

## PENGARUH *FLOWRATE* TERHADAP PEMBENTUKAN *FOULING* PADA *FIN-FAN COOLER* DI PT XYZ

Annisa Aulia Sikam<sup>1\*</sup>, Layung Adela Kayisi<sup>1</sup>, Rizky Anugrah Pratama<sup>1</sup>, Tun Sriana<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Teknik Pengolahan Minyak dan Gas, PEM Akamigas, Jl. Gajah Mada No.38, Cepu, Jawa Tengah 58315

\*E-mail: [annisasikam123@gmail.com](mailto:annisasikam123@gmail.com)

### ABSTRAK

*Fin-fan cooler* di PT XYZ adalah peralatan yang menggunakan udara sekitar sebagai media pendingin dan berfungsi untuk mendinginkan feed gas sebelum masuk ke acid gas removal unit. Alat ini telah beroperasi selama 24 jam sejak tahun 2013 di Gas Separation Unit. Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja alat yang telah beroperasi dalam jangka waktu lama, terutama terkait penumpukan kerak atau deposit di dalam tube. Hasil perhitungan menunjukkan fouling factor terbesar yaitu 0.332779 hr. ft<sup>2</sup>.°F/Btu pada flowrate 59.00 MMSCFD, yang melebihi batas desain sebesar 0,0011 hr.ft<sup>2</sup>.°F/Btu. Hal ini menunjukkan perlunya perawatan berkala untuk menjaga kinerja optimal. Optimalisasi penurunan suhu pada fin-fan cooler dapat dilakukan dengan beberapa pendekatan, seperti pembersihan rutin, pengaturan kecepatan kipas menggunakan Variable Frequency Drive (VFD), dan peningkatan desain sirip serta pipa. Selain itu, pengaturan aliran gas dan sistem pendinginan tambahan dengan metode evaporatif juga dapat meningkatkan efisiensi pendinginan. Apabila sudah terjadi pembentukan fouling pada dinding tube maka dapat dilakukan pembersihan dengan menggunakan beberapa metode antara lain yaitu, steam, hydro blasting, pigging dan taprogge ball. Dengan penerapan strategi ini, diharapkan fin-fan cooler mampu beroperasi lebih efisien, mengurangi konsumsi energi, dan memperpanjang umur operasional alat.

**Kata kunci:** *Cooler, Fin-Fan, fouling factor*

### 1. PENDAHULUAN

Pada fasilitas pengolahan gas alam di PT XYZ, terdapat 9 sumur, 8 sumur menghasilkan gas alam dan satu sumur digunakan sebagai injeksi. Gas alam yang dihasilkan oleh 8 sumur ini masih tercampur dengan air dan cairan lain. Untuk mendapatkan gas alam yang lebih murni dan agar dapat meningkatkan jumlah produksi, diperlukannya proses pemisahan untuk memisahkan serta menyederhanakan prosedur serta emningkatkan kapasitas produksi gas.

Proses pengolahan gas alam dari sumur produksi untuk dijual harus dilakukan pemisahan gas, penghilangan kotoran, dan penyimpanan dan penggunaan transportasi gas untuk dijual kepada pelanggan. Gas alam melalui proses pemisahan. Di *Gas Separation Unit* (GSU), fungsi utama peralatan ini adalah untuk memisahkan gas alam (*feedstock gas*) menjadi tiga tahap: gas, air, dan kondensat. Air yang diperoleh dari proses pemisahan diolah lebih lanjut di Unit *Produced Water Treatment & Injection Unit* (PWIU), dan kondensat diolah lebih lanjut di Unit *Condensat Handling Unit* (CHU) untuk dijual. Setelah proses pemisahan, gas diproses lebih lanjut di unit berikutnya untuk menghilangkan kotoran.

Gas yang baru saja dipisahkan masih sangat panas. Untuk menghasilkan gas yang lebih murni dan bebas dari air atau cairan lainnya, gas ini perlu didinginkan. Pendinginan gas ini sangat penting karena dapat mencegah terbentuknya busa di dalam kolom penyerap dan meningkatkan jumlah gas yang bisa dihasilkan. Alat yang digunakan untuk mendinginkan gas ini disebut *Fin fan cooler*. *Fin fan cooler* menggunakan udara di sekitar untuk menyerap panas dari gas. Karena perannya yang sangat penting, *Fin fan cooler* harus selalu dirawat dan dioperasikan dengan baik agar terus bekerja secara optimal. Penukar panas adalah perangkat

yang berfungsi untuk mentransfer energi panas antara dua fluida dengan suhu berbeda. Proses transfer panas ini dapat terjadi dengan atau tanpa adanya perubahan fase. Berdasarkan cara kerja, penukar panas dapat dibagi menjadi dua jenis utama: penukar panas dengan pencampuran langsung dan penukar panas dengan permukaan perpindahan panas [1].

Penukar panas adalah perangkat yang berfungsi untuk mentransfer energi panas antara dua media yang memiliki suhu berbeda. Media ini bisa berupa fluida (cair atau gas) atau permukaan padat. Proses transfer panas ini dapat terjadi dengan atau tanpa adanya perubahan fase. Secara garis besar alat penukar panas dibagi menjadi dua macam, yakni terjadinya pencampuran antara fluida-fluidanya dan fluida-fluidanya dipisahkan oleh permukaan perpindahan panas [2]. Alat penukar panas yang bercampur disebut dengan alat penukar panas jenis regeneratur atau transfer langsung dimana fluida pada alat tersebut akan mengalami kontak sehingga dapat memindahkan energi panas secara langsung. Sedangkan alat penukar panas yang perpindahannya melalui permukaan perpindahan panas, perpindahannya terjadi melalui penyimpanan panas (*thermal energy storage*) dan pelepasan melalui permukaan penukar panas yang disebut dengan rekuperatur atau transfer tidak langsung. Pada industri, alat penukar panas merupakan salah satu rangkaian proses produksi misalnya adalah *boiler*, *heat exchanger*, penukar kalor *fluidized-bed* dan *air cooled head exchanger*.

*Fin-fan cooler* adalah alat yang digunakan untuk mendinginkan cairan. Cairan panas dialirkan melalui tabung-tabung beralur (bersirip). Udara kemudian dihembuskan ke bagian luar tabung-tabung ini dengan bantuan kipas. Alur-alur pada tabung berfungsi untuk memperluas area kontak antara cairan panas dan udara dingin, sehingga proses pendinginan menjadi lebih efisien. Singkatnya, alat ini bekerja dengan cara mendinginkan cairan panas menggunakan udara dingin yang dibantu oleh kipas [3].

*Flowrate* yang bisa disebut juga laju aliran merupakan ukuran volume sebuah fluida yang memiliki alur untuk melewati suatu titik dalam suatu sistem dengan per satuan waktu. Liter per detik (L/s), meter kubik per jam ( $m^3/h$ ), atau gallon per menit (GPM) merupakan satuan yang biasanya digunakan untuk *flowrate*. Dalam proses teknik dan industri, laju aliran sangat penting untuk mengukur dan mengontrol aliran fluida dalam pipa, penukar panas, atau sistem distribusi air. Laju aliran ini dapat dihitung dengan menggunakan berbagai metode, termasuk pengukur aliran diferensial (pelat lubang dan pengukur venturi), pengukur aliran perpindahan positif, dan sensor ultrasonik, tergantung pada jenis fluida dan aplikasinya [4].

*Flowrate* memainkan peran penting dalam proses perpindahan panas, pengolahan air, manufaktur, dan distribusi energi. Pada *heat exchanger*, seperti *fin fan cooler*, laju aliran menentukan efisiensi perpindahan panas, karena hal ini mempengaruhi turbulensi aliran cairan. Laju aliran yang dioptimalkan memastikan efisiensi maksimum, sementara laju aliran yang terlalu rendah dapat menyebabkan pengotoran dan penurunan kinerja sistem. Sebaliknya, laju aliran yang sangat tinggi dapat meningkatkan keausan pada unit dan konsumsi energi yang tidak efisien selama pengoperasian [5].

*Fouling factor* adalah indikator peningkatan resistensi perpindahan panas yang disebabkan oleh pembentukan dan akumulasi endapan dan pengotoran seperti kerak dan lumpur pada permukaan penukar panas. Saat endapan ini terakumulasi, endapan ini bertindak sebagai isolator dan mengurangi perpindahan panas antara fluida. Akibatnya, efisiensi penukar panas berkurang dan lebih banyak energi diperlukan untuk mencapai tingkat perpindahan panas tertentu. *Fouling factor* dihitung untuk memperhitungkan efisiensi yang berkurang dalam desain dan pengoperasian penukar panas [6].

Banyak proses yang dapat menyebabkan pengotoran, termasuk endapan padat, reaksi kimia, pertumbuhan biologis, dan endapan mineral seperti kalsium karbonat. Kimia fluida, suhu operasi, dan laju aliran adalah beberapa faktor yang mempengaruhi pengotoran. Efisiensi sistem perpindahan panas menurun seiring dengan meningkatnya koefisien pengotoran, yang

menyebabkan berkurangnya efisiensi termal dan peningkatan biaya operasi karena kebutuhan akan pemeliharaan rutin [7].

Korelasi antara kecepatan aliran fluida dan akumulasi deposit pada permukaan penukar panas menunjukkan bagaimana kecepatan aliran mempengaruhi rasio deposit pada pendingin sirip. Pada laju aliran rendah, waktu kontak antara fluida dan permukaan penukar panas meningkat, memberikan lebih banyak kesempatan bagi partikel dan senyawa untuk mengendap dan melekat pada permukaan penukar panas. Koefisien pengotoran cenderung meningkat lebih cepat pada laju aliran rendah karena pembentukan lapisan pengotor yang menghambat perpindahan panas dan mengurangi efisiensi pendinginan [8].

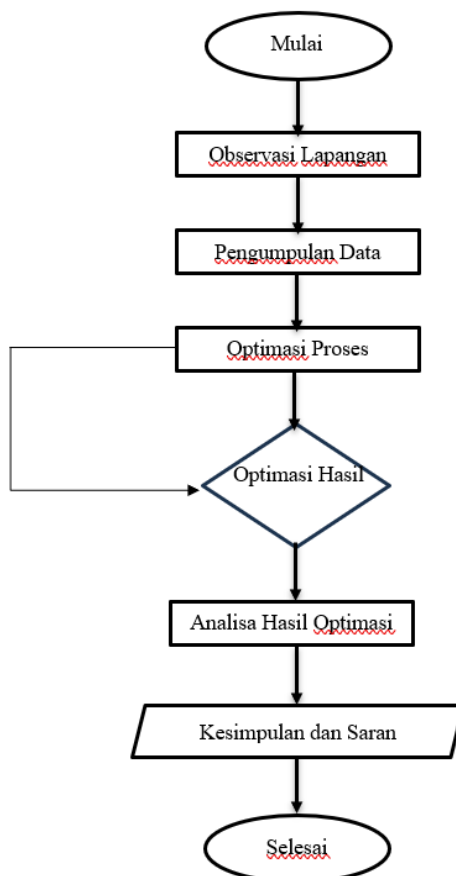
Laju aliran yang ideal, di sisi lain, meminimalkan kemungkinan pengotoran karena fluida selalu mengalir melalui sistem pada kecepatan yang diperlukan. Pada laju aliran yang sangat tinggi, faktor pengotoran mungkin tetap rendah, tetapi konsumsi energi dan tekanan operasi yang tidak efisien mungkin lebih tinggi. Oleh karena itu, penting untuk memilih laju aliran yang tepat untuk meminimalkan pengotoran dan mengoptimalkan efisiensi penukar panas. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis efek dari berbagai laju aliran pada pembentukan faktor pengotoran pada pendingin kipas bersirip. Diharapkan dengan memahami hubungan antara laju aliran dan faktor pengotoran akan menghasilkan rekomendasi operasional yang meminimalkan pengotoran dan meningkatkan efisiensi pendinginan. Sehingga perlu dilakukannya pengamatan mengenai bagaimana pengaruh *flowrate* yang berada di PT.XYZ terhadap *fouling factor* yang terjadi dan bagaimana penanganannya jika *fouling factor* sudah melebihi batas [9].

Penelitian sebelumnya mengenai *fouling factor* dilakukan oleh Masoud Asadi dkk, pada tahun 2013 dengan judul "*Investigation into fouling factor in compact heat exchanger*". Pada penelitian yang dilakukan oleh Masoud Asadi dkk, *heat exchanger* dilakukan pembersihan dengan menggunakan *loop* pembersihan terpisah jika *compact heat exchanger* tidak bisa dilakukan pembersihan dengan cara dibongkar, selain itu dilakukan pemasangan filtrasi di bagian hulu. Namun jika pembersihan kimia dilakukan, maka sistem harus dibuat untuk dapat dilakukan masuk dan pembuangan seluruh cairan pembersih yang sudah digunakan. Jika keadaan sudah darurat, dapat dilakukan pemanggangan dengan oven sehingga kotoran yang menempel dapat terbakar dan hilang dengan pembilasan air atau detergen, namun pembersihan dengan cara ini tidak disarankan jika tidak benar-benar penting karena dapat menyebabkan kerusakan pada *heat exchanger* [10].

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Tri Endang Prasasti dkk, apabila nilai *fouling factor* ketentuan lebih kecil dari nilai *fouling factor* yang ditentukan, sehingga rentang waktu perawatan akan lebih singkat. Sebaliknya, nilai *fouling factor* yang lebih besar akan menyebabkan pabrik membayar lebih banyak untuk perawatan. Waktu perawatan akan lebih lama daripada nilai *fouling factor* ketentuan, tetapi jika *heat exchanger* yang didesain terlalu rumit, hal itu menyebabkan besarnya investasi yang diperlukan. Nilai *fouling factor heat exchanger* yang ideal adalah yang termasuk dalam rentang syarat sehingga luas permukaan panas yang diperlukan dapat terpenuhi dengan baik, dan biaya investasi digunakan dengan lebih efisien [11].

## 2. METODE

Metode yang digunakan pada proses penyusunan laporan, dapat dilihat pada diagram alir Gambar 1 berikut:



Gambar 1. Diagram alir

Pada tahap pertama penulis mengambil beberapa data lapangan atau data aktual dari proses pada peralatan *fin fan cooler*. Pengambilan data operasi dilakukan melalui pemantauan *log sheet*, yang mencatat temperatur *inlet* dan *outlet*, tekanan, serta laju aliran gas dari sistem pendingin. Selain itu, data spesifikasi alat diperoleh dari dokumen desain pabrik untuk mengetahui kondisi optimal alat. Parameter yang diukur meliputi temperatur *inlet* dan *outlet* gas, tekanan *inlet* dan *outlet*, serta *flow rate* gas dalam satuan *Million Standard Cubic Feet per Day* (MMSCFD). Pada tahap pengambilan data, spesifikasi *feed* yang digunakan dalam proses pendinginan *Fin-fan cooler* E-0101 diperoleh dari data desain yang ada pada PT. XYZ. *Feed* yang diproses merupakan gas hidrokarbon hasil pemisahan dari *Gas Separation Unit* (GSU). Spesifikasi *feed* mencakup temperatur, tekanan, serta laju aliran gas sebelum dan sesudah melewati *Fin-fan cooler*.

Data-data ini diperlukan untuk menghitung *fouling factor* dan mengevaluasi kinerja termal dari *Fin-fan cooler* dalam proses penurunan temperatur gas hidrokarbon. Optimasi ini dilakukan dengan membandingkan hasil operasi aktual terhadap spesifikasi desain. Hasil pengukuran dianalisis untuk mengidentifikasi perbedaan antara kinerja desain dan aktual serta mengevaluasi faktor-faktor yang mempengaruhi penurunan performa alat, seperti *fouling* dan vibrasi. Data desain alat dan data aktual lapangan dapat dilihat pada tabel 1-4 berikut:

Tabel 1. Data Desain *Fin-fan cooler*

TAG NO.	E-0101
<i>Service</i>	<i>Inlet Cooler</i>
<i>Type/ Surface Area</i>	<i>Forced Draft / 5,278.8 m<sup>2</sup></i>

<i>Design Duty</i>	3.8 MBTU/HR
<i>Tube Design Press</i>	540 PSIG
<i>Tube Design Temperature</i>	180 °F
<i>Drive/Power</i>	<i>Motor/ (2x30) HP</i>
<i>Material</i>	<i>Header: Incoloy 825</i>
	<i>Tube: Incoloy 825</i>

**Tabel 2. Data Desain Operasi**

<b>Type</b>	<b>Forced Draft</b>	
<i>Flow Rate Gas (MMSCFD)</i>	70,5754	
<b>Data</b>	<b>Inlet</b>	<b>Outlet</b>
<i>Fluid Name</i>	<i>Hydrocarbon Gas</i>	<i>Hydrocarbon Gas</i>
<i>Temperatur (°F)</i>	149	110
<i>Pressure (psig)</i>	430	420
<i>Specific Heat of vapour (Btu/lb.°F)</i>	0,4293	0,4248

**Tabel 3. Data Desain Tube**

<b>Tube</b>		
<b>Data</b>	<b>Satuan</b>	<b>Nilai</b>
Diameter Dalam	Inch	0,87
Diameter Luar	Inch	1
Panjang Tube	ft	24,6063
Jumlah Tube	Nt	210
<i>Birmingham Wire Gauge</i>	BWG	16

**Tabel 4. Data Aktual Operasi**

	Flow Gas (MMSCFD)	Temperature Inlet (°F)	Temperatur Outlet (°F)	Temperatur udara (°F)
Run 1	61.08	123.78	109.50	103
Run 2	59.00	117.50	110.50	103
Run 3	60.99	126.04	111.05	103
Run 4	60.60	126.47	107.90	103
Run 5	61.40	122.20	112.01	103

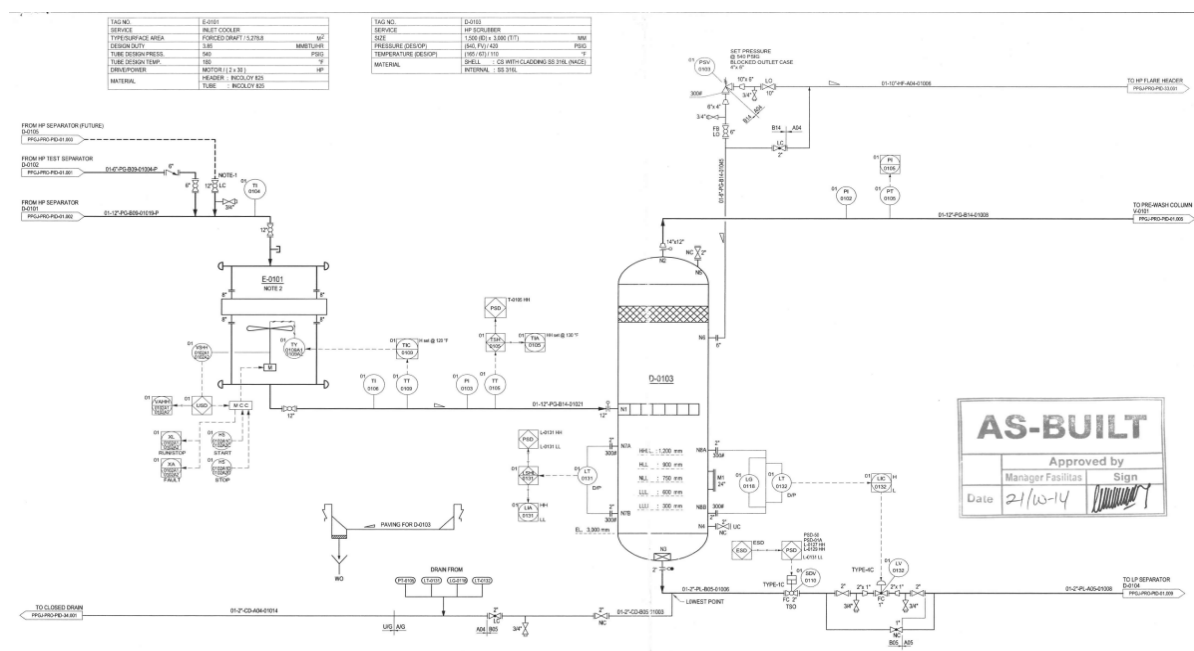
Setelah memperoleh data desain peralatan dan data kondisi operasi aktual maka akan dilakukan perhitungan yang nantinya akan mendapatkan hasil dari *fouling* yang terjadi. Terdapat beberapa perhitungan yang harus dilakukan untuk mencari nilai *fouling factor*,

perhitungan dilakukan dengan menggunakan data aktual pada PT.XYZ, langkah-langkah perhitungan sebagai berikut:

1. Menghitung nilai LMTD
2. Menghitung luas permukaan aliran
3. Menghitung *mass velocity* pada bagian *tube*
4. Menghitung bilangan reynold
5. Menghitung koefisien perpindahan panas
6. Menghitung nilai  $U_c$
7. Menghitung nilai *heat transfer*
8. Menghitung beban panas total
9. Menghitung *design overall coefficient*
10. Menghitung nilai *dirt factor*

Setelah analisis data selesai, langkah terakhir adalah penyusunan kesimpulan dari hasil pengamatan, dengan menilai kinerja operasional *fin-fan cooler* serta faktor-faktor yang berpotensi menyebabkan penurunan performa. Proses ini diakhiri dengan formulasi rekomendasi perawatan, seperti inspeksi rutin, pembersihan intensif pada pipa pendingin, dan perbaikan sistem penggerak seperti V-belt dan kipas alat dapat berfungsi secara optimal.

### 3. PEMBAHASAN



**Gambar 2. Piping and Instrumental Gas Separation Unit**

*Gas Separation Unit* merupakan bagian penting pada proses pengolahan gas alam. Unit ini bertugas untuk memisahkan berbagai komponen dari gas alam, yang nantinya menghasilkan gas dengan kemurnian tinggi yang dibutuhkan dalam berbagai industry. Proses ini dimulai pada *inlet* separator, dimana gas akan dipisahkan berdasarkan densitasnya. Pada proses ini nantinya akan dipisahkan menjadi 3 bagian, gas, minyak dan kondensat. Proses pemisahan ini dilakukan dengan menggunakan feed berupa natural gas yang berasal dari 8 sumur yang berada di dekat PT XYZ. Gambar 3 merupakan *Piping and Instrumental Gas Separation Unit*.

Pada kasus ini *fin-fan cooler* digunakan untuk mendinginkan gas sebelum masuk ke dialirkan ke *Acid Gas Removal Unit*. Penurunan suhu ini penting dilakukan agar meminimalisir terjadinya *foaming* dalam proses penghilangan kandungan *impurities* pada kolom absorber, serta untuk meningkatkan kuantitas gas penjualan yang akan dihasilkan. Media pendingin yang digunakan pada *fin-fan cooler* ini menggunakan udara ambien atau udara sekitar. Gas panas dari HP separator dan LP separator akan dialirkan ke dalam bagian *tube finfan cooler*, dimana nantinya akan terjadi perpindahan panas antara *gas hydrocarbon* dan udara ambien yang di dorong oleh kipas. Setelah terjadi pertukaran panas, gas akan mengalami penurunan suhu dan akan dialirkan ke unit berikutnya. Pada proses penurunan suhu ada beberapa faktor penting yang harus diperhatikan, agar penurunan suhu dapat terjadi secara maksimal. Antara lain yaitu, luas perpindahan panas, *flowrate* fluida serta *fouling* seperti Tabel 5-6 berikut.

**Tabel 5. Data Kondisi Operasi *Fin-fan cooler***

	Flow Gas (MMSCFD)	Temperature Inlet (°F)	Temperatur Outlet (°F)	Temperatur udara (°F)
Run 1	61.08	123.78	109.50	103
Run 2	59.00	117.50	110.50	103
Run 3	60.99	126.04	111.05	103
Run 4	60.60	126.47	107.90	103
Run 5	61.40	122.20	112.01	103

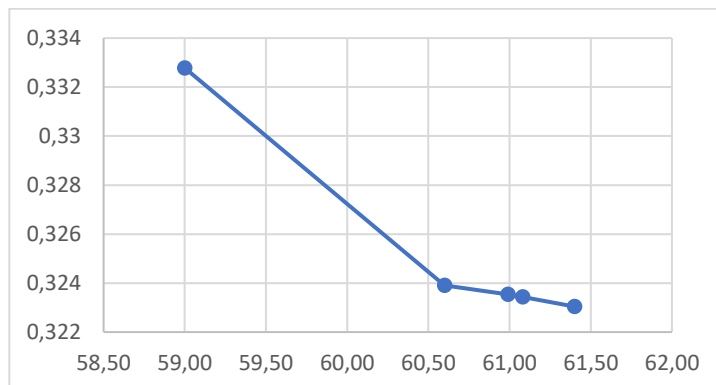
**Table 6. Hasil Perhitungan *Fin-fan cooler***

	Flow Gas (MMSCFD)	LMTD (°F)	Q (Btu/hr)	Rd (hr. ft <sup>2</sup> . °F/Btu)
Run 1	61.08	9.88296	29702.1	0.323438
Run 2	59.00	7.24713	21780.42	0.332779
Run 3	60.99	11.16274	33548.34	0.323534
Run 4	60.60	10.26036	30836.34	0.323909
Run 5	61.40	9.5879	28815.33	0.32304

Kinerja *fin-fan cooler* dapat dipengaruhi oleh *fouling* pada bagian *tube* nya. Penumpukan ini disebut *fouling* dan menyebabkan penurunan efisiensi pendinginan. Pada alat *fin-fan cooler* di PT XYZ, nilai *fouling* sudah melebihi batas normal, secara berturut-turut yaitu 0.323438 hr. ft<sup>2</sup>. °F/Btu; 0.332779 hr. ft<sup>2</sup>. °F/Btu; 0.323534 hr. ft<sup>2</sup>. °F/Btu; 0.323909 hr. ft<sup>2</sup>. °F/Btu; 0.32304 hr. ft<sup>2</sup>. °F/Btu. Seharusnya nilai *fouling* berada pada batas normal yaitu kurang dari 0,0011 hr. ft<sup>2</sup>. Akibatnya, perpindahan panas dari gas ke udara menjadi terhambat karena kerak bertindak seperti isolator.

Dapat dilihat pada Gambar 3, apabila semakin tinggi nilai *flowrate*, maka semakin singkat waktu tinggal fluida di dalam *tube cooler*. Hal ini mengurangi peluang partikel-partikel untuk mengendap dan membentuk *fouling* pada permukaan perpindahan panas. Peningkatan *flowrate* juga meningkatkan gaya gesar (*shear stress*) pada permukaan perpindahan panas. Gaya gesar ini dapat membantu mencegah partikel-partikel untuk menempel dengan kuat pada permukaan, sehingga mengurangi pembentukan *fouling*. *Flowrate* yang tinggi cenderung meningkatkan turbulensi pada aliran dalam *tube*. Turbulensi ini dapat membantu mencegah terbentuknya lapisan batas yang tebal pada permukaan *tube*, yang merupakan tempat partikel mengendap dan membentuk kerak. Namun, perlu diingat bahwa hubungan antara *flowrate* dengan *fouling* tidak selamanya linear. Faktor-faktor lain seperti sifat fluida yang mengalir, suhu operasi, dan material konstruksi cooler juga berperan penting dalam proses pembentukan *fouling*. Namun yang harus di perhatikan juga bahwa pada kecepatan alir tinggi dapat menyebabkan tingginya

pressure drop, kecepatan tinggi juga dapat mengakibatkan erosi dan juga memerlukan energi pemompaan yang besar.



Gambar 4. Grafik Hubungan antara Flowrate vs Fouling factor

Untuk mengatasi masalah ini, perlu dilakukan perawatan secara berkala seperti pembersihan, inspeksi, dan perlindungan terhadap korosi. Meskipun nilai *fouling* aktual masih tergolong rendah dibandingkan dengan potensi maksimalnya, namun tetap perlu dilakukan tindakan pencegahan agar kinerja alat tetap optimal. Pembersihan pada *tube fin fan cooler* dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa metode seperti *chemical cleaning*, *mechanical cleaning*, *ultrasonic cleaning* ataupun dengan menggunakan *steam*. Seperti berikut:

1. *Steam*

Salah satu metode yang efektif untuk membersihkan *fouling* pada *fin fan cooler* adalah dengan menggunakan *steam*. Pembersihan dengan menggunakan *steam* merupakan salah satu metode yang relatif aman karena tidak menggunakan bahan kimia keras yang dapat berpotensi merusak peralatan dan lingkungan.

2. *Hydro Blasting*

*Hydro blasting* adalah metode pembersihan permukaan yang sangat kuat dengan menggunakan semburan air bertekanan tinggi. Tekanan air yang sangat tinggi ini mampu membersihkan berbagai macam kotoran yang sangat menempel pada permukaan suatu benda. Secara sederhana, *hydro blasting* bekerja dengan cara menyemprotkan air bertekanan sangat tinggi ke permukaan yang ingin dibersihkan. Tekanan air yang kuat ini akan mengikis dan mengangkat kotoran dari permukaan. Terkadang, untuk meningkatkan efektivitas pembersihan, pada air yang disemprotkan dapat ditambahkan bahan abrasif seperti pasir atau bahan kimia tertentu.

3. *Pigging*

*Pigging* adalah sebuah metode perawatan *tube* yang melibatkan penggunaan alat khusus yang disebut *pig*. *Pig* ini didorong melalui *tube* untuk membersihkan, memeriksa, atau melakukan tugas pemeliharaan lainnya pada bagian dalam *tube*. Proses *pigging* dapat dilakukan tanpa perlu menghentikan operasi pipa secara keseluruhan.

4. *Taproge Ball*

*Taproge Ball* adalah alat pembersih yang dirancang khusus untuk membersihkan bagian dalam pada sistem pendingin. Bola-bola ini terbuat dari bahan karet khusus yang dirancang untuk tahan terhadap suhu dan tekanan tinggi di dalam sistem pendingin. *Taproge Ball* bekerja dengan cara diinjeksikan ke dalam sistem pendingin. Dengan bantuan aliran air pendingin, bola-bola ini akan bersirkulasi di dalam bagian *tube*. Saat bergerak, bola-bola ini akan membersihkan kotoran, kerak, atau endapan yang menempel pada dinding dalam tabung.



Selain itu, peningkatan desain juga menjadi solusi lain yang dapat dilakukan. Mengganti sirip atau pipa yang sudah aus dengan material yang memiliki konduktivitas termal lebih tinggi akan meningkatkan performa pendinginan. Modifikasi desain sirip untuk meningkatkan luas permukaan kontak antara gas dan udara juga dapat diupayakan. Pengontrolan aliran gas masuk ke dalam *Fin-fan cooler* sangat penting untuk memastikan aliran tidak terlalu cepat sehingga memberikan waktu yang cukup bagi gas untuk melepaskan panas. Penambahan *valve control* untuk mengatur aliran gas secara lebih akurat akan membantu meningkatkan kinerja pendinginan. Di sisi lain, jika suhu udara sekitar tinggi, penggunaan sistem pendinginan tambahan seperti pendinginan evaporatif yang memanfaatkan air untuk mendinginkan udara sebelum masuk ke kipas dapat dipertimbangkan. Dengan menerapkan strategi-strategi ini, diharapkan *Fin-fan cooler* mampu menurunkan suhu gas secara lebih efektif, yang pada akhirnya akan meningkatkan efisiensi proses pemisahan gas, mengurangi konsumsi energi, serta memperpanjang umur operasional alat.

#### 4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengamatan pada alat, didapatkan kesimpulan yaitu:

1. Nilai *fouling* dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya *flowrate*. Semakin kecil nilai *flowrate* maka waktu tinggal fluida pada dalam *tube* akan semakin lama. Hal ini menjadi peluang terbentuknya *fouling* pada dinding *tube*.
2. *Flowrate* gas mengalami penurunan pada PT. XYZ sehingga menyebabkan nilai *fouling* aktual melebihi nilai *fouling factor* yang diizinkan dimana nilai aktual *fouling* terbesar yaitu  $0.332779 \text{ hr.ft}^2 \cdot \text{°F/Btu}$  pada *flowrate* 59.00 MMSCFD, sedangkan nilai *fouling* yang diizinkan sebesar  $0,0011 \text{ hr.ft}^2 \cdot \text{°F/Btu}$ .
3. Banyak cara untuk melakukan pembersihan *fouling* pada *tube*, tergantung jenis *fouling* yang terbentuk. Pada umumnya *fouling* dibersihkan dengan menginjeksikan *steam* pada *tube* atau bahan kimia yang bersifat dapat mengangkat atau melarutkan kerak.
4. *Flowrate* tinggi mengurangi waktu tinggal fluida di *tube cooler* dan meningkatkan turbulensi, mengurangi *fouling*. *Flowrate* terlalu tinggi dapat menyebabkan tekanan tinggi, erosi, dan kebutuhan energi lebih besar.
5. Banyak cara untuk melakukan pembersihan *fouling* pada *tube*, tergantung jenis *fouling* yang terbentuk. Pada umumnya *fouling* dibersihkan dengan menginjeksikan *steam* pada *tube* atau bahan kimia yang bersifat dapat mengangkat atau melarutkan kerak.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bejan, A. Kraus, A. D. 2014. *Heat Transfer Handbook*.
- [2] Putra, N. Nandy. Sinaga, A. L. 2014. Sistem Air Conditioner Water Heater Dengan Tiga Alat Penukar Kalor Tipe Koil Disusun Seri .
- [3] Mukherjee, R. 2014. *Practical Thermal Design of Air-Cooled Heat exchangers*.
- [4] Cengel, Y. A., & Cimbala, J. M. 2018. *Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications* (4th ed.). McGraw-Hill Education
- [5] Moran, M. J., Shapiro, H. N., Boettner, D. D., & Bailey, M. B. 2017. *Fundamentals of Engineering Thermodynamics* (9th ed.). John Wiley & Sons
- [6] Müller-Steinhagen, H., Malayeri, M. R., & Watkinson, A. P. 2019. *Heat exchanger Fouling: Mitigation and Cleaning Techniques*. IChemE
- [7] Shah, R. K., & Sekulic, D. P. 2017. *Fundamentals of Heat exchanger Design*. John Wiley & Sons
- [8] Kakaç, S., Liu, H., & Pramuanjaroenkij, A. 2016. *Heat exchangers: Selection, Rating, and Thermal Design* (3rd ed.). CRC Press
- [9] Sadik, K. 2019. *Principles of Heat Transfer* (8th ed.). Cengage Learning

- [10] Masoud Asadi dkk., 2013. *“Investigation into fouling factor in compact heat exchanger”*. Tehran, Iran: International Journal of Innovation and Applied Studies
- [11] Endang, Tri dkk. 2021. *“Evaluasi Fouling Factor Terhadap Kinerja Heat Exchanger Pada Gas Cooler Unit CO<sub>2</sub> Liquid Plant”*. Indonesia: Jurnal Teknologi Separasi