

Analisis Efektivitas Alat Destilasi Asap Cair Full Bambu Menggunakan Metode Simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD)

Rizki Alfiandrey *¹
Alfansuri ²

^{1,2} Politeknik Negeri Bengkalis

*e-mail: rizkyalfiandri0@gmail.com¹, alfansuri@polbeng.ac.id²

Abstrak

Destilasi adalah teknik memisahkan campuran berdasarkan perbedaan titik didih. Penelitian ini membandingkan dua alat destilasi yaitu yang menggunakan bambu sepenuhnya, dan satu lagi menggunakan kombinasi PVC dan bambu. Kedua alat dianalisis dengan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) menggunakan *Solidworks Flow Simulation*. CFD mensimulasikan aliran fluida dan perpindahan panas berdasarkan persamaan fisika. Efektivitas mengacu pada rasio antara laju perpindahan panas aktual dan laju perpindahan panas maksimum yang mungkin terjadi. Hasil simulasi menunjukkan alat full bambu memiliki efektivitas yang lebih baik sebesar 80,99% dibandingkan dengan kombinasi PVC dan bambu yang hanya 73,15%.

Kata kunci : destilasi, bambu, efisiensi, CFD

Abstract

Distillation is a technique of separating mixtures based on differences in boiling points. This research compares two distillation devices, one that uses bamboo completely, and one that uses a combination of PVC and bamboo. Both devices were analyzed with *Computational Fluid Dynamics* (CFD) using *SolidWorks Flow Simulation*. CFD simulates fluid flow and heat transfer based on physical equations. Effectiveness refers to the ratio between the actual heat transfer rate and the maximum possible heat transfer rate. The simulation results show that the full bamboo device has a better effectiveness of 80,99% compared to the combination of PVC and bamboo which is only 73,15%.

Keywords: distillation, bamboo, efficiency, CFD

PENDAHULUAN

Proses pembuatan arang selalu melibatkan pembakaran biomassa, yang menghasilkan asap atau karbon sebagai produk sampingan. Asap ini dapat menjadi polutan udara, yaitu campuran gas-gas yang membentuk atmosfer bumi dan sangat diperlukan bagi kehidupan. Polusi udara akibat pembakaran biomassa dapat menimbulkan berbagai dampak negatif, termasuk gangguan kesehatan, perubahan iklim, dan kerusakan lingkungan. Untuk mengurangi dampak negatif dari asap yang dihasilkan selama proses pembakaran, digunakan alat destilasi yang berfungsi untuk mengkondensasi asap menjadi cairan. Proses destilasi ini mengubah asap yang berbentuk gas menjadi cairan dengan menurunkan suhu dan tekanan asap. Cairan yang dihasilkan dari pirolisis biomassa disebut asap cair, yang mengandung berbagai senyawa bermanfaat, seperti antibiotik, penghilang bau karet, obat luka, pengawet makanan, dan lainnya (Mhd. Rizwandi dan Alfansuri, 2019). Sistem destilasi memainkan peran penting dalam proses ini, karena destilasi merupakan metode pemisahan komponen-komponen asap cair berdasarkan perbedaan titik didihnya. Melalui proses destilasi, kualitas asap cair dapat ditingkatkan dengan mengurangi kandungan senyawa-senyawa yang tidak diinginkan, seperti tar, asam, dan fenol, serta menghasilkan fraksi-fraksi asap cair dengan karakteristik dan aplikasi yang berbeda.

Untuk mengevaluasi kualitas alat penukar kalor, salah satu metodenya adalah menghitung nilai efektivitasnya. Efektivitas perpindahan panas pada alat penukar kalor diartikan sebagai rasio antara laju perpindahan panas aktual yang terjadi dengan laju perpindahan panas ideal atau maksimum yang dihitung berdasarkan prinsip termodinamika (Soekardi, 2015). Efektivitas perpindahan panas ini umumnya diterapkan dalam konteks penukar panas (*heat exchanger*).

Efektivitas ini adalah rasio antara laju perpindahan panas aktual Q_{aktual} dengan laju perpindahan panas maksimum teoritis Q_{mak} . Berikut adalah rumusnya:

$$\varepsilon = \frac{Q_{aktual}}{Q_{mak}} \dots \dots \dots (2.7)$$

$$Q_{aktual} = \dot{m} \cdot c(T_{h,in} - T_{h,out})$$

$$Q_{mak} = c_{min} \cdot (T_{h,in} - T_{c,in})$$

Keterangan :

ε = Efektifitas

Q_{aktual} = Laju perpindahan panas aktual (kW)

Q_{mak} = Laju perpindahan maksimal (kW)

\dot{m} = Laju aliran massa (kg/s)

c = Kapasitas panas (J/kg.k)

T = Temperatur fluida (°C)

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan efisiensi dua jenis alat destilasi, yaitu alat yang menggunakan bambu secara keseluruhan sebagai kondensor dan alat yang menggunakan kombinasi PVC dan bambu. Analisis dilakukan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics (CFD)* untuk mengevaluasi performa kedua alat tersebut. Bambu dipilih sebagai kondensor karena memiliki sifat sebagai isolator termal yang baik, yang ditunjukkan oleh nilai konduktivitas termal yang rendah. Menurut penelitian RR Swari Dewanti et al. (2015), bambu efektif sebagai isolator termal, dengan kemampuan meredam panas yang baik, usia pakai yang lebih panjang, serta biaya yang lebih terjangkau dibandingkan material lain yang banyak digunakan di Indonesia. Dengan membandingkan kedua alat destilasi ini, penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai kelebihan dan kekurangan masing-masing material dalam proses destilasi asap cair. Selain itu, hasil penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan rekomendasi penggunaan yang lebih efisien dan berkelanjutan dalam proses destilasi, serta memberikan kontribusi positif bagi perkembangan teknologi dan perlindungan lingkungan.

METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Desa Suku Asli, Kecamatan Bantan, Kabupaten Bengkalis, Provinsi Riau untuk pengumpulan data lapangan, dan di laboratorium Politeknik Negeri Bengkalis untuk simulasi dan analisis data, dengan waktu pelaksanaan dari Februari hingga Juli 2024.

Penelitian diawali dengan **studi literatur** yang bertujuan untuk memahami konsep dasar dan teori terkait destilasi asap cair dan material kondensor. Studi ini melibatkan penelusuran dan analisis berbagai sumber seperti buku, jurnal, dan artikel ilmiah yang relevan. Selanjutnya, dilakukan **perancangan alat** destilasi asap cair dengan dua intake menggunakan software SolidWorks. Alat ini dirancang menggunakan kombinasi material bambu dan PVC, serta full bambu sebagai kondensor.

Tahap berikutnya adalah **pengumpulan data**, di mana data suhu input alat destilasi diperoleh dari pengukuran langsung di lapangan selama 10 hari. Data ini kemudian digunakan sebagai input dalam simulasi. **Simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD)** dilakukan untuk menganalisis aliran fluida dalam alat destilasi menggunakan software SolidWorks Flow Simulation. Proses ini mencakup pemodelan geometri alat, penentuan kondisi batas, diskritisasi domain, dan iterasi solver.

Setelah simulasi selesai, dilakukan **analisis data** untuk menghitung efisiensi alat destilasi dan membandingkan hasil simulasi dengan data pengukuran lapangan. Akhirnya, **penyajian hasil** penelitian dilakukan dalam bentuk laporan yang memuat hasil simulasi, analisis, serta rekomendasi terkait penggunaan material bambu dan PVC dalam sistem destilasi asap cair.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter dan Data Simulasi

Parameter-parameter yang berperan penting dalam simulasi CFD (*Computational Fluid Dynamics*) menggunakan perangkat lunak *SolidWorks Flow Simulation* mencakup berbagai aspek yang memengaruhi hasil akhir simulasi. Berikut adalah beberapa parameter utama yang perlu diperhatikan.

Tabel 1. Property Carbon Monoxide

Parameter	Dimensi
Density	1,7878 kg/m ³
Thermal Conductivity	0,0145 W/m.k
Spesific Heat	840,37 J/kg.k
Viscosity	1,37E-05 kg/m.s

Tabel 2. Property pipa baja

Parameter	Dimensi
Diameter pipa	9,2 cm
Ketebalan pipa	2 mm
Density	7870 kg/m ³
Thermal Conductivity	79 W/m.c
Spesific Heat	447 J/kg.c

Tabel 3. Property pipa PVC

Parameter	Dimensi
Diameter	9,2 cm
Ketebalan	2 mm
Density	1379 kg/m ³
Thermal Conductivity	0,16 W/m.k
Spesific Heat	1004 J/kg.K

Tabel 4. Property bambu tali

Parameter	Dimensi
Diameter	9,2 cm, 6 cm
Ketebalan	1 cm
Density	0.671 g/m ³
Thermal Conductivity	0.1194 W/m.k
Spesific Heat	2.2271 J/kg.c

Dalam pelaksanaan simulasi menggunakan *SolidWorks Flow Simulation*, diperlukan sejumlah data untuk mengidentifikasi hasil yang ingin dicapai. Setelah pengumpulan data selama 10 hari, data tersebut dikelompokkan menjadi tiga bagian yang digunakan sebagai kondisi batas dalam simulasi. Berikut adalah data yang diambil sebagai kondisi batas selama simulasi berlangsung:

Tabel 5. Data Kecepatan aliran

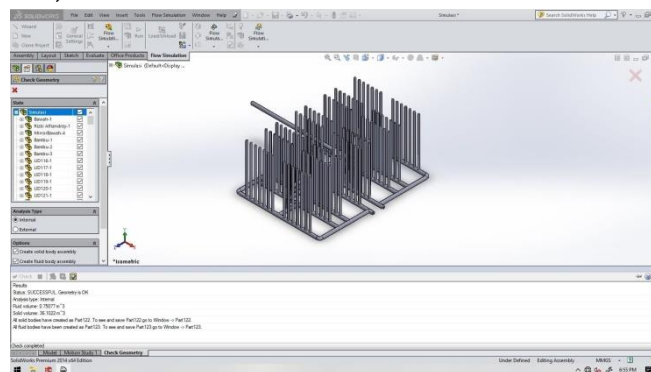
No	Hari Pengambilan Data	Volume aliran (m3/h)	Volume aliran (m3/s)	Kecepatan aliran (m/s)
		Intake	Intake	Intake
1	Hari Ke 1	62,545	0,0174	2,142
2	Hari Ke 2	113,007	0,0314	3,870
3	Hari Ke 3	53,789	0,0149	1,842
4	Hari Ke 4	100,856	0,0280	3,454
5	Hari Ke 5	121,455	0,0337	4,160
6	Hari Ke 6	102,278	0,0284	3,503
7	Hari Ke 7	61,583	0,0171	2,109
8	Hari Ke 8	109,199	0,0303	3,740
9	Hari Ke 9	97,995	0,0272	3,356
10	Hari Ke 10	98,69	0,0274	3,380
Rata-rata				3,156

Tabel 6. Data suhu masuk

No	Hari Pengambilan Data	Suhu masuk (°C)	Suhu Lingkungan
		Intake	
1	Hari Ke 1	48,06	30,75
2	Hari Ke 2	45,50	30
3	Hari Ke 3	56,50	28,75
4	Hari Ke 4	48,44	28,5
5	Hari Ke 5	53,75	27,75
6	Hari Ke 6	61,13	28,5
7	Hari Ke 7	49,25	27,5
8	Hari Ke 8	62,50	30
9	Hari Ke 9	50,25	29
10	Hari Ke 10	49,88	27,25
Rata-rata		52,53	28,8

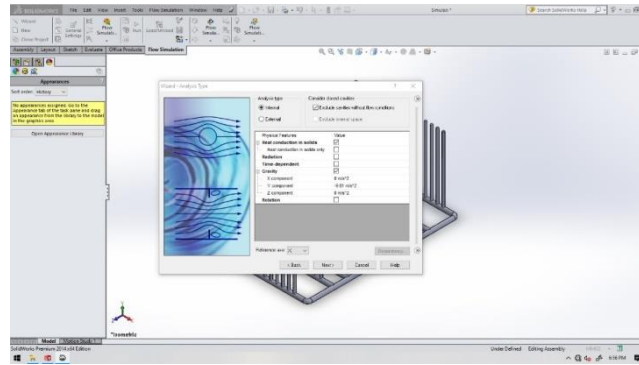
Proses Analisa Efisiensi

Sebelum memulai simulasi, geometri harus diperiksa untuk memastikan domain fluida yang akan disimulasikan bebas dari masalah. Pada tahap ini, setiap bagian yang tidak terpasang dengan sempurna harus diperbaiki. Jika tidak ada masalah serius pada geometri, perangkat lunak akan memberikan notifikasi "Geometry is OK." Pada bagian ini juga, volume fluida dalam desain alat destilasi dapat diketahui, dengan volume fluida internal sebesar 0,075077 m³ dan volume material padat sebesar 36,1022 m³.



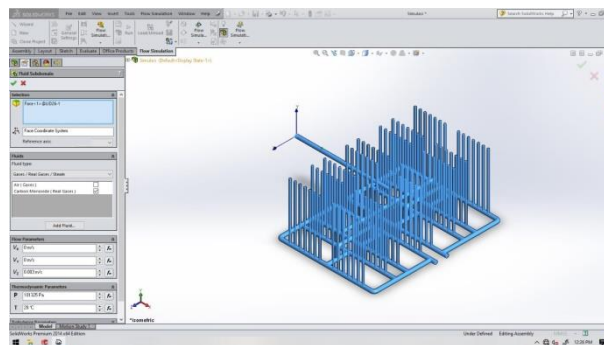
Gambar 1. Menu *check geometry*

Untuk memulai simulasi, wizard digunakan untuk menentukan jenis analisis yang akan dilakukan. Dalam penelitian ini, setup yang dipilih adalah analisis perpindahan panas.



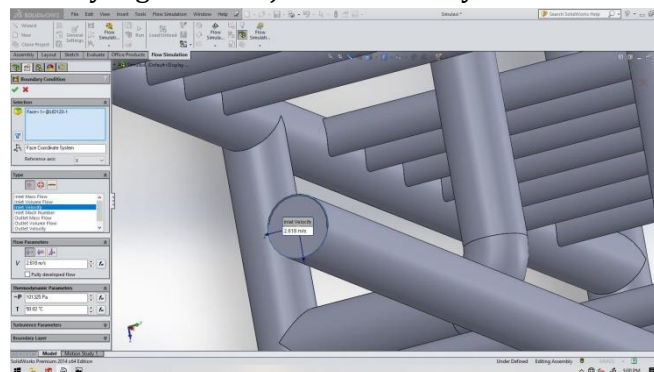
Gambar 2. Menu wizard

Selanjutnya, fluida dan domain fluida ditentukan berdasarkan geometri yang telah dibuat. Jenis analisis yang dilakukan adalah analisis internal dengan menggunakan karbon monoksida sebagai fluida.



Gambar 3. Menu fluid domain

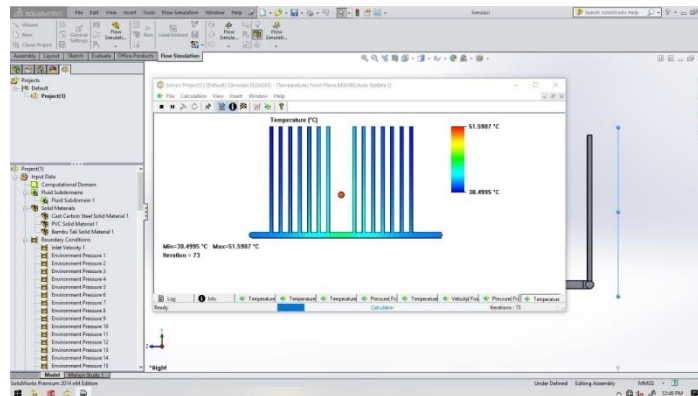
Pada menu material, pengguna dapat memilih material yang ada atau memodelkan material baru dengan memasukkan sifat termal material tersebut. Dalam penelitian ini, bambu dimodelkan sebagai material baru. Pada desain pertama, material yang digunakan adalah cast carbon steel, PVC, dan bambu, sementara pada desain kedua, material yang digunakan adalah cast carbon steel dan bambu. Kondisi batas ditentukan untuk menganalisis hasil simulasi. Pada tahap ini, data masukan dimasukkan ke dalam simulasi untuk dianalisis secara numerik oleh SolidWorks Flow Simulation. Data yang digunakan sebagai kondisi batas merupakan rata-rata nilai dari tabel 5 dan tabel 6 yangtelah disajikan sebelumnya.



Gambar 4. Menu boundary condition

Proses meshing dalam *SolidWorks Flow Simulation* adalah pembagian domain fluida atau padatan menjadi elemen-elemen kecil yang lebih mudah dianalisis. Kualitas mesh sangat

mempengaruhi akurasi hasil simulasi. Mesh terdiri dari jaringan elemen-elemen kecil, biasanya berbentuk tetrahedron untuk 3D atau segitiga untuk 2D, yang membentuk domain simulasi. Setiap elemen memiliki sifat fisik yang dihitung selama simulasi berlangsung. Goals adalah menu untuk menentukan parameter output yang akan dibaca dan ditampilkan. Dalam penelitian ini, goal yang diambil adalah suhu fluida pada permukaan keran. Setelah semua tahapan input selesai, mulai dari pembuatan geometri hingga meshing, tahap selanjutnya adalah menjalankan simulasi sesuai dengan parameter input yang telah dimasukkan.

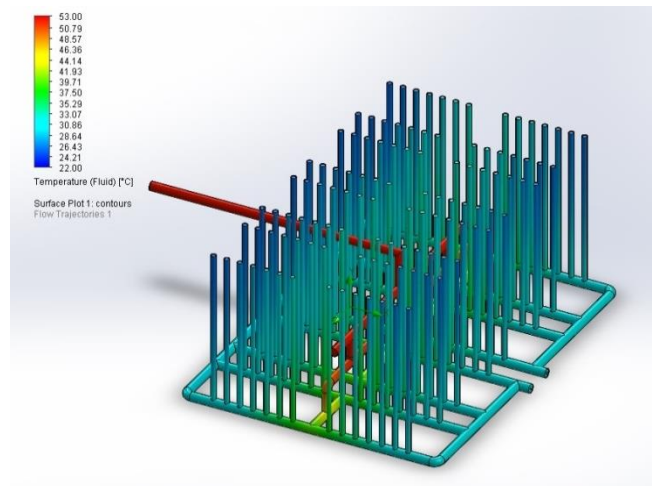


Gambar 5. Run simulation

Hasil Simulasi

Setelah semua parameter input, termasuk data kondisi batas dari Tabel 7, dimasukkan dan diselesaikan secara numerik menggunakan SolidWorks Flow Simulation, hasil simulasi ini kemudian digunakan sebagai data untuk menghitung efektifitas.

Alat Destilasi yang Menggunakan Bambu dan PVC



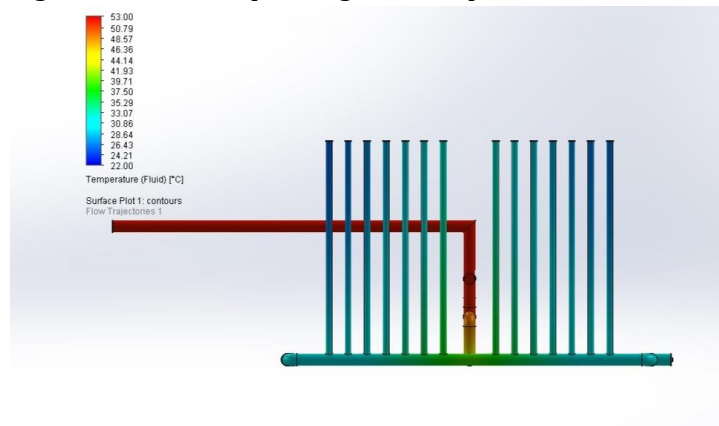
Gambar 6. Hasil Simulasi Bambu dan PVC

Tabel 7. Hasil goals pvc dan bambu

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value
Keran 1	[°C]	28,956	21,782	20,201	28,956
Keran 2	[°C]	28,940	21,746	20,146	28,940

Berdasarkan hasil simulasi, input suhu sebesar 52,53°C dengan kecepatan aliran 3,156 m/s menunjukkan bahwa suhu keluaran pada keran 1 mencapai 28,956°C dan pada keran 2

sebesar 28,940°C. Analisis ini mengindikasikan bahwa sistem destilasi yang menggunakan kombinasi material bambu dan PVC memiliki efektivitas pendinginan yang terbatas, terutama pada pipa intake yang terbuat dari baja karbon. Hal ini terlihat dari suhu yang masih tinggi di sekitar pipa intake, yang ditunjukkan oleh warna merah dalam hasil simulasi, dengan rentang suhu sekitar 48,57 - 52,02°C. Penurunan suhu yang rendah pada pipa intake tersebut menandakan bahwa material ini kurang optimal dalam mengurangi suhu aliran, yang dapat memengaruhi efisiensi keseluruhan proses destilasi. Kombinasi material yang digunakan mungkin perlu ditinjau kembali untuk meningkatkan efisiensi pendinginan dan performa alat destilasi.

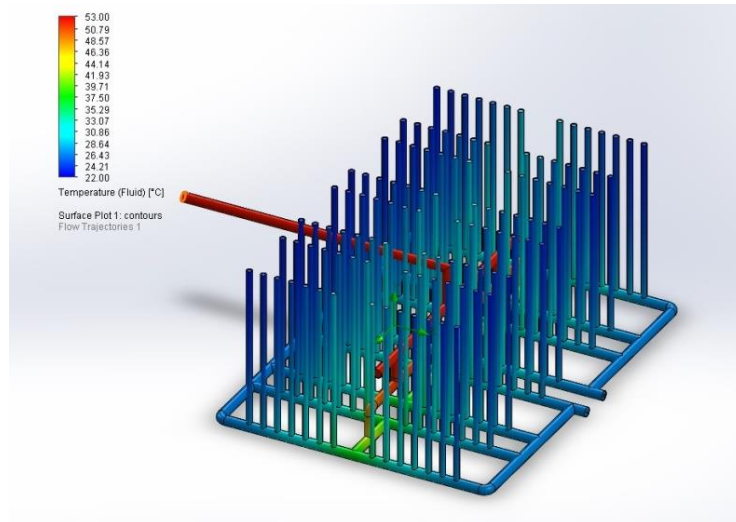


Gambar 7. Tampak samping hasil simulasi 1

Pada kondensor horizontal yang terbuat dari material PVC, terjadi penurunan suhu yang signifikan, sebagaimana divisualisasikan melalui gradasi warna dari oranye, kuning, hijau, hingga biru muda. Suhu tertinggi yang tercatat adalah 46,36°C, sementara suhu terendah mencapai 28°C. Sementara itu, pada kondensor vertikal yang terbuat dari bambu, suhu berkisar antara 26-30°C, dengan suhu terendah yaitu 26°C pada bagian yang paling jauh dari titik masuk asap, ditampilkan dalam gradasi warna dari biru muda hingga biru tua.

Hasil ini menunjukkan bahwa kondensor horizontal berbahan PVC memiliki kemampuan yang baik dalam menurunkan suhu, menciptakan gradasi suhu yang signifikan dari titik masuk hingga keluaran. Ini menandakan bahwa PVC efektif dalam memfasilitasi proses perpindahan panas. Sebaliknya, kondensor vertikal berbahan bambu menunjukkan suhu yang lebih stabil dan cenderung lebih rendah, terutama di area yang lebih jauh dari sumber panas. Ini menunjukkan bahwa bambu memiliki sifat insulasi yang lebih baik, menjaga suhu lebih rendah secara konsisten. Secara keseluruhan, hasil simulasi ini mengindikasikan bahwa masing-masing material memiliki keunggulan spesifik dalam pengaturan suhu, dengan PVC menunjukkan kemampuan penurunan suhu yang lebih drastis dan bambu memberikan stabilitas suhu yang lebih konsisten di seluruh kondensor. Berikut adalah hasil pembacaan simulasi berdasarkan goals yang telah ditetapkan, dengan posisi atau lokasi goals berada di permukaan luar baik pada keran 1 maupun keran 2.

Alat Destilasi yang Menggunakan Full Bambu



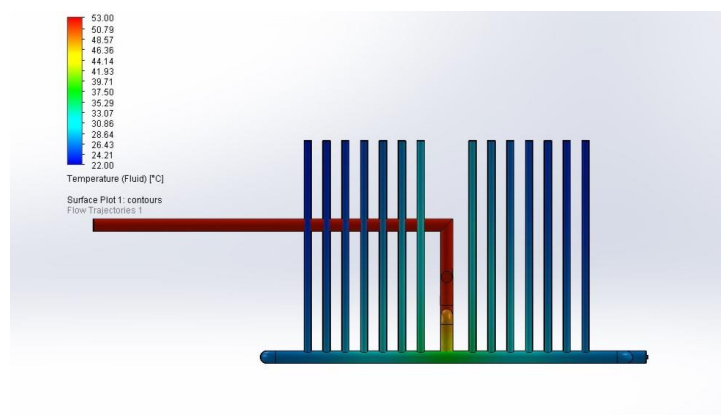
Gambar 8. Hasil Simulasi Full Bambu

Tabel 8. Hasil goal full bambu

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value
Keran 1	[°C]	26,689	21,133	20,051	26,689
Keran 2	[°C]	26,700	21,111	20,051	26,700

Hasil simulasi dengan input suhu 52,53°C dan kecepatan aliran 3,156 m/s menunjukkan suhu keluaran pada keran 1 sebesar 26,689°C dan pada keran 2 sebesar 26,7°C. Seperti sebelumnya, sistem destilasi yang menggunakan material bambu sepenuhnya juga memperlihatkan bahwa pipa intake dari baja karbon memiliki suhu yang masih tinggi, dengan penurunan suhu yang rendah. Hal ini ditunjukkan oleh warna merah dalam hasil simulasi, dengan rentang suhu sekitar 48,57 - 52,02°C.

Meskipun sistem menggunakan bambu sebagai material utama, hasil simulasi menunjukkan bahwa pipa intake dari baja karbon tetap tidak efektif dalam menurunkan suhu aliran secara signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa baja karbon mungkin bukan pilihan material yang optimal untuk bagian ini, terutama dalam aplikasi yang membutuhkan penurunan suhu yang lebih efisien. Efektivitas sistem destilasi dapat ditingkatkan dengan mempertimbangkan material alternatif atau desain ulang pipa intake untuk mencapai pendinginan yang lebih efektif dan meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem.



Gambar 9. Tampak samping hasil simulasi 2

Pada kondensor horizontal yang menggunakan material bambu, terjadi penurunan suhu yang efektif, seperti yang divisualisasikan oleh gradasi warna oranye, kuning, hijau, dan biru

muda. Suhu tertinggi yang terdeteksi adalah 46,36°C, sedangkan suhu terendah mencapai 26°C. Sementara itu, pada kondensor vertikal yang juga menggunakan material bambu, suhu berkisar antara 22-28°C. Bagian kondensor yang terjauh dari titik masuknya asap menunjukkan suhu terendah, yaitu 22°C, yang terlihat dalam gradasi warna biru muda hingga biru tua.

Penggunaan bambu sebagai material dalam kedua desain kondensor, baik horizontal maupun vertikal, menunjukkan efisiensi yang baik dalam penurunan suhu. Kondensor horizontal secara efektif menurunkan suhu dari 46,36°C hingga 26°C, yang menandakan bahwa perpindahan panas terjadi dengan baik di sepanjang kondensor. Kondensor vertikal bahkan lebih efisien dalam menurunkan suhu, dengan suhu terendah mencapai 22°C di bagian terjauh dari masuknya asap. Hal ini mengindikasikan bahwa bambu mampu memberikan insulasi yang baik dan mendukung perpindahan panas secara optimal. Penggunaan material bambu, selain ramah lingkungan, juga terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi kondensasi dalam proses destilasi ini. Berikut merupakan nilai yang dibaca dari hasil simulasi pada keran 1 dan 2.

Efektifitas Alat Destilasi

Setelah melakukan simulasi pada dua jenis alat destilasi, langkah selanjutnya adalah menghitung efektifitas masing-masing alat menggunakan rumus efisiensi destilasi. Berdasarkan perhitungan, diketahui bahwa alat destilasi yang sepenuhnya menggunakan bambu memiliki efektifitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan alat yang menggunakan kombinasi bambu dan PVC.

Tabel 9. Efektifitas alat destilasi

No	Jenis Geometry	Suhu masuk (°C)		Suhu Keluar (°C)		Efektifitas %
		Intake	Keran 1	Keran 2	Keran 2	
1	Bambu dan PVC	52,48	28,956	28,94		73,15
2	Full Bambu	52,48	26,689	26,7		80,99

Hasil perhitungan efisiensi menunjukkan bahwa alat destilasi yang menggunakan material bambu secara keseluruhan mampu menghasilkan penurunan suhu yang lebih baik dibandingkan dengan alat yang menggunakan kombinasi bambu dan PVC. Hal ini disebabkan oleh konduktivitas termal bambu yang lebih rendah dibandingkan PVC, sehingga bambu lebih efektif dalam menghambat perpindahan panas. Efektifitas alat destilasi yang sepenuhnya menggunakan bambu terlihat dalam kemampuannya untuk mendinginkan asap cair dengan lebih efisien.

Material bambu yang digunakan dalam alat destilasi sepenuhnya terbukti memberikan kinerja yang superior dalam hal efektifitas pendinginan. Konduktivitas termal yang lebih rendah pada bambu memungkinkan material ini untuk mempertahankan suhu yang lebih rendah sepanjang proses destilasi, mengurangi kehilangan panas dan meningkatkan efisiensi kondensasi. Dalam konteks ini, bambu bertindak sebagai isolator yang efektif, mencegah panas berlebih untuk keluar dari sistem dan memastikan bahwa suhu asap cair dapat dikendalikan dengan lebih baik. Sebaliknya, kombinasi PVC dan bambu tidak mampu menyaingi kinerja alat destilasi yang seluruhnya terbuat dari bambu karena PVC memiliki konduktivitas termal yang lebih tinggi, yang menyebabkan perpindahan panas yang lebih cepat dan penurunan efektifitas pendinginan. Hasil ini menegaskan bahwa pemilihan material dengan sifat termal yang tepat adalah kunci untuk meningkatkan efisiensi dalam proses destilasi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa bambu merupakan material yang lebih efektif dalam proses kondensasi asap cair pada alat destilasi dibandingkan dengan PVC. Hal ini disebabkan oleh konduktivitas termal bambu yang lebih rendah, yaitu 0,1194 W/m.K, dibandingkan dengan PVC yang memiliki konduktivitas termal sebesar 0,16 W/m.K. Sebagai isolator panas alami, bambu mampu mengurangi perpindahan panas lebih efisien, seperti yang terlihat pada hasil simulasi, di mana alat destilasi yang menggunakan bambu sepenuhnya dapat menurunkan suhu asap cair dari 52,53°C menjadi 26,689°C pada keran 1 dan 26,7°C pada keran 2. Selain itu, alat destilasi yang sepenuhnya menggunakan bambu menunjukkan efektivitas yang lebih tinggi, yaitu sebesar 80,99%, dibandingkan dengan alat yang menggunakan kombinasi PVC dan bambu, yang hanya mencapai efektivitas sebesar 73,15%. Hasil ini menunjukkan bahwa bambu memiliki potensi besar sebagai material utama dalam desain alat destilasi yang efisien.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad Ramadhan Muzaki, & Fajar Anggara. (2022). *Simulasi kontur distribusi suhu dan kecepatan fluida pada heat exchanger type shell and tube aliran dua stage sistem counter flow dengan Computational Fluid Dynamics (CFD)*. Universitas Mercu Buana, 6-13.
- Helmenstine, A. M. (2018). Smoke chemistry and chemical composition. *ThoughtCo*. Diakses dari <https://www.thoughtco.com/smoke-chemistry-607309> pada 3 Mei 2018.
- Billy, G. (2021). Memahami penggunaan pipa baja dalam industri minyak & gas. *Eannovate*. Diakses dari <https://www.eannovate.com/memahami-penggunaan-pipa-baja-dalam-industri-minyak-amp-gas/> pada 10 Agustus 2021.
- Bondantio Putro, E., Yohana, E., & Yuniyanto, B. (2015). Analisis CFD distribusi temperatur dan kelembaban relatif pada proses dehumidifikasi sample house dengan konsentrasi liquid desiccant 30%. *Universitas Diponegoro*, 181-187.
- Versteeg, H. K., & Malalasekera, W. (1995). *An introduction to computational fluid dynamics*. London: Pearson Education Limited.
- Arifin, H. Z., Irawati, I. S., & Awaludin, A. (2021). Review pemodelan numerik material bambu. *Universitas Gadjah Mada*.
- Infimech. (2024). Tahap-tahap pada simulasi CFD. Diakses dari <https://infimech.co.id/tahap-tahap-simulasi-cfd/>.
- Mhd. Rizwandi, & Alfansuri. (2019). Analisa efisiensi alat destilasi asap cair terhadap kuantitas asap cair di dapur arang (suku asli) desa Jangkang. *Politeknik Negeri Bengkalis*, 88-95.
- Ndale, F. X. (2013). Sifat fisik dan mekanik bambu sebagai bahan konstruksi. *Universitas Flores Ende*, 22-31.

- Pangestu, A. (2022). Pengertian destilasi, macam, prinsip, cara kerja, dan contohnya. *Pakar Kimia*. Diakses dari <https://www.pakarkimia.com/pengertian-destilasi/> pada 21 Februari 2021.
- Pardi, A., & Romadhoni. (2021). Simulasi aliran emisi gas CO pada cerobong asap las galangan kapal baja menggunakan pendekatan CFD. *Politeknik Negeri Bengkalis*, 28-34.
- Sri Mudiastuti, Tambunan, A., & Simbolon, A. (2021). Experimental and theoretical analysis of thermal properties in Zephyr bamboo tali (*Gigantochloa apus* Kurz). *Jurnal Keteknikan Pertanian*, 111-118.
- Olaru, I. (2020). A CFD analysis in SolidWorks Flow Simulation for two mixing fluids with different temperatures in nozzles. *University of Bacau*, 41-46.
- Rubianto, B., Winarso, R., & Wibowo, R. (2018). Rancang bangun kondensor pada destilator bioetanol kapasitas 5 liter/jam dengan skala UMKM. *Universitas Muria Kudus*, 29-36.
- Sitorus, D. B. N., Sitorus, T. B., Terang, U. H. S. G., & Pintoro, A. (2019). Analisa kondensor mesin pendingin adsorpsi tenaga surya dengan menggunakan simulasi 3D. *Universitas Sumatera Utara*, 61-66.
- Windy Brilliant, Nugroho, S., & Safitra, A. G. (2020). Studi numerik pencegahan laju erosi pada header flash box kondensor menggunakan metode CFD. *Politeknik Negeri Elektronika Surabaya*, 120-128.
- Simbolon, S., & Setia, Y. (2022). Simulasi distribusi suhu, tekanan, dan kecepatan gas dalam pipa pirolisis pada reaktor-kondensor. *Universitas Pamulang*, 155-165.