REVIEW ARTIKEL: ANALISIS PENAMBAHAN HEAT EXCHANGER UNTUK RECOVERY STEAM PADA VENTING 2-E-006 UNTUK DIJADIKAN KONDENSAT DAN STUDI APLIKASI HEAT TRANSFER MENGGUNAKAN SISTEM PENUKAR PANAS TIPE SHELL & TUBE DI INDUSTRI MANUFAKTUR

Zaky Hafizh Ramadhan[1], Trisna Adi Prayoga[2] , Riki Alfarizi [3], Aldillah Herlambang[4], Oki Alfernando[5], Rizka Shafira[6]

[1,2,3,4,5,6] *Universitas Jambi*
E-mail : zakyhafizhramadhan0607@gmail.com

ABSTRAK

Artikel review ini membahas dua penelitian terkait penerapan heat exchanger tipe shell-and-tube dalam industri, yaitu Studi Aplikasi Heat Transfer Menggunakan Sistem Penukar Panas Tipe Shell & Tube di Industri Manufaktur (Erwin dkk., 2024) dan Penambahan Heat Exchanger untuk Recovery Steam pada Venting 2-E-006 untuk Dijadikan Kondensat (Novelasari dkk., 2025). Kedua studi menyoroti peran penting heat exchanger dalam meningkatkan efisiensi energi dan menjaga kestabilan proses industri. Jurnal pertama menekankan aspek desain dan optimasi kinerja melalui pengaturan baffle, aliran fluida, serta pemanfaatan nanofluida untuk meningkatkan koefisien perpindahan panas. Jurnal kedua lebih fokus pada aplikasi nyata di pabrik kimia dengan rancangan *shell and tube* berkonfigurasi *cross-flow*, menghasilkan kondensat dari steam venting dengan potensi penghematan energi hingga Rp945 juta per tahun. Selain membandingkan hasil kedua penelitian, review ini juga menambahkan analisis material alternatif untuk tube heat exchanger, seperti Cu-Ni, Aluminum Brass, Monel, Inconel, dan Hastelloy, yang masing-masing memiliki keunggulan dan keterbatasan dalam hal ketahanan korosi, konduktivitas termal, serta biaya siklus hidup. Analisis risiko menunjukkan potensi masalah berupa korosi (*pitting*, *crevice*, SCC), *fouling*, getaran *tube*, dan kelelahan material, sedangkan implikasi yang ditimbulkan mencakup penurunan efisiensi, peningkatan biaya operasional, *downtime* produksi, hingga ancaman keselamatan akibat kebocoran fluida berbahaya. Secara keseluruhan, hasil review menegaskan bahwa pemilihan material dan desain heat exchanger shell-and-tube harus mempertimbangkan *trade off* antara performa termal, ketahanan korosi, biaya, dan keselamatan operasi. Dengan pendekatan yang tepat, heat exchanger tidak hanya berfungsi sebagai alat transfer panas, tetapi juga sebagai komponen strategis dalam mendukung keberlanjutan dan efisiensi energi di industri modern.

Kata Kunci : *Alat Penukar kalor, Material, Korosi*

ABSTRACT

This review article discusses two studies related to the application of shell-and-tube heat exchangers in industry: "A Study of Heat Transfer Applications Using a Shell & Tube Heat Exchanger System in the Manufacturing Industry" (Erwin et al., 2024) and "Addition of Heat Exchangers for Steam Recovery in Ventilation 2-E-006 to Become Condensate" (Novelasari et al., 2025). Both studies highlight the critical role of heat exchangers in improving energy efficiency and maintaining the stability of industrial processes. The first paper emphasizes design and performance optimization through baffle arrangement, fluid flow, and the use of nanofluids to increase the heat transfer coefficient. The second paper focuses more on a real-world application in a chemical plant using a cross-flow shell and tube design, producing condensate from steam venting with potential energy savings of up to IDR 945 million per year. In addition to comparing the results of the two studies, this review also includes an analysis of alternative materials for tubular heat exchangers, such as Cu-Ni, Aluminum Brass, Monel, Inconel, and Hastelloy, each of which has advantages and limitations in terms of corrosion resistance, thermal conductivity, and life-cycle cost. The risk analysis reveals potential problems such as corrosion (pitting, crevice, SCC), fouling, tube vibration, and material fatigue. These implications include reduced efficiency, increased operational costs, production downtime, and safety threats due to hazardous fluid leaks. Overall, this review confirms that the material selection and design of shell-and-tube heat exchangers must consider the trade-offs between thermal performance, corrosion resistance, cost, and operational safety. With the right approach, heat exchangers can serve not only as heat transfer devices but also as strategic components in supporting sustainability and energy efficiency in modern industry.

Keywords : *Heat Exchanger, Material, Corrosion*

PENDAHULUAN

Penggunaan alat penukar kalor (*heat exchange*) semakin banyak digunakan dalam berbagai industry untuk menurunkan dan menaikkan temperature dalam memenuhi kebutuhan teknis berbagai produk. Industri-industri yang menggunakan alat penukar kalor seperti industry kimia, pabrik, gedung perkantoran, rumah sakit, dan pembangkit listrik (*power plan*). Salah satu tiep dari alat penukar kalor yang paling banyak digunakan adalah *Shell and Tube Heat Exchange*. Yang dimana alat ini terdiri dari sebuah *shell* silindris di bagian luar dan sejumlah tube di bagian dalam, temperature di fluida di dalam *tube* berbeda dengan di luar *tube* (di dalam *shell*) sehingga terjadi perpindahan panas antara aliran fluida di dalam *tube* dan di luar *tube*. Adapun daerah yang berhubungan dengan bagian dalam *tube* disebut dengan *tube side* dan yang diluar disebut *shell side*.

Dalam industry modern saat ini juga proses perpindahan panas menjadi salah satu proses utama dalam operasi mesin. Misalnya, di industry Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), mesin industri bekerja dengan mengubah energy panas menjadi energy mekanik, yang sering menghasilkan peningkatan atau mengurangi peningkatan suhu yang berlebihan. Alat penukar panas adalah piranti yang diaplikasikan untuk memindahkan energy panas antara dua atau lebih cairan, antara partikel padat dan cairan pada temperature dan kontak termal yang berbeda. Berdasarkan penelitiannya, menurut Budiman, Syarief, dan Isworo (2014), menjelaskan bahwa heat exchanger yang dikenal sebagai penukar panas dalam industry berfungsi sebagai alat untuk mentransfer panas dan dapat berperan sebagai radiator atau pendingin.

Perpindahan panas bias diartikan bergeraknya energy dari tempat awal ke tempat lainnya akibat dari perbedaan suhu antara area-area tersebut. Aliran panas tidak bias dikendalikan oleh hubungan eksklusif, tetapi dengan asosiasi dari bermacam-macam hokum fisika yang tidak saling tergantung. Ada tiga cara perpindahan panas menurut buku dari Setyono Iskandar (2015) yaitu konduksi, metode perpindahan energy panas yang melibatkan perpindahan panas dari lokasi yang panas ke area yang lebih dingin di dalam suatu benda (cair, gas, atau padat) serta emmindahkan panas secara langsung di antara benda-benda.

Konveksi, metode perpindahan energy melalui persekutuan dari konduksi panas, retensi energy, dan gerakan meretensi. Radiasi, merupakan modus operasi panas bergerak dari media yang bertemperatur tinggi ke media yang bertemperatur rendah dan medium-medium tersebut terisolasi di dalam suatu medium, terlebih di dalam medium hampa sekalipun. Radiasi umumnya digunakan pada “gelombang elektromagnetik”.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode penelitian kualitatif, dengan jenis penelitian review artikel dari sebuah dokumen atau artikel yang dicari dan digunakan dengan baik sesuai dengan judulnya yaitu “Penambahan *Heat Exchanger* Untuk Recovery Steam Pada Venting 2-E-006 Untuk Dijadikan Kondesat” dan “Studi Aplikasi *Heat Transfer* Menggunakan Sistem Penukar Panas Tipe *Shell & Tube* di Industri Manufaktur”.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Studi Aplikasi *Heat Transfer* Menggunakan Sistem Penukar Panas Tipe *Shell & Tube* di Industri Manufaktur (2024)

Heat exchanger merupakan perangkat yang menyediakan pergerakan energy panas antara dua atau lebih cairan pada temperature yang berlainan. Alat ini sering diaplikasikan pada industry pembangkit listrik, industry kimia, industry makanan, elektronik, teknologi lingkungan, pemulihan limbah panas, industry manufaktur, air conditioning, kulkas, dan aerospacing. *Heat exchanger* dapat diklasifikasikan menurut kriteria utama seperti regenerator, kontruksi geometri, dan pengaturan aliran.

Tetapi peningkatan kinerja minyak bumi adalah penukar panas model *shell and tube*. Namun peningkatan kinerja penukar panas harus dilakukan dengan hati-hati karena aliran fluida yang kompleks di dalam shell. Desain penukar panas dipengaruhi oleh luas area pemindahan panas. Semakin massif luas area pemindahan panas, semakin massif penukar panas yang dihasilkan atau dirancang.

Penambahan *Heat Exchanger* Untuk *Recovery Steam* Pada Venting 2-E-006 Untuk Dijadikan Kondensat (2025)

Heat exchanger adalah alat yang difungsikan untuk menghantarkan enerti panas dua atau lebih fluida, antara permukaan padat dengan fluida, antara partikel padat dengan fluida, dengan perbedaan temperature. Dalam proses *heat exchanger* tidak ada penambahan *external heat*. Dari semua tipe alat penukar panas, *shell and tube* memiliki sejumlah keunggulan diantaranya memberikan luas permukaan atau penampang perpindahan panas yang besar dengan volume yang kecil, mampu dioperasikan pada tekanan tinggi 20, dapat dirancang dengan menggunakan berbagai jenis bahan atau material, mudah dalam melakukan maintenance atau perawatan, serta memiliki prosedur thermal dan mechanical design yang baik.

Menurut data dan sumber data-data yang diperoleh dari *control room plant-2* dan simulasi *aspen hysys*, meliputi temperature, tekanan, serta laju air steam dan *cooling water*. Langkah analisis dan simulasi langkah analisis dilakukan dengan perhitungan neraca energy, design alat menggunakan data actual, serta validasi hasil dengan simulasi *aspen hysys*. Rancangan alat *heat exchanger* rancangan alat menggunakan tipe shell and tube dengan konfigurasi *cross-flow*.

Maka penghematan yang dapat terjadi dalam setahun jika steam yang terbuang ke atmosphere dirubah menjadi kondensat dengan bantuan heat exchanger adalah Rp 945.529.832. Dapat dijelaskan juga bahwa pengurangan konsumsi uap berbanding lurus dengan penurunan konsumsi bahan bakar hal ini berimplikasi langsung pada penghemat biaya operasional dan peningkatan profitabilitas perusahaan.

Analisis

Dalam kedua jurnal ini memberikan penjelasan terkait dengan *heat exchanger* yang dimana memiliki fungsi dan tugas masing-masing. Untuk jurnal "Studi Perhitungan *Heat Exchange Type Shell and Tube* Dehumidifier Biogas Limbah Sawit Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Biogas" memiliki fungsi dan kerja untuk biogas limbah sawit untuk pembangkit listrik tenaga biogas. Sedangkan untuk jurnal "Penambahan *Heat Exchanger* Untuk *Recovery Steam* Pada Venting 2-E-006 Untuk Dijadikan Kondensat", *heat exchanger* memiliki fungsi dan tugas untuk recovery steam pada venting 2-E-006 untuk dijadikan kondensat.

Sehingga tugas dari *heat exchanger* dalam dua jurnal ini cukup berbeda. Meskipun *heat exchanger* memiliki pengertian yang sama, yaitu alat yang difungsikan untuk menghantarkan

energi panas dua atau lebih fluida, antara permukaan padat dengan fluida, antara partikel padat dengan fluida, dengan perbedaan temperature.

Tabel 1. Kriteria Setiap Material

Kriteria	Material dalam jurnal (Carbon steel SA 283 C)	Material alternatif 1 (Cu-Ni 90/10, 70/30)	Material alternatif 2 (Aluminum Brass / Admiralty Brass)	Material alternatif 3 (Monel 400 / Inconel 625 / Hastelloy C-276)
Dimensi utama	*Shell* Ø 406,4 mm; *tube* Ø 19,05 mm BWG 16; panjang 2 m; 90 tube.	Dimensi fleksibel, *velocity limit* harus dijaga (untuk mencegah erosi).	Cocok untuk sistem dengan air bersih, *velocity* moderat.	Cocok untuk *high pressure/high-temperature*, desain lebih kompleks.
Performa termal	Luas area 27,05 m^2; output kondensat 99,59°C; laju alir 1087 kg/h; U = 2565 kJ/°C.	Konduktivitas termal tinggi, efisiensi baik di seawater.	Konduktivitas termal moderat, efisiensi baik di air bersih..	Tahan suhu tinggi, korosi ekstrem, efisiensi stabil.
Isu teknis	Korosi tube akibat gas amine & klorin	Rentan sulfida/ ammonia *attack*, perlu kontrol kualitas air.	Tidak cocok untuk air tercemar (ammonia/sulfida).	Biaya tinggi, fabrikasi lebih sulit.
Efisiensi/ekonomi	Penghematan energi Rp945 juta/tahun dari *recovery steam*.	Lebih murah dari titanium, cocok untuk air laut.	Lebih murah dari Cu-Ni, cocok untuk air bersih.	Sangat mahal, tetapi umur pakai panjang.
Catatan teknis	Validasi Aspen Hysys; cooling water supply 34°C, return 37°C.	Pilihan *cost-effective* untuk air laut tanpa harus pakai titanium.	Cocok untuk air sungai/*lake intake* dengan kualitas terkontrol.	Dipilih bila lingkungan sangat agresif (HCl, H_2S, air laut panas).

Resiko dan Implikasi

Pada heat exchanger tipe shell-and-tube, risiko utama yang sering muncul adalah korosi (pitting, crevice corrosion, stress corrosion cracking) terutama pada sambungan tube-sheet dan area yang terpapar fluida agresif seperti air laut, gas amine, atau larutan kimia. Selain itu, fouling akibat endapan mineral atau partikel padat dapat menurunkan efisiensi perpindahan panas secara signifikan. Getaran tube yang dihasilkan oleh aliran turbulen juga berpotensi menimbulkan kelelahan material (fatigue) dan kebocoran. Untuk material alternatif, risiko spesifik berbeda: Cu-Ni rentan terhadap serangan sulfida dan amonia; Aluminum Brass berisiko mengalami dezincification bila kualitas air tidak terkontrol; sedangkan Monel, Inconel, dan Hastelloy meski sangat tahan korosi, memiliki risiko biaya tinggi dan kesulitan fabrikasi.

Implikasi dari risiko-risiko tersebut mencakup aspek operasional, ekonomi, dan keselamatan. Secara operasional, fouling dan korosi akan menurunkan efisiensi perpindahan panas, meningkatkan konsumsi energi, dan memperpendek umur pakai heat exchanger. Secara ekonomi, kegagalan material dapat menyebabkan downtime produksi, biaya perbaikan besar, serta kerugian finansial akibat kehilangan output. Dari sisi keselamatan, kebocoran fluida berbahaya atau ledakan uap akibat kegagalan tube dapat menimbulkan kecelakaan serius, paparan bahan kimia beracun, bahkan korban jiwa. Oleh karena itu, pemilihan material harus mempertimbangkan trade-off antara biaya awal, ketahanan korosi, dan keandalan jangka panjang, serta disertai strategi perawatan preventif untuk meminimalkan risiko.

KESIMPULAN

Dari hasil perencanaan yang sudah diperoleh kapasitas heat transfer yang dilepas air cukup besar dengan kapasitas 25740.29 W/m^2C yang melalui 248 tube panjang 2000 mm. nilai panas yang dilepas oleh biogas 20122.76 W/m^2C dan kecepatan aliran biogas menjadi laminar harus melewati 6 buffle. Pada perencanaan sebuah konstruksi STHE harus memperhatikan faktor-faktor korosi dan pekerjaan agar bisa meminimalisir kesalahan pada konstruksi. Disisi lain, pemilihan jenis heat exchanger dapat dilakukan dengan mempertimbangkan proses yang akan dilakukan dan fluida yang digunakan. Dalam meminimalkan terjadinya korosi pada alat penukar panas jenis shell and tube, maka dapat dilakukan pemilihan material yang memmiliki sifat tahan terhadap korosi seperti carbon steel SA 283 grade C.

DAFTAR PUSTAKA

Nita Novelasari, Muhammad Fahmi Hakim, Miftah Hifzhuddin, Rama Ali Fathin. (2025). Penambahan Heat Exchanger Untuk Recovery Steam Pada Venting 2-E-006 Untuk Dijadikan Kondensat. Universitas Singaperbangsa Karawang. Jurnal Teknologi Terpadu, 13(2).

Erwin, Husen A., Yefri C., Didik S., Herry S. (2024). Studi Aplikasi *Heat Transfer* Menggunakan Sistem Penukar Panas Tipe *Shell & Tube* di Industri Manufaktur. Universitas Darma Persada. Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha, 12(1).