



# STUDI PERGANTIAN MATERIAL *TUBE* DARI *CARBON STEEL* MENJADI *309 STAINLESS STEEL* PADA PENUKAR PANAS KONDENSER *SHELL AND TUBE*

Bujaeromy<sup>a</sup>, Dessy Agustina Sari<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup>Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang, Jalan HS Ronggowaluyo Telukjambe Timur Karawang – Jawa Barat 41361, Indonesia

\*Corresponding authors at: [dessy.agustina8@staff.unsika.ac.id](mailto:dessy.agustina8@staff.unsika.ac.id)

## INFO ARTIKEL

### Riwayat artikel:

Diajukan pada 16 Januari 2024

Direvisi pada 04 Mei 2024

Disetujui pada 13 Juni 2024

Tersedia daring pada 05 September 2024

### Kata kunci:

Amonia-air, dimensi penukar panas, faktor pengotor.

### Keywords:

Ammonia-water, fouling factor, geometric heat exchanger.

## ABSTRAK

*Shell and tube exchanger* merupakan salah satu alat penukar panas yang menyediakan efisiensi perpindahan panas yang tinggi. Peralatan ini digunakan untuk mengubah amonia gas menjadi amonia liquid dengan media pendingin berupa air pendingin (disirkulasikan melalui *tube*). Kontak fluida proses selama di dalam alat penukar panas menjadi salah satu permasalahan dengan hadirnya pengotor maupun terbentuknya korosi pada material *tube*. Hal ini mampu memicu kerusakan pada dinding *tube* dan akibatnya berlanjut kebocoran pada *tube*. Studi artikel ini melibatkan penggunaan persamaan matematis terkait pergantian material *tube* desain yaitu *carbon steel* ke *309 stainless steels*. Sejumlah parameter dalam *shell and tube exchanger* terevaluasi untuk meninjau  $A$ ,  $U$ , dan perubahan yang terjadi pada dimensi alat penukar panas. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa adanya perbedaan nilai  $A_c$   $A_f$  pengotor,  $U_c$ ,  $U_f$  pada material *carbon steel* dan *309 stainless steel* sehingga kedua material memberikan kisaran sebesar 32,52–33,82; 520,16–521,46 m<sup>2</sup>; 21691,15– 22558,79; dan 14006,65–1410,17 W/m<sup>2</sup>.K; secara berturut-turut. Kemudian, perubahan nilai ID *shell* dan jumlah *tube* berupa 1069 menjadi 1070 mm dengan 906 menuju 908 buah. Peningkatan nilai parameter yang terevaluasi sebesar 3–4% pada peralatan penukaran perpindahan panas dari penerapan material *309 stainless steel* dibandingkan *carbon steel* sebelumnya. Capaian ini mampu menyediakan laju perpindahan panas lebih baik bagi *shell and tube condenser* dan menjadi pertimbangan positif untuk mengganti material *tube*. Opsi tersebut jika dilanjutkan turut membutuhkan peninjauan kembali untuk aspek dimensi penukar panas terhadap area industri untuk proses penukar panas yang telah beroperasi selama ini.

## ABSTRACT

*One type of heat exchanger that has excellent heat transfer efficiency is the shell-and-tube exchanger. This apparatus uses cooling water passing through tubes as cooling media to convert gaseous ammonia to liquid ammonia. When contaminants are present and corrosion forms on the tube material, one of the issues arises from the process fluid's contact with the heat exchanger. This may result in leaks and damage to the tube walls. The design tube material in this article is changed from carbon steel to 309 stainless steel using mathematical formulas. We assess  $A$ ,  $U$ , and changes in the heat exchanger's size by evaluating several shell and tube exchanger parameters. According to test results, carbon steel and 309 stainless steel have distinct values for  $A_c$ ,  $A_f$  impurities,  $U_c$ , and  $U_f$ . For carbon steel and 309 stainless steel, these values are 32.52–33.82 W/m<sup>2</sup>.K; 520.16–521.46 m<sup>2</sup>; 21691.15–22558.79 W/m<sup>2</sup>.K; and 14006.65–1410.17 W/m<sup>2</sup>.K, respectively. Subsequently, the shell's ID value and tube count shifted from 1069 to 1070 mm, containing 906 to 908 pieces. an improvement over the prior carbon steel in the evaluated parameter values in the heat transfer exchange equipment due to the employment of 309 stainless steel material. Better heat transfer rates for the shell and tube condenser are made possible by this accomplishment, which is a reason to replace the tube material. If chosen, this option would also necessitate a review of the dimensions.*

### 1. PENGANTAR

Panas adalah suatu bentuk energi yang dapat berpindah dengan adanya perbedaan temperatur. Fenomena perpindahan panas dapat terjadi antara benda-benda materi sebagai akibat dari perbedaan temperatur. Hal ini dapat terjadi secara langsung (*direct contact*) maupun secara tidak langsung (*indirect contact*). Perpindahan panas secara langsung terjadi ketika dua objek dengan suhu berbeda berada dalam kontak langsung tanpa ada penyekat. Sedangkan, perpindahan panas secara tidak langsung melibatkan pergerakan massa fluida dengan adanya suatu dinding pemisah.

Perpindahan panas memberikan peran penting dalam berbagai aplikasi khususnya pada industri. Penukar panas tipe *shell and tube* adalah salah satu jenis penukar panas yang paling umum digunakan dalam berbagai industri (Kallannavar dkk., 2020). Peralatan ini terdiri dari *shell* silinder dengan satu atau lebih *tube* yang melewati bagian dalam *shell*. Fluida yang akan dipanaskan atau didinginkan mengalir melalui *tube*. Sedangkan, panas dipindahkan melalui *shell* ke fluida di sekitarnya (Nugraha dkk., 2021). *Shell and tube heat exchanger* menyediakan efisiensi tinggi untuk perpindahan panas, besarnya luas permukaan *tube* menyediakan area yang besar untuk melangsungkan perpindahan panas, dan desainnya memungkinkan penggunaan koefisien perpindahan panas yang tinggi.

*Shell and tube heat exchanger* terdiri dari beberapa komponen meliputi *shell*, *tube* (bundel tabung), *tube sheet*, *baffle* dan *head*. *Baffle* memiliki peran dalam mengalirkan aliran fluida dan mengakibatkan turbulensi. *Tube sheet* adalah bagian yang menghubungkan antara ujung *tube* dengan *shell* (Schlünder dkk., 1983). Penukar panas jenis ini juga mampu melangsungkan proses kondensasi maupun penguapan fluida melalui proses perpindahan panas. Kondenser merupakan salah satu alat penukar panas dengan adanya pengubahan fasa gas menuju cair. Peralatan ini umumnya digunakan di beberapa operasi seperti: pemrosesan kimia, minyak bumi termasuk proses distilasi, pendinginan, dan lainnya. Sebagian besar penggunaan kondenser dalam pemrosesan kimia di industri menggunakan jenis *shell and tube*, dan *air-cooled exchanger* maupun pemanfaatan jumlah *plate* sebagai penukar panas (Malik & Sari, 2024).

Unit perpindahan panas di lapangan industri bekerja secara terus-menerus. Hal ini mampu mengakibatkan penurunan kinerja pada peralatan tersebut. *Fouling factor* ( $R_d$  - faktor pengotor) merupakan parameter evaluasi untuk meninjau performa alat penukar panas. Hal tersebut terjadi dengan salah satunya akibat dari interaksi antara fluida proses terhadap material *tube*. Beberapa penelitian telah membahas mengenai faktor pengotor pada peralatan *shell and tube* (Bizzy & Setiadi, 2013) dan *air-cooled exchanger* (Kamil & Sari, 2023) dengan bantuan simulasi program HTRI (*Heat Transfer Research Inc*). Pembentukan lapisan pengotor pada area penukar panas menyebabkan penurunan kinerja proses perpindahan panas (Fitria dkk., 2022). Nilai faktor pengotor memberikan pengaruh berupa rendahnya nilai koefisien perpindahan panas *clean* keseluruhan ( $U_c - clean\ overall\ coefficient$ ) maupun saat keadaan kotor ( $U_D$  atau  $U_f - dirty\ or\ design\ overall\ coefficient$ ) (Anjani dkk., 2023). Selain itu, fluida proses yang korosif menambah permasalahan kegiatan operasional penukar panas dan lebih lanjutnya mampu menyebabkan kerusakan pada dinding penukar panas, khususnya pada area *tube* (Y Amani, 2018). Kondisi tersebut menyebabkan penurunan *tube* akibat proses erosi dari fluida proses yang kontinyu dan mendukung pembentukan lapisan *scale* (kerak). Akhirnya, kerusakan area *tube* terjadi dan menurunkan kinerja perpindahan panas pada unit penukar panas tersebut.

Artikel ini menyajikan analisis perubahan desain material *tube* pada tipe penukar panas kondensor *shell and tube* selama proses kondensasi berlangsung. Langkah evaluasi peralatan proses memanfaatkan persamaan matematis. Struktur desain yang baru mempertimbangkan material pada *tube* dengan mempertahankan kesesuaian seperti material *steel*, *stainless steel* atau titanium secara komersial (Fernández-Seara & Uhía, 2012). Beberapa parameter memungkinkan adanya indikasi perubahan yang berpengaruh bagi parameter evaluasinya seperti: luas perpindahan panas ( $A - heat\ transfer\ area$ ) baik bagi *shell* maupun *tube*, koefisien perpindahan panas keseluruhan ( $U$ ) dalam keadaan bersih ( $U_c$ ) maupun dalam keadaan kotor atau desain ( $U_D$ ), dan perubahan dimensi alat penukar panas seperti jumlah *tube* dan diameter *shell*.

### 2. METODE

Penelitian ini menggunakan objek penukar panas dengan jenis *shell and tube condenser* tipe AEM (Kern, 1950; Serth & Lestina, 2014) yang dimiliki pada salah satu industri pupuk di Indonesia (Ayun dkk., 2023; Naulina dkk., 2023). Fluida pada *shell* berupa ammonia gas yang dikondensasikan melalui penggunaan air pendingin di dalam *tube*. Beberapa data lapangan dimanfaatkan untuk mendukung perhitungan parameter evaluasi desain. Pengambilan data lapangan pada peralatan penukar panas ditunjukkan oleh Tabel 1 yang berupa laju alir massa, suhu masuk dan keluar dari kedua fluida, serta spesifikasi *shell and tube condenser*.

**Table 1:** Data Pengoperasian Peralatan dan Spesifikasi *Shell And Tube Condenser*

Parameter	Shell, gas amonia	Tube, air pendingin	Spesifikasi Lainnya	
<b>Kondisi Operasi</b>			<b>Tube</b>	
Suhu masuk, °F	122	87,8	Susunan	Triangular
Suhu keluar, °F	98,6	95	BWG	14
Laju alir, lb <sub>m</sub> /jam	44.835	2.469.193,5	Diameter luar, OD, in	1
<b>Spesifikasi</b>			Panjang, L, ft	24
Material	SA 516 GR 70	Carbon steel	Jumlah, N <sub>t</sub>	906
Diameter dalam, ID, in	42	0,834	<b>Shell</b>	
Jumlah lintasan	1	2	Jarak antar baffle, B, in	35

Pemanfaatan persamaan matematis bersamaan dengan spesifikasi desain *shell and tube condenser* pada Tabel 1 terkalkulasi melalui perangkat maupun simulasi program komputasi sebagai bentuk keterampilan mahasiswa teknik kimia (Alfath dkk., 2020; Nuraini dkk., 2024; Purnamasari dkk., 2020; Rumira dkk., 2023; Sari dkk., 2021; Sijabat dkk., 2024; Sutardi dkk., 2020; Ulfa dkk., 2020) dan berbahasa Inggris (Iyan dkk., 2020; Rahmatunissa dkk., 2020). Metode penelitian yang digunakan selama evaluasi dan pengubahan material *tube* meliputi: (1) studi literatur alat penukar panas jenis *shell and tube*; (2) pengumpulan data desain pada *shell and tube condenser* berupa spesifikasi peralatan dan kondisi operasi di lapangan industri; (3) pengumpulan data properti untuk fluida proses baik di sisi *shell* maupun *tube* serta *material tube*; (4) pengolahan data melalui penerapan persamaan matematis yang melibatkan berbagai buku *heat exchangers* dan literatur lain dalam menunjang rujukan referensi; serta (5) perolehan data hasil meliputi *heat transfer area*, koefisien perpindahan panas keseluruhan, dan dimensi penukar panas dari kedua desain pasca tindakan pergantian *material tube*.

Perihal poin (3) melibatkan data properti fluida seperti: panas spesifik, panas laten, viskositas, dan konduktivitas termal (Yaws, 1999) dengan berdasarkan data kondisi operasi pada alat *shell and tube condenser*. Spesifikasi alat yang tercantum memberikan gambaran desain untuk membandingkan pemanfaatan persamaan matematis material *tube* desain berupa *carbon steel* menjadi *309 stainless steels* (sebagai material pembeding). Analisis dimensi alat dan parameter evaluasi kinerja perpindahan panas dapat diketahui dari penggunaan persamaan (1) hingga (14.2) yang tersaji dengan tahapan berikut (Fettaka dkk., 2013).

Laju perpindahan panas ( $Q$ ) menggunakan persamaan (1) dan panas laten ketika perubahan fasa memanfaatkan persamaan (2).

$$Q = (\dot{m} \times c_p)_c \times (T_{c2} - T_{c1}) = (\dot{m} \times c_p)_h \times (T_{h1} - T_{h2}) \quad (1)$$

$$Q = \dot{m} \times h_{fg} \quad (2)$$

dengan  $\dot{m}$  sebagai laju alir massa fluida (kg/s);  $c_{p,c}$  dan  $c_{p,h}$  sebagai panas spesifik untuk fluida *cold* dan *hot* (J/kg.K);  $T_{c(1,2)}$  dan  $T_{h(1,2)}$  sebagai suhu fluida dingin yang masuk dan keluar, dan suhu fluida dingin masuk-keluar ( $^{\circ}\text{C}$  atau K); serta  $h_{fg}$  adalah panas laten evaporasi/kondensasi (J/kg).

Nilai  $\Delta T_{lm}$  adalah perbedaan logaritmik rata-rata dari perbedaan suhu antara dua fluida di sepanjang peralatan penukar panas. Perihal ini menggambarkan perbedaan suhu yang ada antara dua fluida di berbagai titik penukar panas. Untuk alat penukar panas dengan aliran berlawanan arah (*counterflow*) -  $\Delta T_{lm,cf}$  terestimasi melalui pemanfaatan persamaan (3) berikut.

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_{h1} - T_{c2}) - (T_{h2} - T_{c1})}{\ln \left( \frac{T_{h1} - T_{c2}}{T_{h2} - T_{c1}} \right)} \quad (3)$$

Nilai  $F$  dibutuhkan untuk mendapatkan  $\Delta T_{lm}$  melalui perolehan nilai  $R$  dan  $P$  dengan merujuk persamaan (4.1) hingga (4.3). Notasi  $R$  merupakan pembeding daya tampung kalor fluida dingin dan fluida panas. Sedangkan,  $P$  menyatakan efisiensi temperatur antara kedua fluida (panas-dingin).

$$R = \frac{T_{h1} - T_{h2}}{t_{c2} - t_{c1}} \quad (4.1)$$

$$P = \frac{t_{c2} - t_{c1}}{T_{h2} - t_{c1}} \quad (4.2)$$

$$\Delta T_m = F \times \Delta T_{lm} \quad (4.3)$$

dengan  $F$  sebagai faktor koreksi untuk  $\Delta T_{lm}$ , serta  $R$  dan  $P$  merupakan *temperature group*.

Koefisien perpindahan panas hingga penurunan tekanan yang terdapat pada peralatan *shell and tube condenser* tersaji ada Tabel 3 untuk persamaan (5.1) hingga (14.2) (Kakaç dkk., 2020) dengan keterangan merujuk bagian NOTASI.

	Shell	Parameter Evaluasi	Tube	
(5.1)	$A_s = \frac{D_s \times C \times B}{P_T}$	Cross flow area	$A_t = \frac{\pi \times d_i^2}{4}$	(5.2.1)
			$A_{tp} = \frac{N_t \times A_t}{N_p}$	(5.2.2)
(6.1)	$G_s = \frac{\dot{m}}{A_s}$	Laju alir massa	$G_t = \frac{\dot{m}}{A_{tp}}$	(6.2.1)
			$u_t = \frac{G_t}{\rho}$	(6.2.2)
(7.1)	$Re_s = \frac{G_s \times D_e}{\mu}$	Bilangan Reynold, Re	$Re_t = \frac{u_t \times \rho \times d_i}{\mu}$	(7.2)
(8.1)	Didapatkan dari Figure 28 (Kern, 1950)	Faktor perpindahan panas, $jH$	Nilai $jH$ shell diperoleh dari Figure 24 (Kern, 1950)	
(9.1)	$h_o = jH \frac{k}{D} \left( \frac{c_p \mu}{k} \right)^{\frac{1}{3}} \phi_s$ Atau nilai $h_o$ dan $h_i$ didapatkan dari (Serth & Lestina, 2014)	Koefisien Perpindahan panas	$h_i = jH \frac{k}{D} \left( \frac{c_p \mu}{k} \right)^{\frac{1}{3}} \phi_t$	(9.2.1)
			$h_{io} = \frac{h_i}{\phi_t} \times \frac{ID}{OD} \phi_t$	(9.2.2)
(10)	Overall heat transfer coefficient for the clean surface $U_c = \frac{1}{\frac{d_o}{d_i h_i} + \frac{d_o \ln \left( \frac{d_o}{d_i} \right)}{2k} + \frac{1}{h_o}}$		Luas perpindahan panas, $A$ $A_c = \frac{Q}{U_c \times \Delta T_m}$	(12.a)
(11)	Overall heat transfer coefficient for the fouled surface		$A_f = \frac{Q}{U_f \times \Delta T_m}$	(12.b)

$$U_f = \frac{1}{\frac{d_o}{d_i h_i} + \frac{d_o \ln\left(\frac{d_o}{d_i}\right)}{2k} + R_{ft} + \frac{1}{h_o}}$$

(12) Diameter dalam untuk material 309 stainless steel,  $D$

Jumlah tube,  $N_t$  (13)

$$D_s = 0,637 \sqrt{\frac{CL}{CTP} \left[ \frac{A_f(PR)^2 d_o}{L} \right]^{\frac{1}{2}}}$$

$$N_t = 0,785 \frac{CTP}{CL} \times \frac{D_s^2}{(PR)^2 (d_o)^2}$$

$$PR = \frac{P_T}{d_o}$$

(14.1) 
$$\Delta P_s = \frac{f \times G_s^2 (N_b + 1) D_s}{2\rho \times D_e \times \phi_s}$$

Pressure drop,  $\Delta P$

(14.2) 
$$\Delta P_t = \left( 4f \frac{L \times N_p}{d_i} + 4N_p \right) \times \left( \frac{\rho \times u_t^2}{2} \right)$$

Kemudian, persamaan (1) hingga (14.2) dilanjutkan ke pemanfaatan konstanta baik CTP sebagai konstanta untuk jumlah lintasan tube maupun CL sebagai konstanta layout tube yang disajikan oleh Tabel 2 berikut.

**Table 2:** Konstanta Bagi Kuantitas Lintasan dan Layout Tube

Jumlah Lintasan Tube	CTP	Sudut Layout Tube	CL
1	0,93	45 dan 90°	1,0
2	0,90	30 dan 60°	0,87
3	0,85		

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Shell and tube condenser berfungsi mengkondensasikan amonia gas yang terdapat pada shell menjadi amonia liquid dengan media pendingin berupa air pendingin yang diisirkulasikan melalui tube. Kinerja alat penukar panas menurun dengan adanya endapan dan korosi sebagai pengotor condenser yang terjadi pada lapisan material tube (Walker dkk., 2012). Kondisi semacam ini bergantung pada berbagai faktor, diantaranya berupa material tube, sumber fluida, maupun kecepatan kontak fluida (Vodeniktov dkk., 2023). Kerusakan material tube yang terjadi menyebabkan berkurangnya jumlah tube sehingga proses perpindahan panas dalam penukar panas terjadi secara tidak maksimal. Pendekatan sifat fisis pada material tube adalah pergantian melalui penggunaan 309 stainless steel yang diberikan.

Penukar panas jenis shell and tube telah tercantum pada beberapa referensi seperti (Kern, 1950), (Serth & Lestina, 2014), (Kacaç dkk., 2020) dan penelitian (Feng dkk., 2020) tentang desain konstrukstur kondenser. Penggunaan persamaan matematis membutuhkan sejumlah data kondisi operasi dari fluida proses yang dimiliki alat penukar panas selama proses perpindahan panas berlangsung. Pengolahan data spesifikasi pada Tabel 1 memberikan hasil perhitungan terhadap kinerja shell and tube condenser yang disajikan Tabel 3.

**Table 3:** Perbandingan Data Hasil Pengolahan Untuk Kedua Material Tube Penukar Panas Shell And Tube Condenser

Parameter		Material Tube	
		Carbon Steel	309 Stainless Steel
Laju perpindahan panas, $Q$	J/s	6.412.301,29	6.412.301,29
Suhu logaritmik rata-rata $\Delta T_m$	°C	8,74	8,74
Area perpindahan panas tanpa pengotor, $A_c$	m <sup>2</sup>	32,52	33,82
Area perpindahan panas dengan pengotor, $A_f$	m <sup>2</sup>	520,16	521,46
Koefisien transfer panas clean keseluruhan, $U_c$	W/m <sup>2</sup> .K	22.558,79	2.1691,15
Koefisien transfer panas dirty keseluruhan, $U_f$	W/m <sup>2</sup> .K	1.410,17	1.406,65
Diameter dalam shell, $D_s$	mm	1.069	1.070
Jumlah tube, $N_t$	buah	906	908
Overdesign	%	15	16

Data hasil pada Tabel 3 menunjukkan adanya perubahan beberapa parameter pada desain alat penukar panas shell and tube condenser. Perubahan desain material tube yang semula dari carbon steel menjadi 309 stainless steel mampu memberikan pengaruh bagi nilai evaluasi pada desain alat penukar panas tersebut. Untuk laju perpindahan panas –  $Q$  dan suhu logaritmik rata-rata -  $\Delta T_m$  yang sama besar pada kedua material mampu menghasilkan perbedaan nilai evaluasi dengan kisaran 0,0934 hingga 3,846% untuk parameter area perpindahan panas tanpa dan dengan pengotor, serta koefisien transfer panas baik clean maupun dirty secara keseluruhan. Selama proses perpindahan panas, data properti seperti: kecepatan fluida, perbedaan suhu, kapasitas panas dan sifat fisis fluida menjadi acuan dalam menerapkan persamaan (1) dan (2) untuk laju perpindahan panas (Septian et al., 2021). Peneliti (Selbaş dkk., 2006) turut menyatakan bahwa perbedaan suhu rata-rata fluida di sepanjang peralatan penukar panas yang bekerja mampu memberikan permasalahan pada desain awalnya.

Hasil evaluasi kinerja dari kedua material tube untuk aspek luas perpindahan panas berupa peninjauan luas area perpindahan ketika shell and tube condenser dalam keadaan bersih dan kotor. Nilai  $A_c$  dari Tabel 3 menunjukkan material tube pengganti mampu memberikan efisiensi perpindahan panas setara dengan material sebelumnya. Capaian dari 32,52 menjadi 33,82 m<sup>2</sup> turut didukung oleh (Wicaksono dkk., 2017) dimana laju perpindahan panas memiliki hubungan lurus dengan luas area perpindahan panas –  $A$  peralatan penukar panas. Kemudian, untuk parameter koefisien perpindahan panas keseluruhan –  $U$  melibatkan peran perpindahan panas secara konveksi dan konduksi melalui lapisan dinding tube sehingga persamaan matematis (9.1) hingga (9.2.2) menjadi perhitungan untuk nilai  $h_i$ ,  $h_{io}$ , dan  $h_o$  (Tupamahu & Narmo, 2021). Analisis dan pergantian desain material tube terpengaruhi oleh nilai koefisien konveksi yang terhubung oleh besarnya geometri dan konduktivitas termal tube (Gahana & Supriyadi, 2018).

Faktor pengotor atau dikenal *fouling factor* pada penukar panas tipe *shell and tube* peralatan kondenser ini dirunut terlebih dahulu melalui parameter koefisien laju perpindahan panas keseluruhan baik *clean surface* -  $U_c$  maupun *fouled surface* -  $U_f$ . Kondisi untuk  $U_c$  berperan pada kondisi awal penukar panas atau dikenal kondisi bersih sehingga peran  $h_o$ , dan  $h_{io}$  dilibatkan. Parameter  $U_f$  mengarah pada kondisi peralatan penukar panas yang telah digunakan atau kondisi kotor. Peneliti (Sekarningrum dkk., 2023) turut menyatakan terkait  $U_f$  bahwa peran parameter tersebut pada tinjauan *fouling factor* mengulas mudah atau tidaknya perpindahan panas berlangsung pada peralatan penukar panas. Demikian pula penerapan perpindahan panas berlangsung di jenis *air-cooled heat exchanger* (Ni'mah dkk., 2023), *plate and frame exchanger* (Malik & Sari, 2024) maupun unit proses lain (seperti distilasi) yang membutuhkan sejumlah energi untuk melangsungkan proses pemisahan dengan menambahkan bagian kondenser dan reboiler untuk meningkatkan persentase *yield* produk atas-bawah (Fitriah & Sari, 2023; Wibowo dkk., 2022). Hasil perhitungan untuk *fouling factor* menunjukkan bahwa perbedaan nilai kedua parameter sebelum dan setelah pergantian material *tube carbon steel* tidak signifikan sehingga data olahan tersebut dapat diterima untuk menjadi ke material 309 *stainless steel*. Peneliti (Caroline & Rosid, 2022) telah membahas ulang kinerja peralatan penukar panas dengan kondisi diterima evaluasinya dimana kontennya untuk nilai  $U_c$  lebih besar dari nilai  $U_f$ . Peneliti lainnya (Putri & Sari, 2023) turut berkontribusi bagian lainnya yaitu di bagian dinding insulasi untuk menekan kuantitas panas yang hilang ke lingkungan sebagai bentuk pemantauan efektivitas kinerja unit maupun peralatan proses

Nilai konduktivitas termal -  $k$  turut memberikan kontribusi pengaruh pada koefisien perpindahan panas keseluruhan -  $U$ . Desain material awal *shell and tube* menuju 309 *stainless steel* mampu menambahkan 2 buah kuantitas *tube* dan diameter dalam *shell* peralatan penukar panas kondenser. Kajian ini juga terjadi pada penelitian yang dilakukan (C Soekardi, 2015) dimana peningkatan jumlah *tube* berbanding lurus dengan dimensi *shell* kondenser tersebut. Dampak ini disebabkan oleh faktor nilai luas area perpindahan panas -  $A$ , dan pihak industri turut melakukan penyesuaian untuk melangsungkan laju perpindahan panas. Kebutuhan *tube* dengan material 309 *stainless steel* ini mampu memberikan kuantitas *tube* yang lebih dari desain material *tube* awal dalam memenuhi kecukupan proses perpindahan panas. Selain itu, perubahan yang dimiliki peralatan penukar panas turut memiliki data *overdesain* dari 15 menjadi 16%.

#### 4. KESIMPULAN

Penelitian tentang penggantian material *tube* pada peralatan *shell and tube condenser* dari *carbon steel* menjadi 309 *stainless steel* di salah satu pabrik pupuk telah dilakukan peninjauan. Proses penukaran fluida panas (amonia) dan air pendingin bertujuan untuk mengubah fasa amonia dari gas menjadi liquid. Parameter evaluasi berupa laju perpindahan panas -  $Q$ , *log mean temperature difference*, dan luas perpindahan panas, koefisien perpindahan panas keseluruhan (bersih -  $U_c$  dan kotor -  $U_f$ ), serta perubahan dimensi pada peralatan kondenser tersebut. Hasil penelitian ini menunjukkan adanya perubahan dimensi alat penukar panas terhadap diameter *shell* dan jumlah *tube*. Perolehannya berupa nilai  $U_c$  dan  $U_f$  pada awal material pertama sebesar 22558,79 dan 1410,17 W/m<sup>2</sup>.K. Kemudian, penggantian material *tube* menjadi 21691,15 dan 1406,65 W/m<sup>2</sup>.K, secara berturut-turut. Capaian ini memberikan luas perpindahan panas lebih besar dibandingkan material desain awal penukar panas kondenser. Secara tidak langsung, material *tube* yang baru mampu memberikan indikasi bahwa performanya lebih baik baik dalam keadaan bersih maupun *fouling*. Kemudian, dimensi *shell and tube condenser* turut mengalami perubahan dengan seiring peningkatan luas area perpindahan panas dan geometrinya terkondisikan untuk melangsung umpan pertukaran fluida panas-dingin tersebut.

#### NOTASI

(N+1) : Jumlah <i>baffle</i>		$\dot{m}$ : Laju alir massa fluida	kg/s
$A_c$ : Area perpindahan panas tanpa pengotor (m <sup>2</sup> )	m <sup>2</sup>	$N_b$ : Jumlah <i>baffle</i>	
$A_f$ : Area perpindahan panas dengan pengotor (m <sup>2</sup> )	m <sup>2</sup>	$N_p$ : Jumlah lintasan	
$A_s$ : <i>Crossflow area in shell</i>	m <sup>2</sup>	$N_t$ : Jumlah total <i>tube</i>	
$A_t$ : <i>Crossflow area in tube</i>	m <sup>2</sup>	$P$ : <i>Temperature group</i> $\left(\frac{t_{c2}-t_{c1}}{T_{h2}-t_{c1}}\right)$	
$A_{tp}$ : Laju permukaan aliran <i>tube</i>	m <sup>2</sup>	PR : <i>Tube pitch ratio</i> ( $P_T - d_o$ )	
B : Jarak antar <i>baffle</i>	m	$P_T$ : <i>Pitch tube</i>	m
C : <i>Clearence</i>	m	Q : Beban panas penukar panas	J/s
CL : Konstanta <i>layout tube</i>		R : <i>Temperature group</i> $\left(\frac{T_{h1}-T_{h2}}{t_{c2}-t_{c1}}\right)$	
$c_p$ : Panas spesifik	J/kg.K	$Re_s$ : Bilangan Reynold sisi <i>shell</i>	
CTP : Konstanta untuk jumlah <i>tube</i>		$Re_t$ : Bilangan Reynold sisi <i>tube</i>	
$D_e$ : Ekuivalen diameter <i>shell</i>	m	$R_{ft}$ : Total pengotor	m <sup>2</sup> .K/W
$d_i$ : Diameter dalam <i>tube</i>	m	$T_{c(1,2)}$ : Suhu fluida dingin (masuk, keluar)	K
$d_o$ : Diameter luar <i>tube</i>	m	$T_{h(1,2)}$ : Suhu fluida dingin (masuk, keluar)	K
$D_s$ : Diameter dalam <i>shell</i>	m	$U_c$ : Koefisien transfer panas <i>clean</i> keseluruhan	W/m <sup>2</sup> .K
$f$ : <i>Friction factor</i>		$U_f$ : Koefisien transfer panas pengotor keseluruhan	W/m <sup>2</sup> .K
F : Faktor koreksi untuk $\Delta T_{lm}$		$u_t$ : Kecepatan rata-rata di dalam <i>tube</i>	m/s
$G_s$ : Laju alir massa di <i>shell</i>	kg/m <sup>2</sup> .s	$\mu$ : Viskositas	N.s/m <sup>2</sup>
$G_t$ : Laju alir massa di <i>tube</i>	kg/m <sup>2</sup> .s	$\rho$ : Densitas	kg/m <sup>3</sup>

$h_{fg}$	: Panas laten evaporasi atau kondensasi	J/kg	$\pi$	: phi; 3,14
$h_i$	: Koefisien perpindahan panas sisi tube	W/m <sup>2</sup> .K	$\Phi_s$	: Faktor koreksi viskositas untuk fluida sisi shell ( $\mu_w/\mu_b$ ) <sup>0,14</sup>
$h_o$	: Koefisien perpindahan panas sisi shell	W/m <sup>2</sup> .K	$\Phi_t$	: Faktor koreksi viskositas untuk fluida sisi tube ( $\mu_w/\mu_b$ ) <sup>0,14</sup>
$k$	: Konduktivitas termal material tube	W/m.K	$\Delta T_{lm}$	: Log mean temperature differences K
$L$	: Panjang tube	m	$\Delta T_m$	: True mean temperature difference K

## DAFTAR PUSTAKA

- Alfath, M. I., Fadzrin, A. G., Kamil, M. I., & Sari, D. A. (2020). Praktikum mahasiswa teknik kimia unsika: Teori melalui daring dan praktek di normal baru. *Prosiding Seminar Nasional Universitas Islam Syekh Yusuf*, 1374–1378.
- Amani, Y. (2018). Predict tube overall fouling in heatexchanger 53 EA-1001. *Jurnal Ilmiah Sistem Informasi*, 2(1), 95–109.
- Anjani, S. N., Za, N., Azhari, A., Bahri, S., & Sylvia, N. (2023). Pengaruh kondisi operasi terhadap pembentukan fouling factor ( $R_d$ ) pada Kondensor 61-127-C di unit ammonia refrigerant PT Pupuk Iskandar Muda. *Chemical Engineering Journal Storage (CEJS)*, 3(3), 291–301.
- Ayun, Q., Rosmawati, A., Sari, D. A., Gurning, K., Lestari, Y. P. I., Khurniyati, M. I., Nendissa, S. J., Novitriani, K., Aryasa, I. W. T., Fahmi, A., Naulina, R. Y., Nendissa, D. M., Sr, M. Z., Hati, R. P., Fauziah, S., & Hasibuan, A. K. H. (2023). *Kimia organik*. Penerbit Widina Bhakti Persada Bandung.
- Bizzy, I., & Setiadi, R. (2013). Studi perhitungan alat penukar kalor tipe shell and tube dengan program Heat Transfer Research Inc. (HTRI). *Jurnal Rekayasa Mesin*, 13(1), 67–77.
- Caroline, C., & Rosid, I. A. (2022). Pengukuran efisiensi perpindahan panas pada heat exchanger shell and tube dengan metode Log Mean Temperature Difference (LMTD). *Conference SENATIK STT Adisutjipto Yogyakarta*, 7, Tel-279-Tel-285.
- Feng, H., Cai, C., Chen, L., Wu, Z., & Lorenzini, G. (2020). Constructural design of a shell-and-tube condenser with ammonia-water working fluid. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 118(104867), 1–8.
- Fernández-Seara, J., & Uhía, F. J. (2012). Heat transfer and friction characteristics of spirally corrugated tubes for outer ammonia condensation. *International Journal of Refrigeration*, 35(7), 2022–2032.
- Fettaka, S., Thibault, J., & Gupta, Y. (2013). Design of shell-and-tube heat exchangers using multiobjective optimization. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 60, 343–354.
- Fitria, I. A., Sari, D. A., Fahriani, V. P., & Djaeni, M. (2022). Fouling factor penukar panas shell and tube melalui program Heat Transfer Research Inc (HTRI). *Reka Buana: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia*, 7(2), 104–113.
- Fitriah, F., & Sari, D. A. (2023). Optimization of distillation column reflux ratio for distillate purity and process energy requirements. *International Journal of Basic and Applied Science*, 12(2), 72–81.
- Gahana, D., & Supriyadi, D. (2018). Analisis kinerja high pressure heater (HPH) tipe shell and tube heat exchanger. *Journal of Science and Application Technology*, 2(1), 23–33.
- Iyan, I., Ulfa, V. S., & Sari, D. A. (2020). Pendampingan peningkatan komunikasi berbahasa Inggris bagi mahasiswa/i teknik kimia kabupaten Karawang. *Prosiding Seminar Nasional Rekartu 2020*, 98–104.
- Kakaç, S., Liu, H., & Pramuanjaroenkij, A. (2020). *Heat exchangers: Selection, rating, and thermal design* (4th ed). CRC Press.
- Kallannavar, S., Mashyal, S., & Rajangale, M. (2020). Effect of tube layout on the performance of shell and tube heat exchangers. *Materials Today: Proceedings*, 27, 263–267.
- Kamil, M. I., & Sari, D. A. (2023). Komparasi desain alat penukar panas tipe air-cooled. *Jurnal Teknologi*, 16(2), 180–186.
- Kern, D. Q. (1950). *Process heat transfer* (21st printing 1983). McGraw-Hill Book Company, Inc.
- Malik, L. A., & Sari, D. A. (2024). Optimizing plate heat exchanger design for steam condensate recovery systems. *Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Dan Teknik Kimia*, 9(1), 131–144.
- Naulina, R. Y., Stiawan, E., Nendissa, S. J., Nendissa, D. M., Sari, D. A. S., Ariyanti, D., Sulisty, A. B., Siahaya, A. N., Fatnah, N., Rahim, H., Rosmawati, A., Khurniyati, M. I., & Fahmi, A. (2023). *Kimia industri*. Penerbit Widina Media Utama.
- Ni'mah, K. P., Fitriah, F., & Sari, D. A. (2023). Performance of an air-cooled heat exchanger in a separation unit based on fouling factor and pressure drop. *Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Dan Teknik Kimia*, 8(2), 128–139.
- Nugraha, R., Setiawan, R., & Anjani, R. D. (2021). Analisa perhitungan kerja alat penukar kalor berdasarkan data desain dan data aktual. *Eksergi*, 17(3), 155–162.

- Nuraini, A., Setyowati, D. A., Kurniyanto, V. E., Ni'mah, K. P., Aliffiantika, N., Pusvitasari, A. B., & Sari, D. A. (2024). Simulation program skills for chemical engineering graduates. *Jurnal Pendidikan Glasser*, 8(1), 129–138.
- Purnamasari, R., Malani, S., Savitri, M. D., Lestari, R. N., Salsabilla, A., & Sari, D. A. (2020). Pembelajaran tatap muka dan daring terhadap perkuliahan mahasiswa teknik kimia. *Prosiding Seminar Nasional Universitas Islam Syekh Yusuf*, 1364–1369.
- Putri, A. S., & Sari, D. A. (2023). Analysis of heat loss in wall insulators and sterilizer door covers in palm oil processing factories. *International Journal of Basic and Applied Science*, 12(2), 82–91.
- Rahmatunissa, A., Kusumawati, E. D., Nulfaidah, F., Azzhara, M., Sumarsih, S., & Sari, D. A. (2020). Keberlanjutan kemampuan dasar bahasa Inggris bagi mahasiswa/i teknik kimia. *Prosiding Seminar Nasional Universitas Islam Syekh Yusuf*, 171.
- Rumira, M. S., Putri, L. D. J., Alfisyahri, S., Rahmawati, F., Alya, N. V. N., Patimah, S., & Sari, D. A. (2023). Personal competencies of chemical engineering student graduates before entering the world of work. *Jurnal Pendidikan Glasser*, 7(2), 423–4300.
- Sari, D. A., Martin, M. R., Azzhara, M., Firdaus, M. A., Ulfa, V. S., Ikhtiari, T., & Sumarsih, S. (2021). *Top 33 chemical engineering essay competition (part 1)*. Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia.
- Schlünder, E. U., Bell, K. J., Chisholm, D., Hewitt, G. F., Schmidt, F. W., Spalding, D. B., Taborek, J., Zukauskas, A., & Gnielinski, V. (Eds.). (1983). *Heat exchanger design handbook*. VDI-Verl. [u.a.].
- Sekarningrum, S., Amalia Kusuma Putri, R., & Sani, S. (2023). Efisiensi perpindahan panas pada alat penukar kalor tipe cangkang dan pipa PT Petrokimia Gresik. *Sinerji Polmed: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 4(1), 75–81.
- Selbaş, R., Kızıllan, Ö., & Reppich, M. (2006). A new design approach for shell-and-tube heat exchangers using genetic algorithms from economic point of view. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 45, 268–275.
- Septian, B., Aziz, A., & Rey, P. D. (2021). Desain dan rancang bangun alat penukar kalor (heat exchanger ) jenis shell dan tube. *Jurnal Baut dan Manufaktur*, 3(1), 53–60.
- Serth, R. W., & Lestina, T. G. (2014). *Process heat transfer: Principles, applications and rules of thumb* (2nd ed). Elsevier.
- Sijabat, S. D., Azzahra, D. F., Fauzia, F., Aprilia, B., Fitria, I. A., & Sari, D. A. (2024). Pengembangan diri mahasiswa bagi karir calon lulusan teknik kimia. *Damhil Education Journal*, 4(1), 1–14.
- Soekardi, C. (2015). Analisis pengaruh efektivitas perpindahan panas dan tahanan termal terhadap rancangan termal alat penukar kalor shell & tube. *Sinerji*, 19(1), 19–24.
- Sutardi, M. P., Fardiansyah, M. I., Fauzia, F., & Sari, D. A. (2020). Program simulasi Aspen Hysis bagi mahasiswa teknik kimia di semester awal. *Prosiding Seminar Nasional Universitas Islam Syekh Yusuf*, 1, 1370–1373.
- Tupamahu, C. S. E., & Narmo, C. (2021). Pengaruh temperatur fluida panas masuk terhadap karakteristik penukar panas shell and tube. *Journal Teknik Mesin, Elektro, Informatika, Kelautan dan Sains*, 1(1), 9–16.
- Ulfa, V. S., Kharisma, H. D., & Sari, D. A. (2020). Optimasi akademisi dan mata kuliah teknik kimia melalui peran praktisi industri. *Prosiding Seminar Nasional Universitas Islam Syekh Yusuf*, 1, 1379–1383.
- Vodeniktov, A., Minibaev, A., Melnikova, V., Egorochkin, K., Samoilov, A., & Ovechkin, A. (2023). The problem of the surface condenser overall heat transfer coefficient determining at high temperatures of cooling water. *Results in Engineering*, 18(101193), 1–5.
- Walker, M. E., Safari, I., Theregowda, R. B., Hsieh, M.-K., Abbasian, J., Arastoopour, H., Dzombak, D. A., & Miller, D. C. (2012). Economic impact of condenser fouling in existing thermoelectric power plants. *Energy*, 44, 429–437.
- Wibowo, L. K., Saputra, R. D., Suherman, S. D. M., Fatin, A., Sinabutar, K. V., Djaeni, M., & Sari, D. A. (2022). Perkiraan biaya modal spesifik atas pabrik multi efek distilasi. *Jurnal Inovasi Teknik Kimia*, 7(2), 30–38.
- Wicaksono, C., Wijanarko, E., Simanullang, O. H., & Tahad, A. (2017). Perancangan eco heat exchanger type 1-2 shell and tube dan pengaruh jumlah baffle terhadap transfer panas. *Jurnal Chemurgy*, 1(1), 27.
- Yaws, C. L. (1999). *Chemical properties handbook: Physical, thermodynamics, environmental, transport, safety, and health related properties for organic and inorganic chemicals*. McGraw-Hill Companies.