

Evaluasi Performa *Heat Exchanger* Menggunakan Software Aspen HYSYS di Central Gathering Station "X" Plant Operations "Y" Pertamina Hulu Rokan

Sri Helianty^{a*}, Alif Luthfi^a, Deni Wijaya^b

^aProgram Studi S1 Teknik Kimia, Universitas Riau, Pekanbaru 28293, Indonesia

^bPertamina Hulu Rokan, Rokan Hilir, Indonesia

ARTICLE HISTORY

Received : 20-01-2025

Accepted : 21-03-2025

Published : 24-03-2025

KEYWORDS

Heat Exchangers (HEX)

Fouling

Fluid Distribution

Performance Evaluation

Aspen Exchanger Design and Rating (EDR)

*correspondence author:

Email: sri.helianty@lecturer.unri.ac.id



ABSTRACT

The Rokan Block is one of Indonesia's largest oil producers. It is managed by PT Pertamina Hulu Rokan (PHR) and contributes 25% to Indonesia's total oil production. The Central Gathering Station (CGS) "X" at PT PHR utilizes shell and tube heat exchangers (HEX) to effectively heat produced fluids, thereby enhancing the separation of crude oil. Despite their utility, several challenges—such as uneven fluid distribution, fouling, and tube plugging—have compromised the performance of heat exchangers (HEX). These issues can result in some units failing to reach the desired temperature. This study assessed the performance of HEX at CGS X using Aspen HYSYS and Aspen Exchanger Design and Rating (EDR) software, concentrating on key parameters including the heat transfer coefficient, pressure drop, and fluid velocity. The analysis revealed that low fluid velocity within the shell increased the risk of fouling, and a fouling resistance exceeding 0.03 °F·hr·ft²/Btu significantly diminished efficiency. To address this, a redesigned heat exchanger (HEX) was proposed to optimize fluid velocity, achieving a rate of 1.15 ft/s. This adjustment reduced fouling and enhanced heat transfer while maintaining economic feasibility by decreasing the required heat transfer area. Operational recommendations based on the performance evaluation included making appropriate fluid distribution adjustments and conducting timely maintenance to ensure reliable operation.

1 PENDAHULUAN

Blok Rokan salah satu blok minyak yang dikelola PT Pertamina Hulu Rokan (PHR) dengan produksi 60.000 BOPD (*Barrel Oil per Day*). Produksi Blok Rokan 25% produksi minyak bumi nasional Indonesia atau terbesar kontribusinya. Salah satu lapangan minyak PHR adalah lapangan "Y" yang dikhususkan untuk mengelola minyak berat dengan teknologi injeksi uap (*steam flood*) (Ardha, 2024). Karenanya PT PHR memiliki fasilitas *central gathering station* (CGS) untuk pemisahan *crude oil* dari air dan pengotor lainnya dengan bantuan bahan kimia (*chemical*). Kefektifan penggunaan *chemical* mengharuskan adanya *heat exchanger* (HEX) yang berforma baik. Perubahan kondisi operasi seperti tekanan, temperatur, laju alir fluida, dan terjadinya *fouling* dapat menurunkan performa HEX. Akibatnya efisiensi perpindahan panas HEX berkurang relatif terhadap nilai desain dan disertai peningkatan konsumsi energi (Budiman & Pusparatu, 2023).

Evaluasi dan optimasi performa untuk menjaga HEX di CGS Blok Rokan beroperasi dengan efisien dapat dilakukan dengan piranti lunak simulator proses kimia seperti Aspen HYSYS dengan Aspen Exchanger Design and Rating (EDR) (Janaun et al., 2016).

Beberapa penelitian terkait simulasi menggunakan Aspen HYSYS telah dilakukan untuk mengevaluasi performa HEX. Penelitian oleh Vivekanandan et al. (2023) menunjukkan bahwa Aspen HYSYS dapat digunakan untuk menentukan parameter operasi dan desain yang sesuai

dengan kebutuhan perpindahan panas. Selain itu, penelitian oleh Setiorini & Faputri (2023) menunjukkan penerapan Aspen HYSYS dalam mendeteksi terjadinya *fouling* pada *heat exchanger* berdasarkan perhitungan *fouling factor*. Penelitian Budiman & Pusparatu (2023) menunjukkan bahwa Aspen HYSYS dapat digunakan untuk optimalisasi desain *heat exchanger* dan meningkatkan efisiensi perpindahan panas pada *heat exchanger*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja unit HEX di CGS X dengan menggunakan *simulator* Aspen HYSYS dan Aspen EDR. Performa HEX dianalisis melalui parameter koefisien perpindahan panas, *pressure drop*, dan kecepatan fluida untuk mengidentifikasi persoalan unit HEX. Berdasarkan hasil evaluasi tersebut, direkomendasikan penyelesaian untuk pengoperasian dan desain agar efisiensi unit HEX sesuai peruntukannya.

2 METODE

2.1 Alat

Piranti lunak *simulator* Aspen EDR V 14 digunakan pada penelitian ini untuk menganalisis performa *shell and tube heat exchanger* dan ASPEN HYSYS V 14 untuk mengkarakterisasi sifat fisik fluida.

2.2 Prosedur Penelitian

Penelitian dilakukan dengan beberapa tahapan utama sebagai berikut:

1. Pengumpulan Data Operasional dan Spesifikasi HEX
Data-data penelitian ini terdiri dari temperatur, tekanan, laju aliran fluida, dan spesifikasi alat *heat exchanger* di CGS X. Data diperoleh dari hasil pengukuran langsung, *equipment tag*, dan laporan *maintenance*.
2. Karakterisasi Sifat Fisik Fluida
Sifat fisik fluida seperti viskositas, densitas, dan distribusi komponen *crude oil* ditentukan dengan Aspen HYSYS. Data *True Boiling Point* (TBP) *crude oil* dari lapangan “Y” di-input ke dalam fitur *Petroleum Assay* di Aspen HYSYS untuk memprediksi komposisi hidrokarbon di dalam *crude oil*.
3. Simulasi dan Evaluasi Kinerja HEX
Simulasi dilakukan menggunakan Aspen EDR untuk menganalisis parameter performa HEX, seperti koefisien perpindahan panas, *pressure drop*, dan kecepatan fluida. Hasil simulasi dibandingkan dengan data operasional aktual untuk mengidentifikasi penyebab penurunan kinerja.
4. Analisis Sensitivitas
Analisis sensitivitas dilakukan untuk mengamati pengaruh perubahan parameter operasi terhadap kinerja HEX. Parameter yang dianalisis meliputi distribusi fluida, *fouling resistance*, dan jumlah *tube plugging*.
5. Desain Ulang HEX
Berdasarkan hasil evaluasi dan analisis sensitivitas, desain ulang HEX dilakukan untuk meningkatkan kecepatan fluida di *shell* dan mengurangi risiko *fouling*. Spesifikasi desain HEX yang baru kemudian dianalisis menggunakan Aspen EDR.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Operasional Dan Spesifikasi Heat Exchanger

Heat exchanger (HEX) yang digunakan di CGS X adalah *shell and tube heat exchanger* dengan tipe TEMA AEU (*removable cover, one pass shell, U-tube*). Spesifikasi HEX di CGS X dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi HEX di CGS X

<i>Exchanger type</i>	AEU	<i>Tube length</i>	20 ft
<i>Position</i>	Horizontal	<i>Tube passes</i>	2
<i>Baffle type</i>	<i>Single segmental</i>	<i>Tube type</i>	Plain
<i>Baffle number</i>	6	<i>Tube O.D.</i>	0.75 in
<i>Baffle spacing</i>	40 in	<i>Tube pitch</i>	1
<i>Shell ID</i>	40 in	<i>Tube pattern</i>	90 (<i>square</i>)
<i>Tube number</i>	1068		

Terdapat 8 unit HEX yang beroperasi dengan laju alir *produced fluid* total sebesar 270.000-330.000 BFPD (*barrel fluid per day*). Laju alir fluida per unit HEX dihitung dengan asumsi fluida terdistribusi secara merata ke setiap unit HEX. Temperatur dan tekanan fluida per unit HEX dihitung berdasarkan rata-rata kondisi operasi dari setiap unit HEX. Data operasional rata-rata pada masing-masing unit HEX di CGS X dapat dilihat pada Tabel 2.

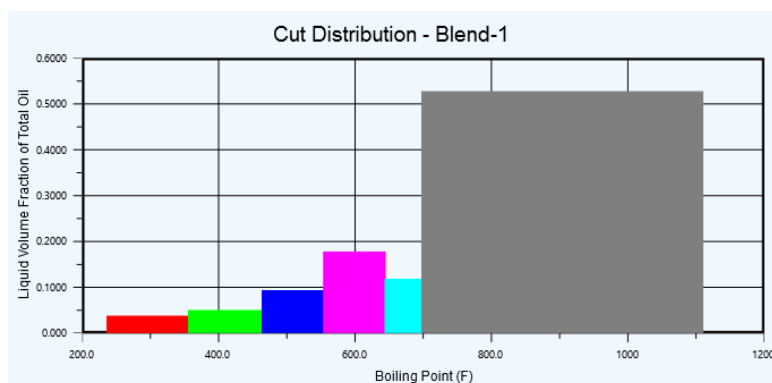
Tabel 2. Data Operasional per Unit HEX di CGS X

Posisi	<i>Shell</i>	<i>Tube</i>
Fluida	<i>Produced fluid</i>	<i>Steam</i>
Spesifikasi	<i>Water cut 95%</i>	<i>Steam quality 70%</i>
Laju alir	35.100 BFPD	2.071 BSPD
T _{in} (°F)	125,5	275
P _{in} (psi)	43,53	45,37

3.2 Karakterisasi *Fluid Properties*

Sifat fisis *crude oil* dikarakterisasi berdasarkan data TBP menggunakan fitur *petroleum assay* yang tersedia di Aspen HYSYS. Data TBP menunjukkan distribusi komponen hidrokarbon di dalam *crude oil* dalam bentuk plot fraksi volume terhadap titik didih pada Gambar 1. Berdasarkan data TBP, parameter sifat fisis seperti viskositas, densitas, dan kandungan fraksi ringan maupun berat di dalam *crude oil* dapat diprediksi dengan akurat. Perhitungan parameter fisis *crude oil* dihitung berdasarkan korelasi termodinamika yang menghubungkan titik didih dengan sifat fisis setiap fraksi hidrokarbon di dalam *crude oil*. Data yang diperoleh dari *petroleum assay* digunakan sebagai basis dalam simulasi pemanasan *crude oil* di dalam HEX pada berbagai kondisi operasi. Data sifat fisis yang diperoleh juga digunakan untuk menentukan kecenderungan *crude oil* untuk membentuk *fouling* pada permukaan HEX.

Berdasarkan hasil analisis TBP pada Gambar 1, *crude oil* dari lapangan “Y” dikategorikan sebagai *heavy crude oil*. Hal ini disebabkan karena sebagian besar komponennya memiliki titik didih yang tinggi. Sifat fisis *crude oil* yang diperoleh dari simulasi divalidasi dengan membandingkan sifat fisis hasil simulasi dengan data sifat fisis yang diperoleh dari literatur. Perbandingan antara hasil simulasi sifat fisis *crude oil* menggunakan Aspen HYSYS dengan data referensi dari literatur dapat dilihat pada Tabel 3. Parameter yang dibandingkan terdiri dari viskositas pada dua temperatur berbeda (59°F dan 100°F) serta API *gravity*, yaitu ukuran kepadatan *crude oil*.



Gambar 1. *Cut Distribution Crude oil Lapangan “Y”*

Tabel 3. Perbandingan sifat fisis *crude oil* hasil simulasi dengan literatur

Sifat Fisis	Data Referensi	Sumber	Data Simulasi
Viskositas (59 °F)	6440 cP	(Petroleum Association Japan, 2000)	6440,77 cP
Viskositas (100 °F)	330 cP	(Winderasta, 2018)	330 cP
°API	17 - 22	(Winderasta, 2018)	22

Data referensi menunjukkan bahwa viskositas *crude oil* pada 59°F memiliki nilai yang sangat tinggi, yaitu sebesar 6440 cP, sementara data hasil simulasi menunjukkan nilai yang hampir sama, yaitu 6440,77 cP. Pada temperatur 100°F, viskositas *crude oil* turun menjadi 330 cP berdasarkan data referensi dan data simulasi. Penurunan viskositas disebabkan karena peningkatan energi kinetik molekul-molekul hidrokarbon yang mengurangi gaya tarik antarmolekul (Yaghi & Al-Bemani, 2002). Nilai API *gravity* hasil simulasi berada dalam rentang data referensi, yaitu 17 – 22. API *gravity* yang relatif rendah menunjukkan bahwa *crude oil* memiliki densitas yang tinggi. Secara keseluruhan, hasil simulasi menunjukkan kesesuaian dengan data literatur, sehingga model yang digunakan dapat memprediksi sifat-sifat fisis *crude oil* dengan akurat.

3.3 Evaluasi Performa

Performa HEX dievaluasi menggunakan Aspen EDR. Parameter performa yang dievaluasi adalah temperatur (T) *outgoing produced fluid* dan *steam*, *pressure drop* (ΔP), kecepatan fluida (v), koefisien perpindahan panas (U), dan luas area perpindahan panas (A). Hasil evaluasi performa HEX dari Aspen EDR dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil evaluasi performa HEX menggunakan Aspen EDR

<i>Process Data</i>				
	<i>Shell side</i>		<i>Tube side</i>	
	In	Out	In	Out
Temperature (°F)	125,5	177,4	274,86	161,9
Pressure (psia)	45,53	42,66	45,37	44,53
<i>Pressure drop</i> (psia)	0,87		0,83	
Velocity (ft/s)	0,72	0,73	65,2	0,14
<i>Heat Transfer Parameters</i>				
Effectiveness	96%			
Overall heat transfer coefficient (Btu/(h.ft ² .°F))	134,39/80,38			
<i>(clean/fouled)</i>				
Heat load (BTU/h)	26733420			
Heat transfer area (ft ²)	4384,9			
Actual/Required area ratio <i>(clean/fouled)</i>	1,69/1,01			

3.3.1 Temperatur *Outgoing Produced fluid*

Berdasarkan spesifikasi dan kondisi operasi HEX di CGS X, hasil simulasi menggunakan Aspen EDR menghasilkan temperatur *outgoing produced fluid* per unit HEX sebesar 177,4 °F. Temperatur ini masih berada pada rentang temperatur optimal *demulsifier* (160 – 185 °F). Perhitungan temperatur *outgoing produced fluid* dilakukan berdasarkan asumsi fluida terdistribusi merata ke masing-masing HEX, HEX berada pada kondisi bersih, dan tidak terdapat *tube plugging*. Sebagai perbandingan, data pengukuran temperatur *outgoing produced fluid* di lapangan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Data pengukuran temperatur *outgoing produced fluid* di lapangan

Train	No. HEX	<i>Outgoing Produced fluid</i> Temperature (°F)
A	2	185
	3	158
	8	171
	12	150
	13	160
B	17	165
	19	155
	20	168

Data pengukuran temperatur di lapangan menunjukkan bahwa sebagian besar temperatur *outgoing produced fluid* di lapangan berada di bawah temperatur *outgoing produced fluid* hasil simulasi. Kondisi ini dapat disebabkan oleh dua hal, yaitu distribusi fluida yang tidak merata dan terjadinya *fouling* pada HEX. Distribusi fluida yang tidak merata mengakibatkan beberapa unit HEX menerima lebih banyak fluida dibandingkan unit lainnya, sehingga unit HEX yang menerima lebih banyak fluida menghasilkan temperatur *outgoing* yang lebih rendah.

Fouling merupakan faktor utama penyebab penurunan temperatur *outgoing produced fluid*. *Fouling* terjadi akibat akumulasi pengotor pada permukaan HEX membentuk lapisan di permukaan dalam pipa. Akibatnya ada tambahan tahanan perpindahan panas dari *steam* ke *produced fluid*. Penelitian yang dilakukan oleh Sarma et al. (2017) menunjukkan bahwa *fouling* pada HEX dapat menyebabkan penurunan temperatur *outlet* aliran dingin mencapai lebih dari 37 °F atau bergantung banyaknya akumulasi deposit.

3.3.2 Pressure drop

Pressure drop aliran *produced fluid* dan *steam* berdasarkan analisis performa adalah sebesar 0,87 psi dan 0,83 psi. Nilai *pressure drop* yang diperoleh masih berada di bawah *allowable pressure drop* untuk aliran *liquid* sebesar 9 psi dan *allowable pressure drop* aliran gas sebesar 2 psi (Seider et al., 2017). *Pressure drop* yang kecil mengindikasikan bahwa dibutuhkan energi yang lebih kecil untuk mengalirkan fluida ke dalam HEX. Namun, hal ini juga berarti aliran fluida memiliki turbulensi yang kecil, sehingga perpindahan panas antara *shell* dan *tube* menjadi kurang efisien (Sinnott, 2005).

3.3.3 Velocity

Kecepatan fluida dalam HEX sangat mempengaruhi efektivitas perpindahan panas. Apabila kecepatan fluida terlalu tinggi, aliran yang sangat turbulen dapat menyebabkan erosi pada permukaan logam HEX. Erosi terjadi ketika partikel-partikel dalam aliran dengan kecepatan tinggi mengikis permukaan material logam pada HEX. Hal ini sesuai dengan penelitian oleh Harhara & Hasan (2020) yang menyatakan bahwa partikulat pada kecepatan tinggi menyebabkan erosi logam dan dapat berakibat pada keretakan pada HEX.

Pada kondisi kecepatan aliran terlalu rendah, *shear stress* pada permukaan perpindahan panas tidak dapat mencegah mengendapnya partikel, sehingga menyebabkan terbentuknya lapisan *fouling* yang dapat menurunkan efisiensi perpindahan panas. Penelitian dari Jradi et al. (2023) menunjukkan bahwa penurunan kecepatan aliran meningkatkan laju pembentukan *fouling* pada permukaan HEX, sementara peningkatan kecepatan fluida menurunkan laju pembentukan *fouling*.

Menurut Sinnott (2005), Kecepatan *liquid* optimal pada *shell* berada pada rentang 0,3 hingga 1 m/s (0,98 – 3,28 ft/s), sementara kecepatan gas optimal di *tube* berada pada rentang 10 – 30 m/s (32,8 ft/s – 98,43). Hasil evaluasi performa menunjukkan kecepatan *produced fluid* di *shell* sebesar 0,72 ft/s dan kecepatan *steam* di *tube* sebesar 65,2 ft/s. Kecepatan *steam* sudah berada pada rentang optimal, sementara kecepatan aliran *produced fluid* terlalu rendah. Hal ini mengindikasikan adanya risiko *fouling* pada *heat exchanger* di CGS "Y".

3.3.4 Overall Heat Transfer Coefficient

Overall heat transfer yang dihitung pada saat *heat exchanger* dalam kondisi bersih adalah sebesar 134,71 Btu/(h.ft².°F), sementara *overall heat transfer coefficient* pada saat *heat exchanger* dalam kondisi kotor (*fouled*) adalah sebesar 80,49 Btu/(h.ft².°F). Pada kondisi *fouling*, terjadi penurunan koefisien perpindahan panas sebesar 40,25%. Penurunan koefisien perpindahan panas disebabkan karena tingginya *fouling factor* (Jradi et al., 2023). *Produced fluid* dapat dikategorikan sebagai *hard fluid*, karena memiliki *hardness* (kesadahan) yang tinggi, sehingga nilai *fouling factor* -nya dapat diasumsikan sebesar 0,005 (Kern, 1965).

3.3.5 Heat Transfer Area

HEX di CGS X memiliki luas area perpindahan panas sebesar 4384,9 ft². Pada saat kondisi *fouling*, luas area perpindahan panas yang dibutuhkan menjadi lebih besar. Berdasarkan hasil evaluasi performa, rasio antara *available area* terhadap *required area* pada kondisi *clean* adalah sebesar 1,69, sementara pada kondisi *fouled* bernilai 1,01. Berdasarkan nilai tersebut, maka HEX di CGS X memiliki *overdesign* sebesar 69% dan tetap dapat mencapai temperatur target pada kondisi *fouling*. Hal ini didukung oleh pedoman perancangan dari tubular exchanger association (TEMA) yang merekomendasikan *overdesign* di atas 30% untuk mengantisipasi efek *fouling* pada HEX selama beroperasi (Sinnott, 2005).

3.4 Analisis Sensitivitas

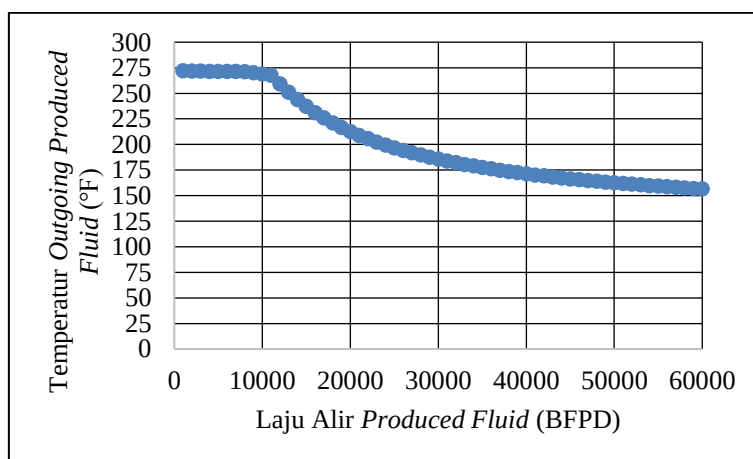
Analisis sensitivitas dilakukan untuk melihat pengaruh perubahan parameter operasi terhadap performa HEX. Pada laporan ini, analisis sensitivitas digunakan untuk melihat pengaruh distribusi *produced fluid*, *fouling*, dan jumlah *tube plugging* terhadap performa HEX.

Berdasarkan analisis sensitivitas, dapat diperoleh rekomendasi-rekomendasi operasional untuk menjaga efektivitas HEX.

3.4.1 Distribusi *Produced fluid*

Sistem HEX di CGS X disusun secara paralel, dimana aliran fluida masuk ke masing-masing unit HEX melalui *supply header*. Pada susunan paralel, *produced fluid* cenderung mengalir ke unit HEX yang terletak jauh dari *supply header*. Hal ini disebabkan karena *produced fluid* memiliki momentum yang tinggi. Fluida yang memiliki momentum yang tinggi cenderung mempertahankan arah dan kecepatannya karena inersia (Belhaj, 2023).

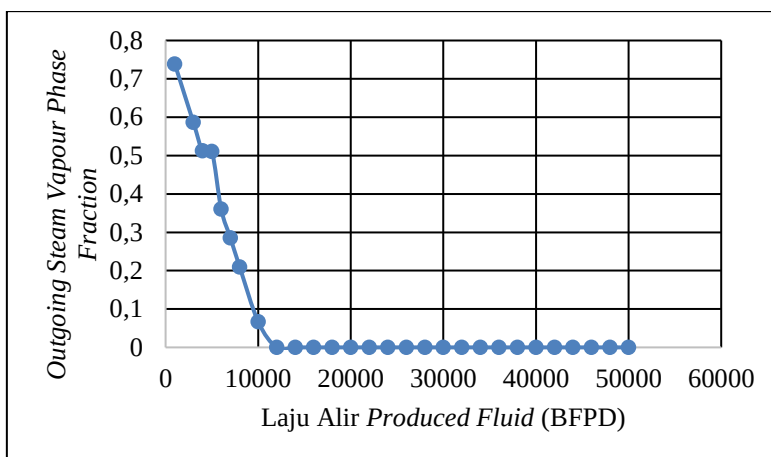
Kecenderungan *produced fluid* untuk mengalir ke HEX yang jauh dari *supply* mengakibatkan aliran *produced fluid* ke HEX yang dekat dari *supply* menjadi lebih kecil. Hal ini mengakibatkan temperatur *outgoing produced fluid* menjadi tidak merata. Pengaruh perubahan laju alir *produced fluid* terhadap temperatur *outgoing* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengaruh laju alir *produced fluid* terhadap temperatur *outgoing produced fluid*

Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa laju alir *produced fluid* di atas 54.000 BFPD menghasilkan temperatur *outgoing produced fluid* di bawah temperatur optimal (160 °C). Laju alir *produced fluid* di bawah 29.000 BFPD menghasilkan temperatur *outgoing produced fluid* di atas temperatur optimal (185 °C). Distribusi aliran *produced fluid* juga merupakan salah satu penyebab terjadinya *hammering*, karena dapat mempengaruhi fasa *steam* pada aliran *outgoing steam*. Pengaruh laju alir *produced fluid* terhadap fasa *outgoing steam* dapat dilihat pada Gambar 3.

Berdasarkan grafik pada Gambar 3, ketika laju alir *produced fluid* berada di bawah 12.000 BFPD, akan terdapat *vapour phase* pada aliran *outgoing steam*. Hal ini dapat berpotensi menyebabkan *hammering* pada *header outgoing steam* karena *thermal shock* yang terjadi ketika fasa uap di dalam aliran *outgoing steam* unit HEX bercampur dengan *subcooled liquid* dari aliran *outgoing steam* unit HEX lainnya. Berdasarkan penelitian oleh El-Said et al. (2021), kondensasi cepat dan pelepasan panas laten secara mendadak menyebabkan penurunan temperatur yang drastis, sehingga menghasilkan gradien termal yang ekstrem dan cairan dingin tiba-tiba membentur area yang sebelumnya didominasi oleh uap panas.

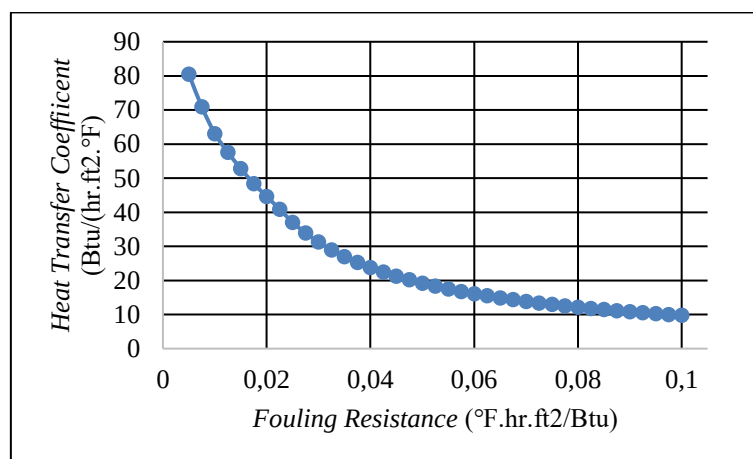


Gambar 3. Pengaruh laju alir *produced fluid* terhadap fraksi fasa uap *outgoing steam*

Berdasarkan analisis sensitivitas, aliran *produced fluid* harus diatur agar terdistribusi secara merata ke masing-masing unit HEX, sehingga temperatur *outgoing produced fluid* berada pada rentang temperatur optimal dan mencegah terjadinya *hammering*. Hal ini dapat dilakukan dengan menyesuaikan bukaan *valve incoming produced fluid* ke masing-masing unit HEX, dimana bukaan valve pada HEX yang jauh dari *supply header* diatur agar lebih kecil dari bukaan valve pada HEX yang lebih dekat dari *supply header*.

3.4.2 Fouling

Fouling dapat mengurangi performa *heat exchanger*, karena *fouling* pada *heat exchanger* bertindak sebagai lapisan yang mengisolasi permukaan perpindahan panas. Pengaruh *fouling* terhadap koefisien perpindahan panas pada HEX dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengaruh *fouling* terhadap koefisien perpindahan panas

Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa *fouling* menyebabkan penurunan koefisien transfer panas yang signifikan. Turunnya koefisien transfer panas menyebabkan turunnya temperatur *outgoing produced fluid* berdasarkan persamaan 1.

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (1)$$

Keterangan:

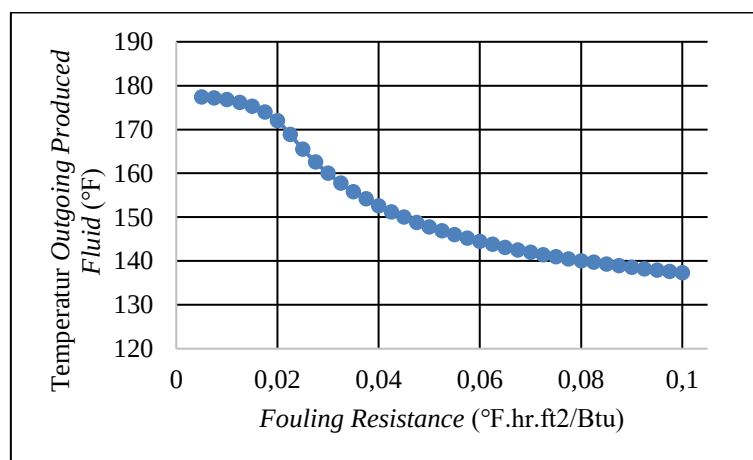
Q : Beban panas (Btu/hr)

U : Koefisien transfer panas (Btu/(hr.ft²°F))

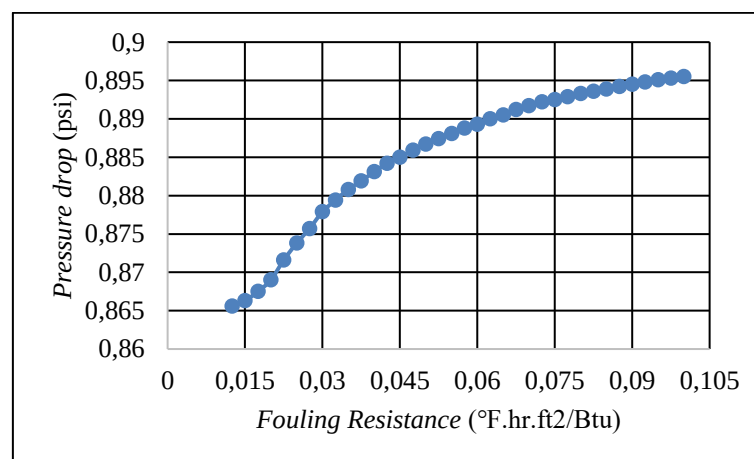
A : Area perpindahan panas (ft²)

ΔT : Perubahan temperatur (°F)

Berkurangnya nilai koefisien transfer panas, dengan luas permukaan dan perbedaan temperatur konstan, mengakibatkan beban panas yang dihasilkan menurun. Akibatnya panas yang diterima *produced fluid* yang keluar dari HEX berkurang, sehingga temperatur keluaran *produced fluid* lebih rendah. Pengaruh koefisien transfer panas terhadap temperatur keluaran *produced fluid* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengaruh *fouling* terhadap temperatur *outgoing produced fluid*

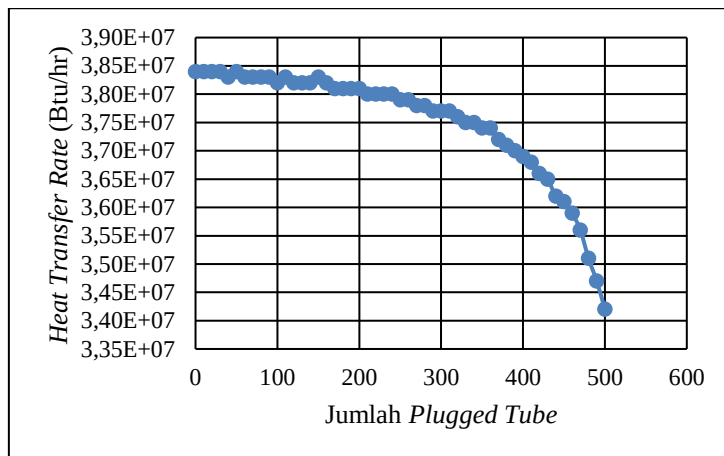


Gambar 6. Pengaruh *fouling resistance* terhadap *pressure drop shell*

Berdasarkan Gambar 5, *Fouling resistance* di atas 0,03 °F.hr.ft²/Btu mengakibatkan temperatur *outgoing produced fluid* turun di bawah temperatur optimal (160°F). Pada kondisi ini, *heat exchanger* berada pada kondisi *heavy fouling*, sehingga harus segera dilakukan pembersihan. Kondisi *fouling resistance* di atas 0,03 dapat diketahui ketika *pressure drop* di *shell side* melebihi 0,88 psi (Gambar 6).

3.4.3 Tube Plugging

Tube plugging adalah penyumbatan *tube* yang dilakukan ketika *tube* mengalami kebocoran. *Tube plugging* dapat mempengaruhi performa *heat exchanger*. Pengaruh *tube plugging* terhadap laju perpindahan panas HEX dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Pengaruh *tube plugging* terhadap *heat transfer rate*

HEX di CGS X memiliki 1068 *tube*. Berdasarkan analisis sensitivitas, laju perpindahan panas mengalami penurunan yang sangat signifikan saat jumlah *tube* yang disumbat melebihi 300 *tube*. Oleh karena itu, direkomendasikan untuk melakukan penggantian *tube* ketika *tube plugging* telah mencapai 30%.

3.5 Desain HEX Rekomendasi

Analisis performa menunjukkan bahwa kecepatan *produced fluid* di HEX masih belum berada pada rentang optimal. Oleh karena itu, dilakukan desain ulang menggunakan Aspen EDR untuk memperoleh desain HEX baru yang dapat menghasilkan kecepatan fluida yang optimal, sehingga mengurangi risiko *fouling*. Spesifikasi desain HEX yang direkomendasikan dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Spesifikasi HEX rekomendasi

<i>Exchanger type</i>	AEU	<i>Tube length</i>	20 ft
<i>Position</i>	Horizontal	<i>Tube passes</i>	2
<i>Baffle type</i>	<i>Single segmental</i>	<i>Tube type</i>	<i>Plain</i>
<i>Baffle number</i>	8	<i>Tube O.D.</i>	1 in
<i>Baffle spacing</i>	30 in	<i>Tube pitch</i>	1,25 in
<i>Shell ID</i>	39 in	<i>Tube pattern</i>	30 (<i>triangular</i>)
<i>Tube number</i>	736		

Perbandingan antara desain HEX rekomendasi dengan desain HEX di lapangan dapat dilihat pada Tabel 7. Pada Tabel 7, dapat dilihat bahwa desain HEX rekomendasi masih memenuhi standar *tubular exchanger manufacturers association* (TEMA). Luas area perpindahan panas pada desain HEX baru adalah 3929,5 ft². Nilai ini lebih kecil dibandingkan desain HEX di lapangan, yaitu sebesar 4384,9 ft², sehingga desain HEX baru dapat mengurangi *capital cost*.

Tabel 7. Perbandingan Desain HEX Rekomendasi dengan Desain HEX di Lapangan

Parameter	Desain HEX Lapangan	Desain HEX Rekomendasi	Standard TEMA
Shell ID (in)	40	39	6 – 60
Tube OD (in)	0,75	1	0,375 - 2
Tube length (ft)	20	20	6 – 24
Tube pitch (in)	1	1,25	0,47 – 2,5
Tube pattern	90 (square)	30 (triangular)	Square, triangular, rotated square
Tube number	1068	736	10 - 1377
Baffle spacing (in)	40	30	8 - 40

Hasil evaluasi performa dari desain HEX rekomendasi dapat dilihat pada Tabel 8. Kecepatan *produced fluid* yang dihasilkan dari desain HEX rekomendasi adalah sebesar 1,15 ft/s. Nilai ini meningkat dari kecepatan 0,72 ft/s pada desain HEX sebelumnya dan berada pada rentang optimal (0,98 – 3,28 ft/s).

Tabel 8. Hasil Evaluasi Performa Desain HEX Rekomendasi Menggunakan Aspen EDR

Process Data				
	Shell side		Tube side	
	In	Out	In	Out
Temperature (°F)	125,5	177,45	274,86	161,58
Pressure (psia)	45,53	41,05	45,4	44,98
Pressure drop (psia)	2,48		0,42	
Velocity (ft/s)	1,15	1,17	47,53	0,1
Heat Transfer Parameters				
Effectiveness	96%			
Overall heat transfer coefficient (Btu/(h.ft ² .°F)) (clean/fouled)	135,71/80,49			
Heat load (BTU/h)	26746700			
Heat transfer area (ft ²)	3929,5			
Actual/Required area ratio (clean/fouled)	1,67/1			

Nilai koefisien perpindahan panas yang diperoleh dari desain HEX rekomendasi adalah sebesar 135,71 Btu/h.ft².°F. Nilai ini meningkat dari desain HEX lapangan, yaitu sebesar 134,39 Btu/h.ft².°F. Peningkatan nilai koefisien perpindahan panas disebabkan karena pengurangan *baffle spacing* pada desain HEX rekomendasi yang menyebabkan bertambahnya *mass velocity* fluida di *shell*. Hubungan antara *baffle spacing* terhadap *mass velocity* dapat dilihat pada persamaan 2.

$$G_s = \frac{W_s}{A_s} = \frac{W_s}{\left(\frac{(p_t - d_o)D_s I_B}{p_t}\right)} \quad (2)$$

Keterangan:

W_s : Laju alir fluida di *shell* (lb/hr)

A_s : *Shell side flow area* (in²)

p_t : *Tube pitch* (in)

d_o : *Tube OD* (in)

D_s : *Shell ID* (in)

I_B : *Baffle spacing* (in)

Pengurangan *baffle spacing* mengakibatkan bertambahnya *mass velocity* yang berdampak pada peningkatan nilai *Reynolds number* fluida di *shell*. Hubungan antara *mass velocity* dan *Reynolds number* fluida di *shell* dapat dilihat pada persamaan 3.

$$Re = \frac{\rho dv}{\mu} = \frac{G_s d}{\mu} \quad (3)$$

Keterangan:

- Re* : Reynold number
ρ : Densitas fluida (lb/ft³)
v : Kecepatan fluida (ft/h)
G_s : Shell side mass velocity (lb/ft².h)
d : Equivalent diameter (ft)
μ : Viskositas fluida (Cp)

Kenaikan nilai *Reynolds number* sebanding dengan kenaikan nilai koefisien perpindahan panas. Artinya, turbulensi aliran rezim *Reynolds number* tinggi meningkatkan nilai koefisien perpindahan panas (persamaan 4) di *shell* yang berdampak laju perpindahan panas di *shell*.

$$h_s = \frac{N_u d_e}{k_f} = \frac{j_h Re Pr^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14} d_e}{k_f} \quad (4)$$

Keterangan:

- N_u* : Nusselt number
P_r : Prandtl number
Re : Reynolds number
d_e : Equivalent diameter (ft)
μ : Viskositas fluida (Cp)
μ_w : Viskositas dinding *shell* (Cp)
k_f : Konduktivitas termal fluida (Btu/hr.ft.°F)
j_h : Friction factor

Berdasarkan persamaan 2 – 4, pengurangan *baffle spacing* pada desain HEX rekomendasi menaikkan *Reynolds number* dan koefisien perpindahan panas. Perbandingan kecepatan dan *Reynolds number* fluida pada desain HEX lapangan dan desain HEX rekomendasi dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Sifat Fisis Aliran Fluida pada Desain HEX Lapangan dan Desain HEX Rekomendasi

	Desain HEX Lapangan		Desain HEX Rekomendasi	
	<i>In</i>	<i>Out</i>	<i>In</i>	<i>Out</i>
Kecepatan Fluida (ft/s)	0,72	0,73	1,15	1,17
<i>Reynolds Number</i>	6846,8	10382,9	14609,3	22158,7

Tabel 9 menunjukkan peningkatan signifikan kecepatan fluida dan *Reynolds number* desain rekomendasi dari nilai desain HEX. Peningkatan *Reynolds number* menunjukkan bahwa turbulensi aliran dari desain rekomendasi meningkatkan laju perpindahan panas konvektif, pengurangan *fouling*, dan efisiensi termal.

4 KESIMPULAN

Hasil evaluasi performa menunjukkan bahwa penyebab utama penurunan performa HEX adalah distribusi fluida yang tidak merata, *fouling*, dan *tube plugging*. Faktor-faktor tersebut mengakibatkan beberapa unit tidak mencapai temperatur target 160–185°F. Berdasarkan analisis sensitivitas, *fouling resistance* di atas 0,03 °F·hr·ft²/Btu dan kecepatan fluida yang rendah pada *shell* mengakibatkan penurunan efisiensi perpindahan panas. Desain HEX rekomendasi dapat meningkatkan kecepatan *produced fluid* menjadi 1,15 ft/s, sehingga mengurangi risiko *fouling* dan meningkatkan efisiensi perpindahan panas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami berterima kasih kepada PT Pertamina Hulu Rokan yang telah menyediakan sarana magang dan mengizinkan sebagian data digunakan sebagai data penelitian dalam artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardha. (2024). *Rokan's Natural Harmony A Journey Through Nature*. PT Pertamina Hulu Rokan.
- Belhaj, H. A. (2023). *Tight Oil Reservoirs Characterization, Modeling, and Field Development*. Elsevier Science.
- Budiman, & Pusparatu. (2023). Optimasi Kinerja Heat Exchanger (30–E-2502) di Unit Asam Fosfat (H₃PO₄) Departemen Produksi Iii B Pt. Petrokimia Gresik. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Dan Mineral*, 3(1), 341–352. <https://doi.org/10.53026/sntem.v3i1.1158>
- El-Said, E. M. S., Awad, M. M., & Abdulaziz, M. (2021). A comprehensive review on pressurized thermal shock: predictive, preventive and safety issues. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 146(2), 525–544. <https://doi.org/10.1007/s10973-020-10030-4>
- Harhara, A., & Hasan, M. M. F. (2020). Dynamic modeling of heat exchanger tube rupture. *BMC Chemical Engineering*, 2(1), 1–20. <https://doi.org/10.1186/s42480-020-0029-1>
- Janaun, J., Kamin, N. H., Wong, K. H., Tham, H. J., Kong, V. V., & Farajpourlar, M. (2016). Design and simulation of heat exchangers using Aspen HYSYS, and Aspen exchanger design and rating for paddy drying application. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 36(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/36/1/012056>
- Jradi, R., Marvillet, C., & Razak Jeday, M. (2023). Fouling in Industrial Heat Exchangers: Formation, Detection and Mitigation. *Heat Transfer - Fundamentals, Enhancement and Applications*, May. <https://doi.org/10.5772/intechopen.102487>
- Kern, D. Q. (1965). *Process Heat Transfer*. McGraw Hill.
- Petroleum Association Japan. (2000). *Properties: Duri Crude*. https://www.pcs.gr.jp/doc/keijihenka/e-data/dr_property.html
- Sarma, P. K., Konijeti, R., Subramanyam, T., Prasad, L. S. V., Korada, V. S., Srinivas, V., Vedula, D. R., & Prasad, V. S. R. K. (2017). Fouling and its effect on the thermal performance of heat exchanger tubes. *International Journal of Heat and Technology*, 35(3), 509–519. <https://doi.org/10.18280/ijht.350307>
- Seider, W. D., Lewin, D. R., Seader, J. D., Widagdo, S., Gani, R., & Ng, K. M. (2017). *Product and Process Design Principles*. John Wiley & Sons.
- Setiorini, I. A., & Faputri, A. F. (2023). E Evaluasi Kinerja Heat Exchanger Jenis Kondensor

- 1110-C Tipe Shell and Tube Berdasarkan Nilai Fouling Factor Pada Unit Purifikasi Di Ammonia Plant Pt X. *Jurnal Teknik Patra Akademika*, 14(01), 23–30. <https://doi.org/10.52506/jtpa.v14i01.188>
- Sinnot, R. K. (2005). *Chemical Engineering Design* (4th ed.).
- Vivekanandan, R., Stalin, N., Kaviya, M., & D, A. J. S. (2023). *Optimization of Design Parameters in Shell and Tube Heat Exchanger using Aspen HYSYS*. 208–211. <https://doi.org/10.48175/IJAR SCT-10982>
- Winderasta, W. (2018). *Managing reservoir surveillance in the Duri Steam Flood Field. September 2019*. <https://doi.org/10.29118/ipa18.577.e>
- Yaghi, B. M., & Al-Bemani, A. (2002). Heavy crude oil viscosity reduction for pipeline transportation. *Energy Sources*, 24(2), 93–102. <https://doi.org/10.1080/00908310252774417>