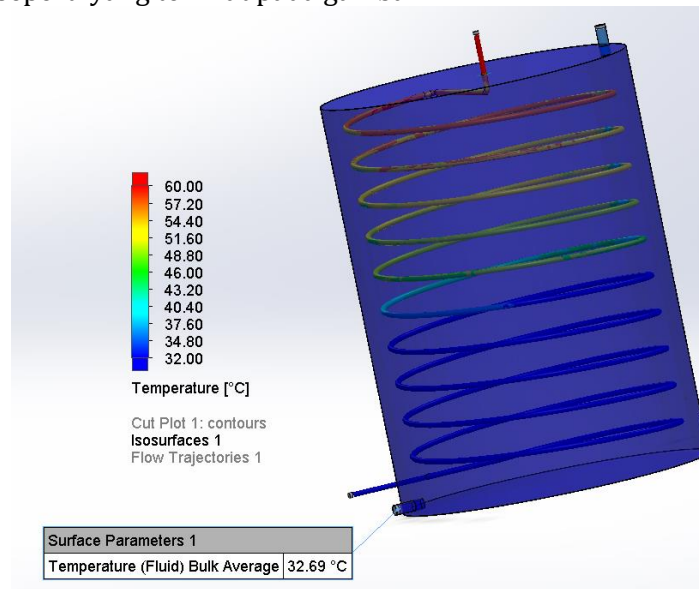
Goal Name	Unit	Value
Suhu rata-rata	°C	32,25
Suhu output pipa spiral	°C	30,65
Suhu output tabung kondensor	°C	32,69
Koefisien perpindahan panas menyeluruh	W/m ² ·K	418,379

Tabel 1 menunjukkan hasil simulasi yang mencakup suhu rata-rata dalam kondensor, suhu output dari pipa spiral, dan suhu output dari tabung kondensor, serta koefisien perpindahan panas menyeluruh. Dari hasil ini, terlihat bahwa suhu rata-rata dalam kondensor relatif stabil, sementara suhu output dari pipa spiral menunjukkan adanya penurunan suhu yang signifikan, menandakan proses perpindahan panas yang efektif. Koefisien perpindahan panas menyeluruh yang diperoleh juga menunjukkan nilai yang cukup tinggi, mengindikasikan efisiensi perpindahan panas yang baik dalam sistem.

- Output Tabung Kondensor

Bila mengacu pada gambar di bawah ini, terlihat distribusi suhu dalam tabung kondensor yang dihasilkan dari simulasi CFD. Warna di dalam tabung mencerminkan distribusi suhu dengan skala

yang berkisar dari 32°C (biru tua) hingga 60°C (merah). Suhu output dari tabung kondensor mencapai 32,69°C, seperti yang terlihat pada gambar.

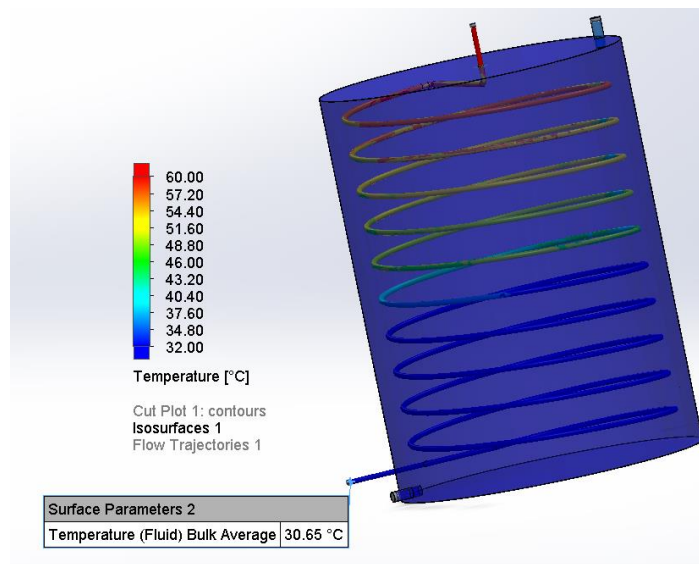


Gambar 2. Temperature Output Tabung Kondensor

Dari Gambar 2, dapat diamati bahwa suhu output tabung kondensor mendekati nilai yang stabil pada 32,69°C. Distribusi suhu yang merata menunjukkan bahwa kondensasi terjadi secara efisien, dengan proses pendinginan yang merata di seluruh tabung. Hal ini mengindikasikan desain kondensor yang mampu mempertahankan suhu yang optimal untuk proses kondensasi.

- *Output Pipa Spiral*

Hasil simulasi untuk pipa spiral pada kondensor ditunjukkan pada gambar 2. Warna pada pipa spiral menunjukkan distribusi suhu dari biru (suhu rendah) hingga merah (suhu tinggi), dengan suhu output pipa spiral mencapai 30,65°C.



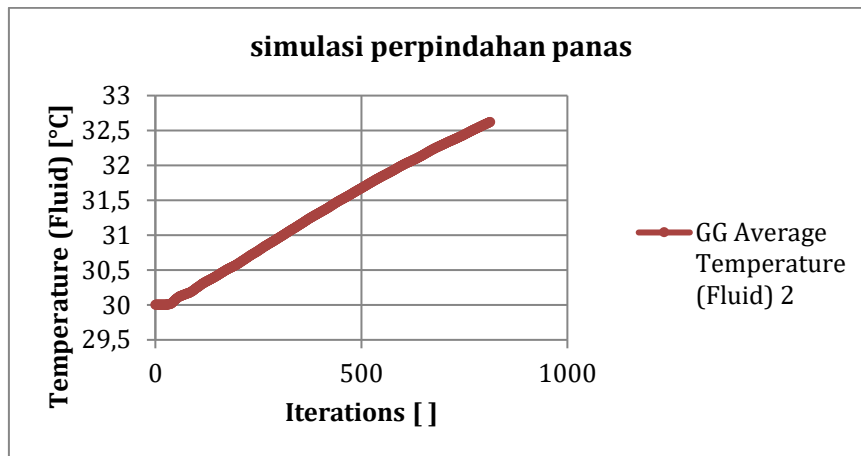
Gambar 3. Temperature Output Pipa Spiral

Merujuk pada gambar 3 di atas, menunjukkan penurunan suhu yang signifikan pada pipa spiral, dari 60°C menjadi 30,65°C. Penurunan suhu ini mengindikasikan proses kondensasi yang efektif di dalam kondensor, di mana perpindahan panas dari uap ke fluida dingin dalam pipa spiral

terjadi secara efisien. Ini menunjukkan bahwa desain spiral mampu memaksimalkan proses perpindahan panas.

- *Temperatur Rata-rata Fluida*

Gambar 3 menunjukkan grafik suhu rata-rata fluida dalam kondensor. Sumbu X menunjukkan jumlah iterasi dalam simulasi, sementara sumbu Y menunjukkan suhu fluida, yang berkisar antara 30°C hingga 32,47°C.

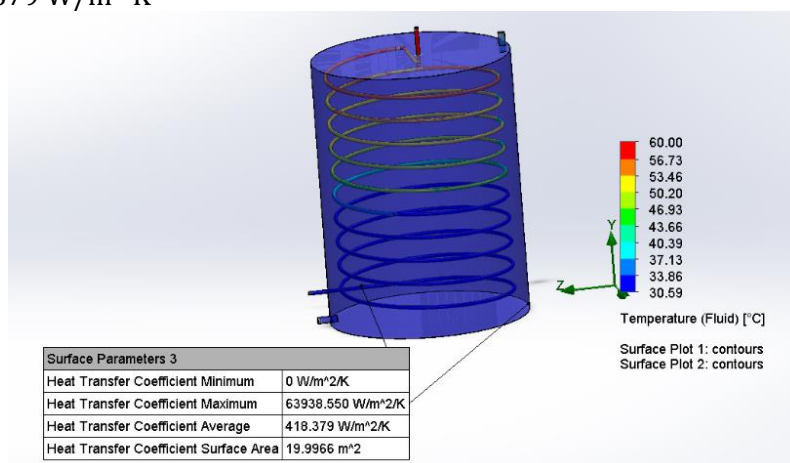


Gambar 4. Grafik Temperature Rata-Rata

Grafik pada Gambar 4 memperlihatkan peningkatan suhu fluida yang stabil seiring bertambahnya iterasi, yang menandakan adanya proses perpindahan panas yang berlangsung secara kontinu. Kenaikan suhu ini mengindikasikan bahwa sistem kondensasi berfungsi dengan baik, mendekati suhu target yang diinginkan. Hal ini memperkuat kesimpulan bahwa proses perpindahan panas di kondensor berlangsung sesuai dengan yang diharapkan.

- *Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh*

Gambar 4 memperlihatkan hasil simulasi untuk koefisien perpindahan panas menyeluruh dalam penukar panas dengan pipa koil spiral di dalam tabung. Koefisien perpindahan panas minimum yang diperoleh adalah 0 W/m²·K, sementara maksimum mencapai 639,38 W/m²·K, dengan rata-rata sebesar 418,379 W/m²·K



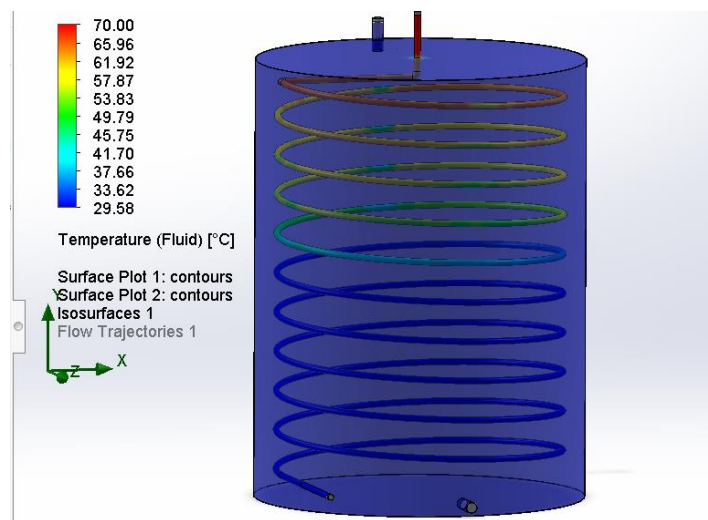
Gambar 5. Koefisien perpindahan panas pada simulasi *cfD*

Gambar 5 di atas menampilkan variasi koefisien perpindahan panas sepanjang pipa spiral, menunjukkan efisiensi perpindahan panas dalam sistem. Nilai rata-rata yang tinggi

mengindikasikan bahwa kondensor mampu melakukan perpindahan panas dengan efektif, yang penting untuk memastikan proses kondensasi berjalan optimal. Variasi ini juga menunjukkan bahwa desain spiral pipa telah memperhitungkan distribusi panas yang merata di seluruh permukaan kondensor.

D. Pembahasan Hasil Simulasi

Simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dalam penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi performa kondensor yang digunakan dalam proses pirolisis pelepah kelapa sawit. Material yang digunakan pada tabung kondensor adalah stainless steel, sementara pipa spiral terbuat dari tembaga. Temperatur fluida yang diasumsikan pada input kondensor adalah 30°C, sedangkan pada input pipa spiral adalah 60°C.



Gambar 6. Hasil simulasi cfd tabung kondensor

Pada gambar 6, hasil simulasi CFD menunjukkan adanya penurunan suhu signifikan pada pipa spiral, yang disebabkan oleh proses kondensasi di dalam tabung kondensor. Awalnya, suhu uap yang masuk sebesar 60°C, namun setelah melalui proses kondensasi, suhu tersebut menurun menjadi 30,65°C. Jenis fluida uap input adalah karbon monoksida, yang kemudian berubah menjadi air cair setelah keluar dari kondensor. Temperatur operasi berkisar antara 25 - 60°C, dengan suhu rata-rata fluida di dalam kondensor adalah 32,47°C. Selain itu, koefisien perpindahan panas yang tercatat adalah sebesar 418.379 W/m²•K, yang menunjukkan efisiensi perpindahan panas dalam sistem. Penurunan suhu uap yang signifikan dari 60°C menjadi 30,65°C mengindikasikan bahwa kondensor berfungsi dengan baik dalam proses kondensasi. Efisiensi tinggi ini dapat diatribusikan pada desain dan material yang digunakan, yang memungkinkan perpindahan panas yang efektif. Suhu rata-rata fluida di dalam kondensor yang mendekati 32,47°C menunjukkan bahwa sistem mampu mempertahankan suhu operasional yang stabil, mendukung proses kondensasi yang efisien.

Tabel 2. Nilai input simulasi cfd

Nama	Satuan	Nilai	keterangan
Temperature uap	°C	60	Input
Temperature fluida pendingin	°C	30	Input
Kecepatan aliran fluida pendingin	m/s	6,26	Input
Kecepatan aliran uap	m/s	1,5	Input

Tabel di atas menampilkan parameter-parameter input yang digunakan dalam simulasi CFD ini, seperti temperatur uap dan fluida pendingin, serta kecepatan aliran masing-masing

fluida. Parameter-parameter input ini adalah faktor kunci yang mempengaruhi hasil simulasi. Kecepatan aliran fluida pendingin yang tinggi (6,26 m/s) berkontribusi pada efisiensi perpindahan panas dengan meningkatkan laju pertukaran panas antara fluida pendingin dan uap. Kecepatan aliran uap yang lebih rendah (1,5 m/s) menunjukkan bahwa uap bergerak dengan kecepatan yang sesuai untuk memberikan waktu kontak yang cukup dalam proses kondensasi.

Pada tabel 3, ditunjukkan hasil yang diperoleh dari simulasi CFD, termasuk temperatur akhir uap dan fluida pendingin, serta koefisien perpindahan panas. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem kondensator mampu mengurangi suhu uap hingga mencapai target yang diinginkan, dengan efisiensi perpindahan panas yang tinggi.

Tabel 3. Goals Simulasi CFD

Nama	Satuan	Nilai	keterangan
Temperatur uap	°C	30,65	Output
Temperature fluida pendingin	°C	32,69	Output
Koefisien perpindahan panas	W/m ² ·K,	418.379	Rata-rata

Hasil simulasi CFD menunjukkan bahwa temperatur uap dapat diturunkan dengan efektif hingga 30,65°C, mendekati suhu target. Temperatur fluida pendingin yang tercatat adalah 32,69°C, menunjukkan bahwa fluida pendingin berfungsi dengan baik dalam mengatur suhu kondensasi. Koefisien perpindahan panas sebesar 418.379 W/m²·K menunjukkan bahwa desain kondensator memiliki efisiensi perpindahan panas yang sangat baik, mendukung proses kondensasi yang optimal dan meningkatkan keseluruhan performa sistem pirolisis.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian dan perancangan alat pirolisis pelepah kelapa sawit dengan kapasitas 150 kg, beberapa kesimpulan dapat diambil. Pertama, reaktor dan kondensator yang dirancang memiliki diameter 1,5 meter, dengan penggunaan material carbon steel untuk reaktor dan stainless steel 302 untuk kondensator. Kondensator memiliki tinggi 2 meter dan volume 3.529 liter, sementara pipa spiral di dalamnya memiliki diameter 2,54 cm, panjang 24,9 meter, ketebalan 1 mm, serta 10 pitch. Kedua, jenis fluida uap yang masuk ke kondensator adalah karbon monoksida, sedangkan fluida uap yang keluar berupa air cair. Kondensator beroperasi pada rentang suhu antara 25 - 60 °C, dengan kecepatan aliran fluida air sebesar 6,26 m/s dan kecepatan aliran fluida uap sebesar 1,5 m/s, serta tekanan desain sebesar 2 bar. Laju perpindahan panas yang tercapai di kondensator adalah 87.005 W, dengan suhu output dari pipa spiral sebesar 30,65 °C dan suhu rata-rata fluida di dalam kondensator 32,47 °C. *Log Mean Temperature Differential* (LMTD) tercatat sebesar 10,40°C. Ketiga, kondensator pirolisis menunjukkan kemampuan yang efektif dalam menurunkan suhu input dari 60 °C menjadi 30,65 °C pada pipa spiral, dengan suhu rata-rata fluida di dalam kondensator mencapai 32,47 °C, mengindikasikan proses transfer panas yang efisien. Terakhir, penggunaan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dalam analisis kondensator berhasil memberikan representasi yang akurat mengenai distribusi suhu dan aliran fluida, yang sangat membantu dalam optimalisasi desain kondensator agar sesuai dengan kebutuhan proses pirolisis.

DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, Z., Hasanuddin, S., & Dipa, D. M. (2023). Perancangan kondensator pada mesin destilasi minyak serai wangi kapasitas 5 kg. Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Sriwijaya, 48-52.
- Boiler, A. (2010). ASME Boiler and Pressure Vessel. The American Society of Mechanical Engineers.
- Cengel, Y., & Ghajar, A. (2015). Heat and mass transfer: Fundamentals & application.

- Fathoni, W. (2018). Analisa aliran fluida (Fully Developed Flow) pada pipa circular. Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Texmaco.
- Ihsan, S. (2018). Analisis bentuk aliran pada kondensor tipe shell dan tube. Jurnal JIEOM, 19-22.
- Jenter, P. S., & Kinanti, W. (2023). Perancangan kondensor tipe koil vertikal untuk kondensasi uap pirolisa biomasa tempurung kelapa. Jurnal Insinyur Profesional, 66-73.
- Maulana, E., Pardede, T. M., & Mahardika, D. (2020). Perancangan proses pembuatan kondensor untuk pendingin reaktor pirolisis kapasitas 75 kg/jam. Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, 2-7.
- Maulina, S., Nurtahara, & Fakhradila. (2018). Pirolisis pelepah kelapa sawit untuk menghasilkan fenol pada asap cair. Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara.
- Rizwandi, M., & Alfansuri. (2019). Analisa efisiensi alat cair terhadap kuantitas asap cair di dapur arang (suku asli) desa Jangkang. Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bengkalis.
- Rorimpandey, A. S., Tangkuman, S., & Umboh, M. (2023). Rancang bangun kondensor pada alat pengubah alat sampah plastik menjadi bahan bakar minyak. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi Manado, 30-36.
- Rubianto, B., Winarso, R., & Wibowo, R. (2018). Rancang bangun kondensor pada destilator bioetanol. Jurnal CRANKSHAFT, 29-36.
- Said, R., Titahelu, N., & Ufie, R. (2021). Analisis laju aliran massa fluida dingin terhadap efektivitas. Archipelago Engineering, 40-145.
- Simanjuntak, J. P., & Wijaya, K. (2023). Perencanaan kondensor tipe koil vertikal untuk kondensasi uap pirolisis biomasa tempurung kelapa. Program Studi Pendidikan Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan, 66-73.
- Yasa, I. Y. (2023). Pengaruh jumlah lilitan pipa kondensor terhadap kuantitas minyak pirolisi kelapa sawit. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, 71-77.