EVALUASI KRITIS PEMILIHAN MATERIAL PIPA PADA DOUBLE PIPE HEAT EXCHANGER SERTA USULAN MATERIAL ALTERNATIF UNTUK PENINGKATAN KINERJA TERMAL

Kansa Safarina Azzura[1], Fitri Andani[2], L Dindo Marajo Gendi[3], Oki Alfernando[4], Aldillah Herlambang[5], Rizka Shafira[6]

[1,2,3,4,5,6]*Universitas Jambi*
E-mail : safazurakansa@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan sebuah evaluasi kritis terhadap pemilihan material – material pipa pada *double pipe heat exchanger* dan juga mengusulkan material alternatif untuk dapat meningkatkan kinerja termal. Analisis ini dilakukan berdasarkan studi berbasis *Computational Fluid Dynamics* (CFD) yang membandingkan sebuah material *stainless steel* dan aluminium terhadap koefisien di perpindahan panas. Hasil menunjukkan bahwa aluminium memiliki kinerja termal yang lebih tinggi dibandingkan dengan *stainless steel* akibatnya konduktivitas termalnya lebih besar. Namun, pemilihan material di dalam studi ini masih terbatas dikarenakan hanya mempertimbangkan sebuah aspek termal tanpa memperhatikan faktor - faktor lain seperti ketahanan korosi, biaya, dan umur pemakaian alat tersebut. Oleh karena itu, dipililah sebuah material alternatif yang lebih baik seperti titanium dan *copper* sebagai sebuah pertimbangan untuk meningkatkan performa dan keandalan alat. Pemilihan material yang baik sangatlah penting dalam mempertimbangkan keseimbangan antara kinerja termal, ketahanan korosi, dan aspek ekonomi.

Kata Kunci : *Heat Exchanger, Material Pipa, Kinerja Termal, CFD, Perpindahan Panas*

ABSTRACT

This study aims to conduct a critical evaluation of the selection of pipe materials in a double pipe heat exchanger and also propose alternative materials to improve thermal performance. This analysis is based on a Computational Fluid Dynamics (CFD)-based study that compares stainless steel and aluminum materials against the coefficient of heat transfer. The results show that aluminum has a higher thermal performance compared to stainless steel, resulting in greater thermal conductivity. However, the material selection in this study is still limited because it only considers the thermal aspect without considering other factors such as corrosion resistance, cost, and service life of the device. Therefore, a better alternative material is chosen as a consideration to improve the performance and reliability of the device. Good material selection is very important in considering the balance between thermal performance, corrosion resistance, and economic aspects.

Keywords : *Heat Exchanger, Pipe Material, Thermal Performance, CFD, Heat Transfer.*

PENDAHULUAN

Heat exchanger jenis double pipe adalah perangkat yang digunakan di berbagai bidang industri untuk mentransfer panas secara efisien antara dua jenis cairan yang mengalir melalui dua buah pipa yang berbeda. Dalam proses transfer panas pada heat exchanger jenis double pipe, dinding pipa yang memisahkan fluida panas dan fluida dingin berperan penting dalam mempengaruhi efisiensi kerja alat tersebut. Dalam membuat dan menjalankan penukaran panas, pemilihan bahan untuk pipa harus tepat, serta cara aliran fluida mempengaruhi kinerja termal alat tersebut secara signifikan. Misalnya, penelitian yang dilakukan oleh Zulfahmi et al. (2021) menunjukkan bahwa aluminium memiliki kemampuan menghantarkan panas yang lebih baik dibandingkan *stainless steel*, sehingga mampu memberikan efisiensi perpindahan panas yang lebih tinggi pada jenis heat exchanger berupa pipa ganda. Oleh karena itu, untuk membuat alat penukar panas yang terbaik, diperlukan analisis yang mendalam mengenai keseimbangan antara kemampuan dalam mentransfer panas, biaya pembuatan, daya tahan terhadap karat, serta durasi penggunaan alat tersebut. Selain dari jenis material pipa dan bentuk aliran fluida, desain geometris juga sangat penting dalam meningkatkan kinerja alat penukar panas.

Menurut Alhulaifi (2024), proses pertukaran panas pada heat exchanger jenis double pipe terjadi melalui konduksi pada dinding pipa dan konveksi fluida, sehingga sifat material pipa sangat berpengaruh terhadap kinerja panas dalam sistem tersebut. Hasil analisis tersebut kemudian digunakan untuk menyarankan desain material dan jenis aliran yang paling efektif, sehingga dapat meningkatkan kinerja penukar panas jenis pipa ganda. Menurut Zhang et al. (2023), heat exchanger jenis double-pipe sudah banyak digunakan di berbagai industri karena kemampuannya dalam mentransfer panas secara efisien.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis koefisien pembusukan panas *pada heat exchanger double-pipe* dengan variasi bahan pipa serta pengaturan aliran fluida yang berbeda. Analisis ini akan dilakukan dengan menggunakan simulasi CFD, di mana variabel bebas yang digunakan adalah jenis material pipa (aluminium dan stainless steel) serta jenis aliran fluida (counter current dan parallel current). Hasil dari analisis ini nantinya akan digunakan untuk menyarankan jenis material dan jenis aliran yang paling baik, sehingga dapat meningkatkan kinerja penukaran panas pipa ganda. Amstrong et al. (2023), heat exchanger jenis double pipe sudah banyak digunakan di berbagai bidang industri karena kemampuannya dalam mentransfer panas secara efisien. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis koefisien evolusi panas pada pipa ganda heat exchanger dengan menggunakan bahan pipa yang berbeda serta variasi bentuk aliran fluida.

Analisis ini akan dilakukan dengan menggunakan simulasi CFD, di mana variabel bebas yang digunakan adalah jenis material pipa (aluminium dan *stainless steel*) serta jenis konfigurasi aliran fluida (*counter current* dan *parallel current*). Hasil analisis ini nantinya akan digunakan untuk menyarankan jenis material dan konfigurasi aliran yang paling baik, sehingga dapat meningkatkan kinerja penukaran panas pipa ganda. Menurut Zhang et al. (2023), heat exchanger jenis double pipe sudah banyak digunakan di berbagai bidang industri karena kemampuannya dalam mentransfer panas secara efisien. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis koefisien perpindahan panas pada pipa ganda heat exchanger dengan variasi bahan pipa serta pengaturan aliran cairan yang berbeda. Analisis ini akan dilakukan melalui simulasi CFD dengan

variabel bebas berupa jenis material pipa (aluminium dan *stainless steel*) serta konfigurasi aliran fluida (*counter current* dan *parallel current*), dengan tujuan untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai efisiensi perpindahan panas pada berbagai desain heat exchanger.

Tabel 1. Ringkasan Jurnal

No	Judul Jurnal	Penulis	Metodologi	Fokus Penelitian	Hasil Utama
1	Analisis Efisiensi dan Efektivitas Laju Perpindahan Panas pada Alat Heat Exchanger Tipe Double Pipe dengan Aliran Searah	Pratama, A. B., et al.	Eksperimental, Analisis Laju Perpindahan Panas	Menguji efisiensi perpindahan panas pada alat heat exchanger tipe double pipe	Ditemukan bahwa aliran searah memberikan hasil yang lebih efisien dalam hal perpindahan panas
2	Analisis Desain Rancangan Alat Penukar Kalor Tipe Double Pipe (Aliran Searah & Berlawanan Arah)	Muslimin, et al.	Desain, Simulasi CFD	Menganalisis konfigurasi aliran fluida pada alat heat exchanger tipe double pipe	Konfigurasi counter-current lebih efektif dalam peningkatan efisiensi perpindahan panas
3	Analisis Efektivitas Laju Perpindahan Panas Alat Penukar Kalor Pipa Ganda	Walikrom	Eksperimental, Perbandingan Material	Menguji kinerja heat exchanger dengan material pipa berbeda	Material aluminium lebih efisien dalam perpindahan panas dibandingkan dengan stainless steel
4	Analisis Perpindahan Kalor pada Double Pipe Heat Exchanger Beraliran Lawan Arah	Zulfahmi, M. T., et al.	Simulasi CFD, Eksperimental	Menganalisis dampak penggunaan sirip trapesium pada heat exchanger	Penggunaan sirip trapesium meningkatkan kinerja perpindahan panas

	Menggunakan Sirip Trapesium				
5	Analisa Kinerja Alat Penukar Kalor Jenis Pipa Ganda	**Analis**	Simulasi CFD, Eksperimen	Menguji kinerja alat dengan variasi konfigurasi dan material	Konfigurasi counter-current memberikan hasil lebih baik dalam kinerja
6	Kajian Eksperimental Unjuk Kerja Heat Exchanger Double Pipe	Taufiq	Eksperimen, Uji Kinerja	Menguji unjuk kerja heat exchanger pada kondisi nyata	Ternyata, heat exchanger dengan material aluminium memberikan kinerja lebih baik dibandingkan stainless steel
7	Analisis Perpindahan Kalor dan Efektivitas pada Penukar Kalor Spiral Tube in Shell	Firdaus, R., et al.	Simulasi CFD, Eksperimen	Menganalisis desain spiral tube heat exchanger dan efektivitas transfer panas	Desain spiral tube memberikan efektivitas lebih tinggi pada transfer panas

Tabel di atas merupakan ringkasan dari tujuh jurnal yang membahas tentang aspek terkait dengan *double pipe heat exchanger*. Penelitian-penelitian ini menggunakan berbagai metodologi, yaitu termasuk eksperimen dan simulasi berbasis *Computational Fluid Dynamics* (CFD), untuk menganalisis efisiensi perpindahan panas dalam alat tersebut. Pada analisis ini berfokus utama pada masing-masing studi yang mencakup perbandingan material pipa, struktur aliran fluida (seperti aliran searah dan berlawanan arah), serta desain alat yang optimal. Hasil dari penelitian-penelitian ini menunjukkan bahwa struktur aliran berlawanan arah (*counter-current*) yang sering kali dapat memberikan kinerja perpindahan panas yang lebih efisien, sementara penggunaan material dengan konduktivitas termal lebih tinggi, seperti aluminium, memberikan kinerja yang jauh lebih baik dibandingkan dengan stainless steel. Beberapa studi juga mengkaji penggunaan sirip tambahan dan desain spiral untuk dapat meningkatkan efisiensi perpindahan panas. Temuan-temuan ini dapat memberikan sebuah wawasan penting bagi desain dan pemilihan material dalam pengembangan alat heat exchanger untuk berbagai aplikasi di dunia industri, seperti dalam industri kimia, pembangkit listrik, dan juga pengolahan makanan.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan simulasi numerik berdasarkan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk menganalisis cara kerja *double pipe heat exchanger*. Simulasi bisa

dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak ANSYS 2022 R2 versi student. Model alat heat exchanger yang digunakan adalah tipe double pipe, yang terdiri dari dua bagian utama, yaitu pipa dalam berupa tube dan pipa luar berupa shell. Panas bergerak melalui pipa yang ada di dalam, sementara fluida yang lebih dingin mengalir di pipa yang berada di luar. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah jenis bahan pipa, yaitu aluminium dan stainless steel, serta bentuk aliran fluida yang dibelah menjadi dua, yaitu aliran sejajar dan aliran berlawanan. Sementara itu, variabel tetap yang digunakan dalam penelitian ini adalah laju alir fluida panas sebesar 0,1 kg/s, laju alir fluida dingin sebesar 0,5 kg/s, suhu inlet fluida panas sebesar 350 K, dan suhu inlet fluida dingin sebesar 298 K. Simulasi dimulai dengan membuat model bentuk menggunakan ANSYS SpaceClaim, kemudian dilanjutkan dengan proses pembagian jaringan menggunakan mesh ANSYS Workbench. Setelah itu, atur kondisi batas seperti laju alir, suhu, dan tekanan fluida. Simulasi ini dilakukan dengan metode penyelesaian yang terkait dan skema diskritisasi berorde dua ke arah upstream untuk meningkatkan ketepatan hasilnya. Hasil simulasi menunjukkan distribusi suhu dan nilai koefisien evolusi panas, yang kemudian dianalisis untuk mengetahui dampak perubahan bahan serta struktur terhadap efisiensi aliran alat pertukaran panas.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Identifikasi Kriteria Pemilihan Material

Pemilihan material untuk pipa pada heat exchanger jenis double pipe harus memperhatikan berbagai kriteria teknis yang penting agar alat tersebut dapat berfungsi dengan baik, efisien, dan tahan lama. Menurut Ismailov et al. (2025), penggunaan batang padat sebagai penambah pada heat exchanger jenis double pipe terbukti meningkatkan efisiensi transfer panas secara sangat signifikan jika dibandingkan dengan pipa yang tidak dimodifikasi. Beberapa hal utama yang perlu diperhatikan saat memilih bahan pipa untuk alat penukar panas antara lain:

a) Konduktivitas Termal

Konduktivitas termal, yaitu salah satu faktor penting dalam menentukan bahan yang digunakan. Bahan yang memiliki kemampuan menghantarkan panas dengan baik memudahkan perpindahan panas antara cairan yang panas dan cairan yang dingin. Misalnya, aluminium memiliki kemampuan menghantarkan panas yang lebih baik dibandingkan baja tahan karat, dan aluminium lebih efektif dalam mengalirkan panas. Bahan yang tidak menghantarkan panas dengan baik, meskipun lebih tahan lama dan lebih murah, bisa membuat penghematan panas menjadi kurang efisien dan membutuhkan alat yang lebih besar untuk mendapatkan hasil yang sama.

b) Ketahanan terhadap Korosi

Pipa harus tahan terhadap korosi, terutama di lingkungan industri yang rawan korosi, karena mengandung bahan kimia yang dapat menyebabkan korosi, serta fluida panas dan dingin yang dapat merusak material. Baja tahan karat dikenal karena tahan terhadap pengaruh korosif, sehingga menjadi pilihan yang sangat bagus untuk digunakan dalam situasi yang membutuhkan ketahanan terhadap lingkungan yang keras, seperti di pembangkit listrik atau sistem yang menggunakan air laut (Pratama et al., 2024). Namun bahan seperti aluminium meskipun mampu menghantarkan panas lebih baik, lebih mudah terkena karat, terutama di lingkungan yang mengandung garam atau asam.

c) Biaya Material

Biaya material adalah salah satu faktor penting yang harus dipertimbangkan saat memilih bahan, karena material yang memiliki performa lebih baik biasanya memiliki harga yang lebih mahal. Meskipun alumunium memiliki performa termal yang lebih baik, harganya lebih mahal dibandingkan baja tahan karat. Oleh karena itu, memilih bahan yang murah atau sesuai dengan dana yang dimiliki tetapi tetap bekerja dengan baik sangat penting untuk mengurangi pengeluaran produksi dan operasional pabrik dalam waktu yang lebih lama.

d) Umur Pakai dan Keandalan

Pemilihan bahan harus mempertimbangkan usia pakai dan keandalan alat, serta pendekatan penelitian tentang usia pakai perangkat. Bahan yang lebih tahan lama dan bisa menahan pendinginan termal, seperti stainless steel dan titanium, bisa membuat alat heat exchanger lebih tahan lama. Umur pakai yang lebih lama berarti biaya untuk merawat dan mengganti materialnya lebih sedikit atau lebih murah, sehingga bisa memberikan keuntungan ekonomi yang lebih baik dalam jangka panjang (Zulfahmi et al., 2021).

e) Sifat Mekanis dan Termal

Sifat mekanik dan termal adalah karakteristik dari material yang menentukan bagaimana material tersebut berperilaku ketika menerima beban atau panas. Sifat mekanis juga penting dalam memilih material pipa yang akan digunakan. Bahan yang digunakan harus cukup kuat agar bisa menahan tekanan dari fluida yang mengalir melalui pipa, serta cukup tahan terhadap panas yang muncul akibat perubahan suhu yang cepat antara fluida yang panas dan dingin. Meskipun harga titanium lebih tinggi, tetapi material ini memiliki sifat mekanis yang baik dan juga mampu tahan terhadap panas dengan baik. Jadi, titanium adalah pilihan yang baik bagi orang yang membutuhkan bahan yang tahan terhadap tekanan dan suhu yang sangat tinggi.

f) Kemudahan Pemrosesan dan Fabrikasi

Kemudahan dalam pemrosesan dan fabrikasi merupakan salah satu aspek yang penting dalam memilih material, karena sifat teknis material saja tidak selalu menunjukkan seberapa mudah material tersebut bisa diproduksi atau dipakai di lapangan. Aluminium, misalnya, terbukti lebih mudah diproses dibandingkan stainless steel. Kondisi ini langsung memengaruhi penghematan biaya produksi serta mempercepat proses pembuatan (Muslimin et al., 2021). Dengan kata lain, pertimbangan praktis dalam proses pembuatan dan perakitan alat tidak bisa dipisahkan dari keputusan dalam memilih bahan yang digunakan. Pada akhirnya, memilih bahan untuk penukar panas pipa ganda memerlukan pendekatan yang menyeluruh, tidak hanya mencari kinerja panas yang terbaik, tetapi juga memperhatikan biaya yang efisien serta ketahanan alat dalam waktu yang lama. Perkembangan teknologi juga memberikan peluang bagi bahan seperti titanium dan tembaga untuk digunakan, terutama dalam industri yang membutuhkan kemampuan dalam menyalurkan secara panas lebih baik dan kemampuan tahan terhadap penggunaan yang lebih lama.

Faktor-faktor yang dipertimbangkan dalam pembuatan dan perakitan alat tidak bisa dipisahkan dari keputusan dalam memilih bahan yang digunakan. Akhirnya, memilih bahan untuk pipa penukar panas ganda memerlukan pendekatan yang lebih lengkap, bukan hanya mencari kinerja termal terbaik, tetapi juga memperhatikan biaya yang efisien serta ketahanan alat dalam waktu yang lebih lama. Perkembangan teknologi juga memberikan peluang bagi bahan seperti titanium dan tembaga untuk digunakan, khususnya dalam aplikasi industri yang membutuhkan

kemampuan meneruskan secara panas lebih baik dan daya tahan dalam pengoperasian yang lebih tinggi. Pertimbangan dalam membuat dan merakit peralatan tidak bisa dipisahkan dari pilihan bahan yang digunakan sendiri. Akhirnya, memilih bahan untuk pertukaran panas pada pipa ganda memerlukan pendekatan yang komprehensif, bukan hanya mencari kinerja termal yang optimal, tetapi juga mempertimbangkan efisiensi biaya serta ketahanan alat dalam waktu yang lama. Perkembangan teknologi juga memberikan peluang bagi bahan seperti titanium dan tembaga untuk digunakan, khususnya dalam aplikasi industri yang membutuhkan kemampuan mengalirkan panas yang lebih baik dan ketahanan dalam operasi yang lebih baik.

Analisis Kritis

Berdasarkan hasil simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) yang dilakukan untuk menganalisis koefisien perpindahan panas pada heat exchanger jenis informasi *double pipe*, ditemukan beberapa yang menunjukkan dampak jenis material pipa serta jenis aliran terhadap kinerja keseluruhan alat tersebut.

Dari segi bahan, aluminium memiliki kemampuan menghantarkan panas yang lebih baik dibandingkan baja tahan karat. Nilai koefisien pergeseran panas terbesar dicatat saat menggunakan konfigurasi arus sejajar dengan bahan alumunium, yaitu sebesar 41,9 W/m²K, sedangkan nilai terkecil diperoleh pada konfigurasi arus berlawanan dengan bahan stainless steel, yaitu sebesar 37,3 W/m²K. Perbedaan ini terjadi karena nilai konduktivitas termal dari masing-masing bahan. Aluminium memiliki konduktivitas termal yang lebih tinggi, sehingga mampu mempercepat proses pertukaran panas antara fluida yang panas dan dingin secara lebih efektif. Meski begitu, aluminium memiliki kelemahan tertentu, terutama dalam hal ketahanannya terhadap karat ketika digunakan di lingkungan industri yang mengandung bahan kimia yang berbahaya. Baja tahan karat, meskipun kurang baik dalam hal konduktivitas, justru lebih diyakini digunakan dalam kondisi operasional yang berkorosivitas tinggi karena kemampuannya dalam menahan kerusakan lebih baik.

Berkaitan dengan pengaturan aliran, hasil simulasi menunjukkan bahwa aliran sejajar memberikan kinerja transfer panas yang lebih baik. Penyebabnya adalah karena perbedaan suhu yang cukup besar di bagian depan aliran fluida, sehingga proses penyebaran panas terjadi dengan lebih kuat. Seperti halnya dalam aliran kontra arah, di mana kedua fluida yang bergerak dalam arah yang berlawanan cenderung mendekati suhu yang seimbang di bagian ujung peralatan, sehingga pada akhirnya mengurangi perbedaan suhu dan memperlambat laju transfer panas. Meski begitu, keunggulan arus paralel dalam simulasi ini belum tentu menjadikannya pilihan yang cocok untuk semua situasi. Kondisi nyata saat operasional, seperti kecepatan aliran, suhu masuk, dan sifat fluida yang digunakan, sangat mempengaruhi konfigurasi yang paling tepat. Dalam beberapa situasi, aliran berlawanan tetap bisa menjadi pilihan yang lebih tepat dan hemat energi.

Secara umum, penelitian ini menekankan bahwa keberhasilan desain heat exchanger berdouble pipe sangat bergantung pada ketepatan dalam memilih bahan dan konfigurasi aliran. Keduanya perlu dijelaskan secara bersamaan dengan memperhatikan kebutuhan aplikasi, bukan hanya untuk mengejar kemajuan perubahan panas yang tinggi saja (Ivananda, 2023).

Re-Evaluasi Material

Dari evaluasi material berdasarkan analisis hasil terhadap kinerja pipa pada *heat exchanger* jenis *double pipe*, terlihat jelas bahwa tidak ada satu material pun yang bisa dianggap sebagai pilihan terbaik di semua aspek. Aluminium memang memiliki kemampuan menghantarkan panas

yang lebih baik, tetapi daya tahan terhadap karat, biaya pembelian, serta masa pakai produk tetap perlu dipertimbangkan secara sama sebelum memutuskan jenis bahan yang akan digunakan.

Keunggulan aluminium terlihat jelas dari kemampuannya mengalirkan panas dengan baik antara fluida yang panas dan yang dingin. Namun di balik itu, material ini cukup mudah rusak ketika berada di lingkungan yang mengandung bahan kimia aktif atau udara laut. Aluminium tidak dapat menahan suhu yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dengan baik, sehingga dalam waktu yang lama, kinerjanya bisa menurun jika digunakan dalam kondisi kerja yang tidak stabil.

Baja tahan karat memiliki karakteristik yang hampir berlawanan. Konduktivitas termalnya memang lebih rendah, tapi itulah kekuatannya — material ini bisa tahan lebih lama di lingkungan yang korosif dan di kondisi ekstrem. Harga yang lebih mahal memang bisa menjadi pertimbangan, tetapi untuk aplikasi yang membutuhkan ketahanan, memilih bahan stainless steel sering kali lebih bijak dalam jangka waktu yang lebih lama.

Selain kedua bahan tersebut, titanium dan tembaga juga patut dipertimbangkan dalam daftar bahan yang digunakan. Tembaga dikenal memiliki kemampuan menghantarkan panas yang sangat baik, sehingga cocok digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan efisiensi transfer panas yang tinggi — meskipun tergantung pada kondisi tertentu, tembaga bisa terkena korosi dan harganya relatif mahal. Titanium, di sisi lain, adalah pilihan yang lebih mewah: tahan terhadap panas tinggi, tahan karat, dan memiliki sifat mekanis yang kuat, meskipun dampaknya adalah harga yang jauh lebih mahal dibandingkan bahan lainnya.

Akhirnya, tidak ada bahan tunggal yang sempurna untuk digunakan sebagai bahan penukar panas pada pipa ganda. Semua tergantung pada kondisi kerja yang ada — seberapa aktif cairannya, seberapa besar dana yang dimiliki, dan seberapa lama peralatan diharapkan berfungsi . Penelitian lebih lanjut terhadap bahan-bahan alternatif ini dalam berbagai kondisi pengoperasian masih sangat diperlukan agar dapat memberikan dasar pertimbangan yang lebih kuat (Ivananda, 2023).

Tabel 2. Perbandingan Double Pipe Heat Exchanger

Judul Jurnal	Penulis	Metodologi	Fokus Penelitian	Material Pipa yang Diuji	Konfigurasi Aliran	Hasil Utama
Analisis Efisiensi dan Efektivitas Laju Perpindahan Panas pada Alat Heat Exchanger Tipe Double Pipe dengan	Pratama, A. B., et al.	Eksperimen, Pengukuran Laju Perpindahan Panas	Mengukur efektivitas perpindahan panas pada *double pipe heat exchanger*	Aluminium, Stainless Steel	Aliran Searah	Konfigurasi aliran searah memberikan hasil yang lebih efisien dalam perpindahan panas

Aliran Searah						
Analisis Desain Rancangan Alat Penukar Kalor Tipe Double Pipe (Aliran Searah & Berlawanan Arah)	Muslimin, et al.	Desain, Simulasi CFD	Menganalisis perbandingan desain *double pipe heat exchanger* dengan konfigurasi aliran searah dan berlawanan arah	Stainless Steel, Aluminium	Aliran Searah, Aliran Berlawanan Arah	*Counter-current* lebih efektif dalam meningkatkan efisiensi
Analisis Efektivitas Laju Perpindahan Panas Alat Penukar Kalor Pipa Ganda	Walikrom	Eksperimen, Perbandingan Material	Menguji kinerja *double pipe heat exchanger* dengan material pipa yang berbeda	Aluminium, Stainless Steel	Aliran Searah	Aluminium lebih efisien dalam perpindahan panas dibandingkan stainless steel
Analisis Perpindahan Kalor pada Double Pipe Heat Exchanger Beraliran Lawan Arah Menggunakan Sirip Trapesium	Zulfahmi, M. T., et al.	Simulasi CFD, Eksperimen	Menganalisis dampak penggunaan sirip trapesium dalam meningkatkan perpindahan panas	Aluminium, Stainless Steel	Aliran Berlawanan Arah	Penggunaan sirip trapesium meningkatkan kinerja perpindahan panas
Analisa Kinerja Alat Penukar Kalor Jenis Pipa Ganda	Analis	Simulasi CFD, Eksperimen	Menganalisis kinerja alat dengan variasi konfigurasi dan material	Aluminium, Stainless Steel	Aliran Searah, Aliran Berlawanan Arah	Konfigurasi *counter-current* memberikan hasil yang lebih baik dalam kinerja
Kajian Eksperimen	Taufiq	Eksperimen, Uji Kinerja	Menguji unjuk kerja	Aluminium,	Aliran Searah	Material aluminium

tal Unjuk Kerja Heat Exchanger Double Pipe			*double pipe heat exchanger* pada kondisi nyata	Stainless Steel		memberikan kinerja lebih baik dibandingkan stainless steel
Analisis Perpindahan Kalor dan Efektivitas pada Penukar Kalor Spiral Tube in Shell	Firdaus, R., et al.	Simulasi CFD, Eksperimen	Menganalisis desain spiral tube heat exchanger dan efektivitas transfer panas	Aluminium, Stainless Steel	Aliran Searah, Aliran Berlawanan Arah	Desain spiral tube memberikan efektivitas lebih tinggi pada transfer panas

Tabel ini mencakup perbandingan antara berbagai studi yang mengeksplorasi *double pipe heat exchanger*, dengan fokus pada material pipa, konfigurasi aliran, dan hasil utama yang ditemukan dalam masing-masing penelitian.

RISIKO Dan IMPLIKASI

Pemilihan material dan pengaturan aliran dalam *heat exchanger* jenis *double pipe* memiliki dampak besar terhadap kemampuan dan efisiensi perangkat tersebut. Berdasarkan hasil dari tujuh jurnal yang telah dibahas, terdapat beberapa risiko dan kelebihan yang harus diperhatikan dalam merancang dan menerapkan *heat exchanger* ini di bidang industri.

a) Risiko Korosi

Salah satu risiko utama yang ditemukan adalah kemampuan bahan untuk menahan korosi, terutama saat digunakan material seperti aluminium. Meskipun aluminium memiliki kemampuan untuk menghantarkan panas lebih baik dan mampu mentransfer panas dengan lebih efisien, bahan ini lebih mudah terkorosi, terutama di lingkungan yang mengandung zat kimia atau udara laut. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa meskipun aluminium memiliki kemampuan yang lebih baik dalam mengeluarkan panas secara efisien, masalah korosi yang terjadi dapat mempengaruhi daya tahan perangkat dan meningkatkan biaya perawatannya (Pratama et al., 2024). Hal ini membuat stainless steel menjadi pilihan yang lebih aman meskipun kemampuannya dalam menghantarkan panas sedikit lebih rendah.

b) Risiko terhadap Kinerja dalam Kondisi Lingkungan Ekstrem

Pemilihan bahan yang tidak sesuai dengan kondisi operasi yang ekstrim dapat berdampak negatif pada kinerja *heat exchanger*. Titanium dan tembaga, meskipun mampu menghantarkan panas dengan baik, memiliki harga yang lebih mahal dan lebih mudah rusak karena korosi di beberapa kondisi lingkungan. Oleh karena itu, ketika alat ini digunakan di industri yang memiliki suhu tinggi atau menghadapi fluida yang sangat keras, kemampuan material untuk tahan terhadap panas dan karat harus menjadi hal utama yang diperhatikan saat memilih bahan pipa.

c) Implikasi Biaya

Implikasi biaya risiko lain yang perlu diperhatikan adalah pengaruh terhadap biaya. Beberapa material, seperti aluminium dan titanium, dapat meningkatkan biaya produksi serta instalasi *heat exchanger* karena harganya yang lebih mahal. Menggunakan bahan yang lebih

murah seperti stainless steel dapat membantu mengurangi biaya pembelian awal, tetapi mungkin menyebabkan penurunan efisiensi dalam mentransfer panas, yang pada akhirnya bisa membuat biaya operasional meningkat (Zulfahmi et al., 2021). Oleh karena itu, memilih bahan harus memperhatikan keseimbangan antara harga pembelian awal dan biaya penggunaan dalam jangka waktu yang lebih lama.

d) Implikasi untuk Desain Alat

Implikasinya terhadap desain perangkat konfigurasi aliran fluida juga memengaruhi risiko dan kinerja perangkat tersebut. Penelitian menunjukkan bahwa konfigurasi arus sejajar memberikan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan konfigurasi arus berlawanan. Namun, dalam pengaturan counter current, terjadi pengurangan perbedaan suhu antara fluida yang panas dan dingin di bagian ujung heat exchanger, yang berpotensi menurunkan efisiensi peningkatan panas. Pemilihan konfigurasi aliran yang tepat sangat tergantung pada kondisi operasional tertentu, dan desain penukar panas harus disesuaikan agar dapat mencapai efisiensi perpindahan panas yang diinginkan (Ivananda, 2023).

e) Risiko Deformasi Termal

Risiko deformasi termal terjadi karena perubahan suhu yang cepat serta perbedaan suhu antara fluida panas dan dingin, yang menyebabkan ekspansi termal yang besar pada material pipa. Aluminium memiliki konduktivitas termal yang lebih tinggi dibandingkan baja tahan karat, sehingga lebih rentan terhadap kerusakan akibat panas. Hal ini dapat memengaruhi kekuatan struktural pipa dan mengurangi daya tahan alat dalam jangka panjang, terutama jika tidak ada pemantauan serta perawatan yang tepat (Walikrom, 2018). Oleh karena itu, bahan yang tahan terhadap dingin, seperti baja tahan karat atau titanium, mungkin lebih cocok digunakan dalam aplikasi yang memerlukan kondisi suhu sangat dingin.

f) Implikasi bagi Pemeliharaan dan Durabilitas

Dampaknya juga memengaruhi kemampuan alat untuk bertahan lama terhadap proses korosi dan kehilangan panas, sehingga mempengaruhi umur pakai alat secara keseluruhan. Penukar panas yang menggunakan bahan yang kurang tahan terhadap karat, seperti aluminium, mungkin perlu perawatan dan penggantian komponen lebih sering dibandingkan bahan yang lebih tahan lama seperti stainless steel atau titanium. Oleh karena itu, untuk penerapan jangka panjang, penting untuk mempertimbangkan biaya pemeliharaan dan penggantian komponen dalam desain penukaran panas.

Secara keseluruhan, meskipun teknologi heat exchanger jenis double pipe menawarkan solusi yang efisien untuk berbagai aplikasi industri, pemilihan material dan konfigurasi aliran yang tidak tepat dapat menimbulkan risiko yang mempengaruhi kinerja alat, biaya operasional, dan ketahanannya. Oleh karena itu, penting melakukan penilaian risiko secara cermat dan merencanakan desain secara matang agar alat tetap berfungsi dengan baik dan efisien dalam jangka waktu yang lama serta tahan terhadap berbagai kondisi. Oleh karena itu, penting melakukan evaluasi risiko secara hati-hati serta merencanakan desain secara matang agar alat tetap berkinerja baik dan efisien dalam jangka waktu yang lama serta tahan lama. Oleh karena itu, penting melakukan evaluasi risiko secara cermat dan membuat perencanaan desain yang baik agar alat tetap berjalan dengan baik dan hemat dalam waktu yang lama.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa bahan aluminium memiliki kemampuan menghantarkan panas yang lebih baik dibandingkan baja tahan karat, sehingga memungkinkan proses transfer panas pada pipa ganda berjalan lebih cepat dan efisien. Meskipun begitu , aluminium lebih mudah terkena karat dan pendinginan karena panas, yang dapat membuat alat menjadi lebih lemah dan berumur lebih pendek dalam jangka waktu yang lama. Baja tahan karat lebih tahan terhadap karat, namun menghantarkan panas dengan lebih lambat, sehingga memperlambat proses pemanasan.

Selain bahan yang digunakan, cara aliran juga mempengaruhi cara kerja alat. Aliran paralel arus memberikan hasil yang lebih baik dalam hal koefisien penguatan panas dibandingkan dengan aliran arus balik. Oleh karena itu, pemilihan bahan serta konfigurasi aliran yang tepat harus dilakukan dengan memperhatikan kondisi operasional dan efisiensi kebutuhan. Penelitian lanjutan tentang bahan alternatif seperti titanium dan tembaga, serta faktor-faktor lain seperti suhu cairan dan kecepatan aliran cairan, dapat membantu meningkatkan desain dan kinerja penukar panas di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

Alhulaifi, A. S. (2024). Computational fluid dynamics heat transfer analysis of double pipe heat exchanger and flow characteristics using nanofluid TiO_2 with water. *Designs, 8*(3), 39. https://doi.org/10.3390/designs8030039

Analis. (2020). Analisa kinerja alat penukar kalor jenis pipa ganda. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia, 5*(1), 12–25.

Armstrong, M., Mahadevan, S., Selvapalam, N., Santulli, C., Palanisamy, S., & Fragassa, C. (2023). Augmenting the double pipe heat exchanger efficiency using varied molar Ag ornamented graphene oxide (GO) nanoparticles aqueous hybrid nanofluids. *Frontiers in Materials, 10*, 1240606. https://doi.org/10.3389/fmats.2023.1240606

Ismailov, O., Auesbaev, A., Yusupov, R., Abdurakhmonov, I., & Baltabaeva, M. (2025). Experimental investigation of heat transfer enhancement in a double-pipe heat exchanger using solid rod inserts with crude oil and gas condensate. *Discover Mechanical Engineering, 4*, Article 64. https://doi.org/10.1007/s44245-025-00150-2

Ivananda, D., Ahmad, R. D., & Iswara, M. A. I. (2023). Analisis koefisien perpindahan panas alat double pipe heat exchanger berbasis computational fluid dynamics. *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi, 9*(3), 240–250.

Pratama, A. B., Ghani, U. A., & Taufiqurrahman, M. (2021). Analisis efisiensi dan efektivitas laju perpindahan panas pada alat heat exchanger tipe double pipe dengan aliran searah. *JTRAIN: Jurnal Teknologi Rekayasa Teknik Mesin, 2*(2), 192–196.

Singh, S. K., Chauhan, M. K., & Shukla, A. K. (2022). Heat transfer enhancement in double-pipe heat exchanger: A review. *Journal of Physics: Conference Series, 2178*(1), 012007. https://doi.org/10.1088/1742-6596/2178/1/012007

Zhang, Y., Hangi, M., Wang, X., & Rahbari, A. (2023). A comparative evaluation of double-pipe heat exchangers with enhanced mixing. *Applied Thermal Engineering, 230*, 120793. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.120793

Zulfahmi, M. T., Wijayanto, D. S., & Widiastuti, I. (2021). Analisis perpindahan kalor pada double pipe heat exchanger beraliran lawan arah menggunakan sirip trapesium. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin – NOZEL, 6*(3), 99–108.