EVALUASI KINERJA *HEAT EXCHANGER* 201-E-010 PADA UNIT *LIGHT NAPHTHA STABILIZER* DI PT XY

Fidelia Dahfa Arumdapti[1] , Agus Setiyono[1*]
[1]Teknik Pengolahan Minyak dan Gas, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas Jl. Gajah Mada No.38, Cepu Blora Jawa Tengah, 58315
**E-mail*: agasasutadewa@gmail.com

ABSTRAK

Heat exchanger merupakan salah satu peralatan penting dalam proses pengolahan hidrokarbon yang berfungsi untuk mentransfer panas antarfluida. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja *Heat Exchanger* 201-E-010 pada Unit *Light Naphtha Stabilizer* di PT XY dengan membandingkan kondisi aktual terhadap kondisi desain serta menganalisis pengaruh laju alir MP *Steam* terhadap *fouling factor*. Evaluasi dilakukan berdasarkan *heat duty, log mean temperature difference* (LMTD), *overall heat transfer coefficient* (U), *performance*, dan *fouling factor* menggunakan data operasi harian. Hasil evaluasi menunjukkan nilai rata-rata *overall heat transfer coefficient* aktual sebesar 96,15 W/m²·K dibandingkan nilai desain sebesar 154,6 W/m²·K, dengan rata-rata *performance* sebesar 62,03%, yang menunjukkan bahwa kinerja aktual masih berada di bawah kondisi desain. Analisis operasi harian menunjukkan bahwa peningkatan laju alir MP *Steam* meningkatkan *heat duty* dan *performance heat exchanger*. Selain itu, diperoleh kecenderungan bahwa peningkatan laju alir MP *Steam* diikuti oleh penurunan nilai *fouling factor*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kondisi operasi, khususnya laju alir MP *Steam*, berpengaruh terhadap kinerja *Heat Exchanger* 201-E-010.

Kata kunci: ***heat exchanger, reboiler, fouling factor, MP steam, performance, light naphtha stabilizer***

1. PENDAHULUAN

Heat exchanger merupakan salah satu peralatan penting dalam industri proses yang berfungsi untuk mentransfer panas antara dua fluida dengan temperatur berbeda tanpa terjadi pencampuran secara langsung. Salah satu jenis yang banyak digunakan dalam industri proses adalah *shell and tube heat exchanger* karena memiliki konstruksi yang relatif sederhana, fleksibel, serta mampu beroperasi pada kondisi temperatur dan tekanan tinggi [1]. Perpindahan panas pada *heat exchanger* berlangsung melalui mekanisme konveksi pada masing-masing fluida dan konduksi melalui dinding pemisah. Pada kondisi ideal, *heat exchanger* diharapkan mampu mentransfer panas secara optimal sesuai dengan kondisi desain sehingga kebutuhan panas proses dapat terpenuhi secara efisien. Kinerja perpindahan panas umumnya dievaluasi melalui beberapa parameter, seperti *heat duty*, *log mean temperature difference* (LMTD), dan *overall heat transfer coefficient* (U) [2].

Heat duty menunjukkan jumlah panas yang ditransfer oleh *heat exchanger* dalam satuan waktu, sedangkan LMTD menggambarkan gaya pendorong temperatur rata-rata selama proses perpindahan panas. Hubungan antara *heat duty*, luas permukaan perpindahan panas, koefisien perpindahan panas keseluruhan, dan LMTD menjadi dasar dalam mengevaluasi kemampuan perpindahan panas *heat exchanger* [2], [3]. Nilai *overall heat transfer coefficient* juga dapat digunakan sebagai indikator untuk membandingkan kemampuan perpindahan panas aktual peralatan terhadap kondisi desain. Perubahan kondisi operasi dapat menyebabkan nilai parameter tersebut berbeda dari kondisi rancangan sehingga pemantauan kinerja *heat exchanger* perlu dilakukan selama pengoperasian [4].

Namun, kondisi operasi di lapangan tidak selalu sama dengan kondisi desain. Salah satu permasalahan yang umum terjadi pada *heat exchanger* adalah *fouling*, yaitu terbentuknya deposit atau lapisan material yang tidak diinginkan pada permukaan perpindahan panas. Lapisan tersebut meningkatkan tahanan termal sehingga menghambat perpindahan panas dan dapat menurunkan kemampuan *heat exchanger* dalam mentransfer energi [5]. *Fouling* juga dapat memengaruhi kinerja hidraulik peralatan melalui peningkatan *pressure drop* serta pada kondisi tertentu meningkatkan kebutuhan energi dan frekuensi pembersihan atau pemeliharaan [6], [7]. Perkembangan *fouling* dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain temperatur permukaan, kecepatan aliran, karakteristik dan komposisi fluida, serta geometri aliran [7].

Pada Unit *Light Naphtha Stabilizer* PT XY, *Heat Exchanger* 201-E-010 digunakan sebagai *reboiler* dengan MP *Steam* sebagai media pemanas. Berdasarkan konfigurasi peralatan, MP *Steam* mengalir pada sisi *tube*, sedangkan *Light Naphtha* berada pada sisi *shell*. MP *Steam* mengalami kondensasi dan melepaskan panas melalui dinding *tube* menuju *Light Naphtha*. Panas tersebut digunakan untuk menguapkan sebagian *Light Naphtha* sehingga terbentuk *vapor* yang dikembalikan ke kolom *Light Naphtha Stabilizer* untuk mendukung proses pemisahan komponen ringan. Dengan fungsi tersebut, perubahan kondisi operasi pada *reboiler*, khususnya laju alir MP *Steam*, dapat memengaruhi jumlah panas yang tersedia untuk proses sehingga diperlukan evaluasi terhadap kemampuan perpindahan panas peralatan. Fungsi 201-E-010 sebagai *reboiler* dan perannya dalam pembentukan *vapor* juga telah dijelaskan pada naskah awal. ID 272 Review Naskah

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa kondisi operasi dapat memengaruhi kinerja dan perkembangan *fouling* pada *shell and tube heat exchanger*. Perubahan kecepatan aliran dapat memengaruhi tahanan *fouling* dan koefisien perpindahan panas [8]. Selain itu, pembentukan deposit dapat memengaruhi koefisien perpindahan panas, *pressure drop*, pola aliran, dan kinerja keseluruhan *heat exchanger* [9]. Penelitian lainnya menunjukkan bahwa perubahan laju alir dan temperatur masuk dapat menyebabkan perubahan laju perpindahan panas sehingga penggunaan *heat transfer rate* sebagai satu-satunya indikator *fouling* dapat menghasilkan interpretasi yang kurang tepat [10]. Oleh karena itu, evaluasi *fouling* perlu dilakukan dengan mempertimbangkan perubahan kondisi operasi dan parameter perpindahan panas secara bersamaan.

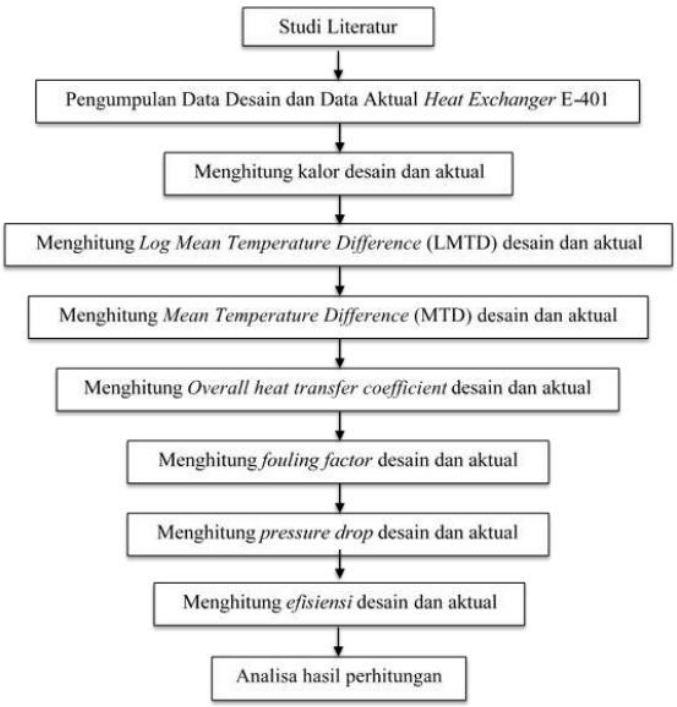
Penelitian terdahulu tersebut pada umumnya membahas pengaruh kondisi operasi dan *fouling* terhadap kinerja *shell and tube heat exchanger*. Namun, masih diperlukan evaluasi yang menghubungkan beberapa parameter kinerja secara bersamaan pada *heat exchanger* yang berfungsi sebagai *reboiler*, khususnya terhadap variasi laju alir media pemanas selama operasi. Pada penelitian ini, evaluasi dilakukan terhadap *Heat Exchanger* 201-E-010 dengan menghubungkan *heat duty*, LMTD, *overall heat transfer coefficient* (U), *performance*, dan *fouling factor* terhadap variasi laju alir MP *Steam* berdasarkan data operasi harian. Keterbaruan penelitian ini terletak pada evaluasi terpadu parameter perpindahan panas dan *fouling factor* terhadap perubahan laju alir MP *Steam* pada *reboiler* 201-E-010 serta perbandingan kondisi aktual terhadap kondisi desain.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja *Heat Exchanger* 201-E-010 pada Unit *Light Naphtha Stabilizer* PT XY melalui analisis *heat duty*, LMTD, *overall heat transfer coefficient* (U), dan *performance*. Selain itu, penelitian ini bertujuan mengevaluasi perubahan *fouling factor* berdasarkan variasi laju alir MP *Steam* selama periode pengamatan serta membandingkan kondisi aktual terhadap kondisi desain. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai kondisi kinerja *reboiler* dan hubungan kondisi operasi dengan kemampuan perpindahan panas *Heat Exchanger* 201-E-010 sebagai dasar evaluasi operasional dan pemeliharaan peralatan.

2. METODE

2.1 Metode Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan data desain dan data operasi aktual *Heat Exchanger* 201-E-010 pada Unit *Light Naphtha Stabilizer* PT XY. Data desain digunakan sebagai acuan pembanding dalam evaluasi kinerja *heat exchanger*, sedangkan data operasi aktual digunakan untuk mengetahui kondisi operasi selama periode pengamatan. Data aktual diperoleh dari data operasi harian (*daily operating data*) yang meliputi laju alir MP *Steam*, temperatur *inlet* dan *outlet*, tekanan operasi, serta parameter lain yang diperlukan dalam analisis perpindahan panas.



Gambar 1. Diagram alir evaluasi kinerja *Heat Exchanger* 201-E-010

Gambar 1 menunjukkan tahapan evaluasi kinerja *Heat Exchanger* 201-E-010 yang dimulai dari studi literatur dan pengumpulan data desain serta data operasi aktual. Data yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk melakukan perhitungan parameter kinerja, meliputi *log mean temperature difference* (LMTD), *overall heat transfer coefficient* (U), *fouling factor*, *pressure drop*, dan *performance heat exchanger*. Hasil perhitungan kemudian dianalisis untuk mengevaluasi kondisi kinerja aktual *Heat Exchanger* 201-E-010 terhadap kondisi desain.

2.2 Data *Desain Heat Exchanger* 201-E-010

Data desain *Heat Exchanger* 201-E-010 diperoleh dari *equipment datasheet* yang digunakan sebagai acuan dalam evaluasi kinerja *heat exchanger*. Data desain digunakan sebagai parameter pembanding terhadap kondisi operasi aktual untuk mengetahui tingkat performa perpindahan panas yang terjadi selama proses operasi. Parameter desain yang digunakan meliputi spesifikasi umum alat, kondisi operasi desain, luas permukaan perpindahan panas, serta karakteristik konstruksi *heat exchanger* yang berkaitan dengan proses perhitungan *heat duty*, *overall heat transfer coefficient* (U), dan *fouling factor*. Data desain *Heat Exchanger* 201-E-010 ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data desain Heat Exchanger 201-E-010

Parameter	Keterangan
Service	*Light Naphtha Stabilizer Reboiler*
Item Number	201-E-010
Heat Exchanger Type	BJU
Shell Side Fluid	Hydrocarbon (HC)
Tube Side Fluid	Steam
Surface Area	227,25 m²/shell
Tube Material	SA179
Tube Arrangement	*Square Pitch* 25,4 mm
Number of Pass	Shell: 1; Tube: 2
Baffle Type	*Vertical Double-Segmental*
Baffle Cut	28,2%
Shell Side Design Pressure	7,10 kgf/cm²G
Tube Side Design Pressure	21,0 kgf/cm²G
Shell Side Design Temperature	143°C
Tube Side Design Temperature	305°C
Corrosion Allowance	3,0 mm
Pressure Drop Allowable/Calculated – Shell	0,070 / 0,067 kg/cm²
Pressure Drop Allowable/Calculated – Tube	0,000 / 0,038 kg/cm²

Berdasarkan Tabel 1, *Heat Exchanger* 201-E-010 merupakan *reboiler* tipe BJU dengan *Light Naphtha* sebagai fluida pada sisi *shell* dan MP *Steam* pada sisi *tube*. Peralatan memiliki luas permukaan perpindahan panas sebesar 227,25 m², dengan konfigurasi 1 *pass* pada sisi *shell* dan 2 *pass* pada sisi *tube*. Tekanan desain sisi *shell* dan *tube* masing-masing sebesar 7,10 kgf/cm²G dan 21,0 kgf/cm²G, sedangkan temperatur desain masing-masing sebesar 143°C dan 305°C. Data desain tersebut digunakan sebagai acuan dalam mengevaluasi kondisi operasi aktual dan kinerja perpindahan panas *Heat Exchanger* 201-E-010.

2.3 Data Operasi Aktual *Heat Exchanger* 201-E-010

Data operasi aktual Heat Exchanger 201-E-010 diperoleh dalam bentuk data harian selama periode pengamatan. Parameter yang digunakan meliputi laju alir MP *Steam*, temperatur MP *Steam inlet*, temperatur kondensat *outlet*, laju alir *Light Naphtha*, serta temperatur *inlet* dan *outlet Light Naphtha*. Keseluruhan data harian digunakan sebagai dasar dalam perhitungan dan evaluasi kinerja *Heat Exchanger* 201-E-010.

Karena data operasi diperoleh dalam jumlah yang cukup banyak, data harian diringkas berdasarkan nilai minimum, maksimum, dan rata-rata untuk menggambarkan kondisi operasi selama periode pengamatan. Ringkasan data operasi aktual ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Ringkasan Data Operasi Aktual Heat Exchanger 201-E-010 Selama Periode Pengamatan

Parameter	Minimum	Maksimum	Rata-rata
MP Steam Flow (kg/h)	0,00	108.672,00	9.513,39
T MP Steam In (°C)	29,62	339,11	307,46
T Condensate Out (°C)	29,62	339,11	307,46
Naphtha Flow (kg/h)	226.330,96	378.921,00	297.256,32
T Naphtha In (°C)	32,27	109,76	92,81
T Naphtha Out (°C)	35,27	112,76	95,81

Nilai temperatur MP *Steam* inlet dan *condensate outlet* pada Tabel 2 menunjukkan nilai yang sama karena proses perpindahan panas pada sisi steam berlangsung melalui kondensasi pada temperatur yang relatif konstan. Pada proses tersebut, MP *Steam* melepaskan panas terutama dalam bentuk panas laten sehingga perubahan temperatur antara steam masuk dan kondensat keluar sangat kecil dan pada data operasi digunakan pada nilai temperatur yang sama. Meskipun temperatur sisi steam relatif konstan, nilai *fouling factor* tetap dapat mengalami perubahan karena perhitungannya dipengaruhi oleh perubahan nilai *overall heat transfer coefficient* aktual, yang juga dipengaruhi oleh *heat duty*, LMTD, dan kondisi operasi selama periode pengamatan.

2.4 Metode Perhitungan dan Evaluasi

Evaluasi kinerja *Heat Exchanger* 201-E-010 dilakukan berdasarkan parameter *heat duty*, *log mean temperature difference* (LMTD), *overall heat transfer coefficient* (U), *performance*, dan *fouling factor*. Perhitungan dilakukan menggunakan data operasi aktual harian dan selanjutnya dibandingkan dengan kondisi desain *Heat Exchanger* 201-E-010.

a. Heat Duty

Heat duty dihitung berdasarkan laju alir MP Steam dan perubahan entalpi steam selama proses kondensasi [2]:

$$Q = \dot{m}\text{steam}\ (Hin - Hout) \quad (1)$$

dengan Q merupakan *heat duty* (kJ/h), $\dot{m}$ merupakan laju alir MP Steam (kg/h), dan H merupakan entalpi steam (kJ/kg).

b. ***Log Mean Temperature Difference*** **(LMTD)**

Nilai LMTD digunakan untuk menentukan beda temperatur rata-rata logaritmik antara fluida pemanas dan fluida yang dipanaskan [2]:

$$LMTD = \frac{\Delta T1 - \Delta T2}{\ln \frac{\Delta T1}{\Delta T2}} \quad (2)$$

c. ***Overall Heat Transfer Coefficient*** **(U)**

Nilai U aktual ditentukan berdasarkan hubungan antara *heat duty*, luas perpindahan panas, dan LMTD [2]:

$$U_{actual} = \frac{Q}{AxLMTD} \quad (3)$$

d. ***performance Heat Exchanger***

Kinerja heat exchanger ditentukan dengan membandingkan nilai U aktual terhadap U desain [2]:

$$Performance = \frac{\text{Udesign}}{\text{Uactual}} x100\% \quad (4)$$

e. Fouling Factor

Fouling factor digunakan untuk mengevaluasi tambahan tahanan perpindahan panas akibat deposit pada permukaan heat exchanger berdasarkan nilai koefisien perpindahan panas aktual dan desain.

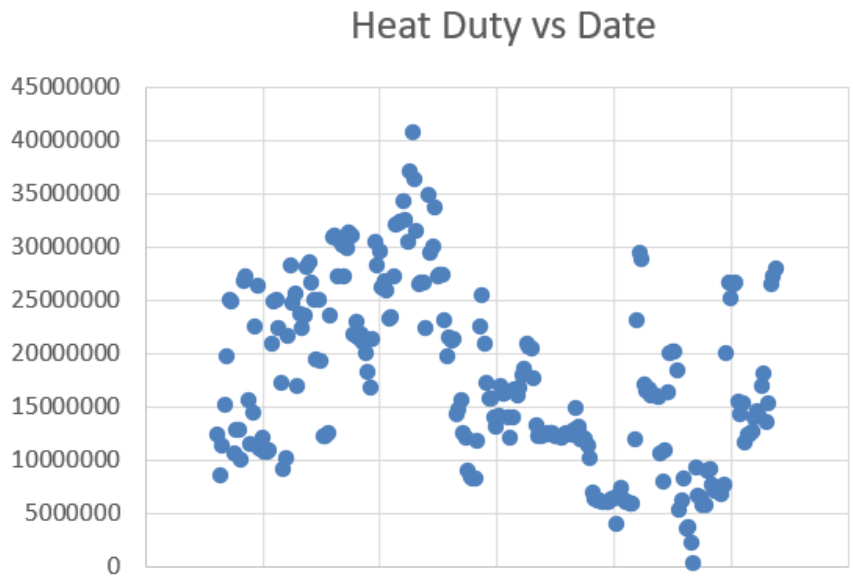
Hasil perhitungan setiap hari kemudian dianalisis untuk mengetahui perubahan kinerja *Heat Exchanger* 201-E-010 selama periode pengamatan serta hubungannya dengan kondisi operasi, khususnya laju alir MP Steam.

3. PEMBAHASAN

3.1. Analisis Heat Duty Heat Exchanger 201-E-010

Analisis *heat duty* dilakukan untuk mengetahui jumlah panas yang ditransfer oleh *Heat Exchanger* 201-E-010 selama proses operasi. Pada penelitian ini, *heat duty* dihitung berdasarkan jumlah panas yang dilepaskan oleh MP *Steam* selama proses kondensasi. Besarnya panas yang tersedia dari MP Steam akan memengaruhi kemampuan *reboiler* dalam memberikan panas kepada *Light Naphtha* sehingga terjadi pembentukan *vapor* pada Unit *Light Naphtha Stabilizer*.

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan data operasi harian, nilai *heat duty* Heat Exchanger 201-E-010 mengalami perubahan selama periode pengamatan. Perubahan tersebut dipengaruhi oleh variasi laju alir MP *Steam* dan kondisi operasi aktual. Semakin besar laju alir MP *Steam*, maka jumlah panas yang tersedia dari proses kondensasi *steam* akan meningkat sehingga nilai *heat duty* yang ditransfer ke fluida proses juga mengalami peningkatan.



Gambar 1. Grafik Perubahan *Heat Duty* terhadap Waktu

Berdasarkan grafik pada Gambar 1, terlihat bahwa nilai *heat duty* mengalami fluktuasi selama periode operasi. Fluktuasi tersebut menunjukkan bahwa kondisi operasi *Heat Exchanger* 201-E-010 tidak selalu berada pada kondisi yang sama dengan kondisi desain. Perubahan laju alir MP *Steam* menjadi salah satu faktor utama yang menyebabkan perubahan jumlah panas yang tersedia untuk proses perpindahan panas.

Nilai *heat duty* yang berubah menunjukkan bahwa evaluasi kinerja *heat exchanger* perlu dilakukan berdasarkan kondisi aktual, karena kemampuan perpindahan panas dipengaruhi oleh perubahan beban operasi. Hal ini sesuai dengan prinsip perpindahan panas bahwa jumlah energi yang ditransfer dipengaruhi oleh laju alir massa dan perubahan entalpi fluida.

3.2. Analisis *Log Mean Temperature Difference* (LMTD)

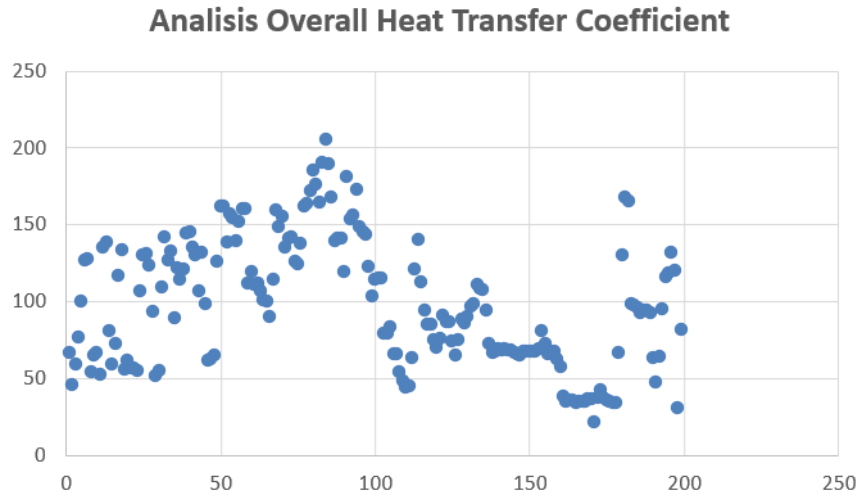
LMTD merupakan parameter yang menunjukkan perbedaan temperatur rata-rata antara fluida panas dan fluida dingin selama proses perpindahan panas. Pada *Heat Exchanger* 201-E-010, MP *Steam* berfungsi sebagai fluida panas yang mengalir pada sisi *tube*, sedangkan *Light Naphtha* sebagai fluida yang dipanaskan berada pada sisi *shell*. Berdasarkan konfigurasi peralatan, pola aliran yang digunakan adalah *counter current*, dengan 1 *pass* pada sisi *shell* dan 2 *pass* pada sisi *tube*. Konfigurasi aliran tersebut menyebabkan kedua fluida mengalir dengan arah berlawanan sehingga perbedaan temperatur antara fluida panas dan fluida dingin dapat dipertahankan selama proses perpindahan panas.

Berdasarkan hasil perhitungan pada kondisi operasi, nilai LMTD selama periode pengamatan berada pada rentang 85,46–243,65 °C, dengan nilai rata-rata sebesar 215,66 °C. Perubahan nilai LMTD terjadi akibat adanya variasi temperatur *inlet* dan *outlet* fluida selama operasi. Variasi tersebut menyebabkan perubahan beda temperatur rata-rata antara MP *Steam* dan *Light Naphtha* sehingga gaya pendorong perpindahan panas yang terjadi pada *heat exchanger* juga mengalami perubahan.

Nilai LMTD yang lebih besar menunjukkan adanya beda temperatur rata-rata yang lebih besar antara kedua fluida sehingga gaya pendorong perpindahan panas juga semakin besar. Sebaliknya, nilai LMTD yang lebih rendah menunjukkan berkurangnya beda temperatur rata-rata antara fluida panas dan fluida dingin. Perubahan nilai LMTD tersebut selanjutnya menjadi salah satu parameter yang memengaruhi hasil perhitungan *overall heat transfer coefficient* (U) aktual pada *Heat Exchanger* 201-E-010.

3.3 Analisis Overall Heat Transfer Coefficient (U)

Analisis *overall heat transfer coefficient* dilakukan untuk mengetahui kemampuan aktual *Heat Exchanger* 201-E-010 dalam mentransfer panas dibandingkan dengan kondisi desain. Nilai U aktual dihitung berdasarkan *heat duty*, luas permukaan perpindahan panas, dan LMTD. Berdasarkan data desain, nilai *overall heat transfer coefficient* yang digunakan sebagai acuan pada *Heat Exchanger* 201-E-010 sebesar 154,6 W/m²·K.



Gambar 2. Grafik Perubahan U Aktual *Heat Exchanger* 201-E-010

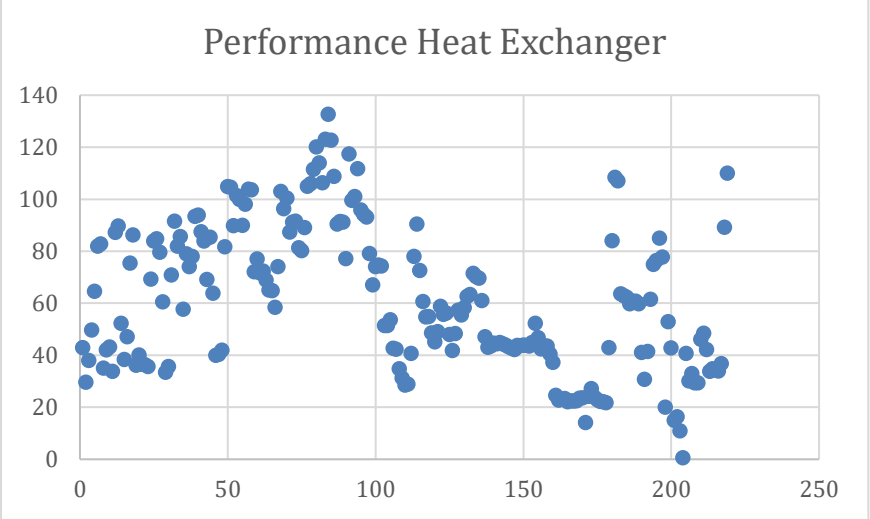
Berdasarkan hasil evaluasi selama periode pengamatan, diperoleh nilai rata-rata U aktual sebesar 96,15 W/m²·K. Nilai tersebut lebih rendah dibandingkan nilai U desain sebesar 154,6 W/m²·K, yang menunjukkan bahwa kemampuan perpindahan panas aktual *Heat Exchanger*

201-E-010 belum mencapai kondisi desain. Kondisi tersebut juga sesuai dengan nilai rata-rata *performance* sebesar 62,03%.

Penurunan nilai U aktual dapat dipengaruhi oleh adanya tambahan tahanan termal pada permukaan perpindahan panas, termasuk kemungkinan terbentuknya *fouling*. Namun, perubahan nilai U tidak hanya dipengaruhi oleh *fouling*, melainkan juga oleh perubahan kondisi operasi seperti *heat duty*, LMTD, laju alir MP *Steam*, dan temperatur fluida selama periode pengamatan. Oleh karena itu, nilai U aktual perlu dianalisis bersama parameter operasi lainnya untuk mengevaluasi kondisi kinerja *Heat Exchanger* 201-E-010.

3.4 Analisis Performance Heat Exchanger

Nilai *performance Heat Exchanger* 201-E-010 diperoleh dengan membandingkan nilai *overall heat transfer coefficient* (U) aktual terhadap nilai U desain. Nilai U desain yang digunakan sebagai acuan sebesar 154,6 W/m²·K. Berdasarkan metode perhitungan tersebut, nilai *performance* sebesar 100% menunjukkan bahwa nilai U aktual telah mencapai kondisi desain.



Gambar 4. Grafik Performance Heat Exchanger 201-E-010

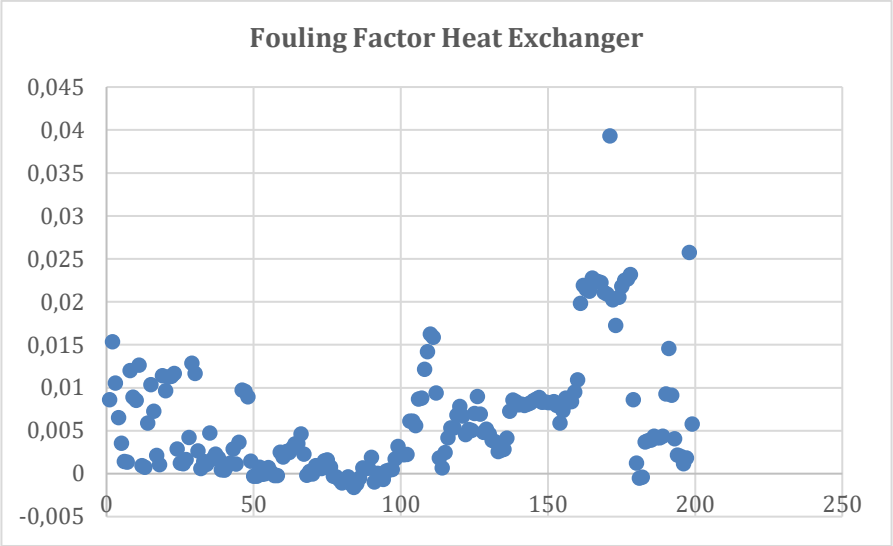
Berdasarkan hasil perhitungan selama periode pengamatan, diperoleh nilai rata-rata *performance Heat Exchanger* 201-E-010 sebesar 62,03%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kemampuan perpindahan panas aktual rata-rata mencapai 62,03% dari kondisi desain. Dengan nilai U desain sebesar 154,6 W/m²·K dan rata-rata U aktual sebesar 96,15 W/m²·K, kondisi operasi aktual menunjukkan bahwa kemampuan perpindahan panas *Heat Exchanger* 201-E-010 masih berada di bawah kondisi desain.

Data desain yang digunakan dalam penelitian tidak mencantumkan batas minimum *performance* yang diperbolehkan. Oleh karena itu, nilai 100% digunakan sebagai acuan pencapaian kondisi desain dan bukan sebagai batas minimum operasi. Nilai *performance* yang berada di bawah kondisi desain menunjukkan adanya perbedaan antara kemampuan perpindahan panas aktual dan rancangan. Perbedaan tersebut dapat dipengaruhi oleh perubahan kondisi operasi maupun adanya tambahan tahanan perpindahan panas akibat *fouling*.

3.5 Analisis Fouling Factor

Analisis *fouling factor* dilakukan untuk mengetahui perubahan tahanan perpindahan panas yang berkaitan dengan kemungkinan terbentuknya deposit pada permukaan perpindahan

panas. *Fouling* dapat meningkatkan tahanan termal sehingga menghambat proses perpindahan panas dan menyebabkan penurunan nilai *overall heat transfer coefficient* (U) aktual.



Gambar 5. Grafik Perubahan Fouling Factor Heat Exchanger 201-E-010

Berdasarkan hasil perhitungan selama periode pengamatan, setelah mengecualikan data pada kondisi operasi abnormal dengan laju alir MP *Steam* yang sangat rendah, nilai *fouling factor* berada pada rentang −0,00310 hingga 0,05260 m²·K/W, dengan nilai rata-rata sebesar 0,00661 m²·K/W. Perubahan tersebut menunjukkan bahwa tahanan perpindahan panas pada *Heat Exchanger* 201-E-010 tidak konstan selama periode operasi. Nilai *fouling factor* negatif pada beberapa kondisi menunjukkan bahwa nilai U aktual lebih tinggi dibandingkan nilai U desain pada kondisi tersebut sehingga tidak diinterpretasikan sebagai nilai deposit negatif.

Data desain yang digunakan dalam penelitian tidak mencantumkan nilai batas kritis *fouling factor*. Oleh karena itu, evaluasi dilakukan berdasarkan perubahan nilai *fouling factor* selama periode pengamatan dan hubungannya dengan kondisi operasi aktual. Perubahan *fouling factor* juga tidak dapat digunakan sebagai satu-satunya parameter untuk menentukan penyebab penurunan kinerja *heat exchanger*, karena kemampuan perpindahan panas turut dipengaruhi oleh kondisi operasi seperti laju alir MP *Steam*, temperatur fluida, LMTD, dan *heat duty*.

3.6 Pengaruh Laju Alir MP Steam terhadap Kinerja Heat Exchanger

Laju alir MP *Steam* merupakan salah satu parameter operasi yang memengaruhi kinerja *Heat Exchanger* 201-E-010 karena MP *Steam* berfungsi sebagai media pemanas pada sisi *tube*. Perubahan laju alir MP *Steam* memengaruhi jumlah panas yang tersedia selama proses kondensasi sehingga dapat menyebabkan perubahan *heat duty*, nilai *overall heat transfer coefficient* (U) aktual, dan *performance heat exchanger*.

Berdasarkan hasil analisis selama periode pengamatan, perubahan laju alir MP *Steam* menunjukkan kecenderungan hubungan dengan perubahan nilai *fouling factor*. Namun, hubungan tersebut tidak dapat diartikan bahwa peningkatan laju alir MP *Steam* secara langsung mengurangi deposit pada sisi *Light Naphtha*. Hal ini karena MP *Steam* dan *Light Naphtha* mengalir pada sisi yang berbeda, yaitu MP *Steam* pada sisi *tube* dan *Light Naphtha* pada sisi *shell*. Oleh karena itu, perubahan *fouling factor* lebih tepat diinterpretasikan sebagai perubahan tahanan perpindahan panas yang terjadi bersamaan dengan perubahan kondisi operasi.

Selain laju alir MP *Steam*, perubahan *fouling factor* juga dapat dipengaruhi oleh temperatur operasi, kondisi aliran *Light Naphtha*, karakteristik fluida, dan kondisi permukaan

perpindahan panas. Dengan demikian, hasil penelitian ini menunjukkan adanya **kecenderungan hubungan** antara variasi laju alir MP *Steam* dan *fouling factor*, tetapi belum dapat digunakan untuk menyatakan hubungan sebab-akibat langsung terhadap pembentukan atau pengurangan deposit pada sisi *Light Naphtha*.

4. SIMPULAN

1. Heat Exchanger 201-E-010 mengalami perubahan kinerja selama periode operasi berdasarkan parameter *heat duty*, LMTD, *overall heat transfer coefficient* (U), *performance*, dan *fouling factor*. Perubahan tersebut dipengaruhi oleh kondisi operasi aktual, terutama perubahan laju alir MP Steam sebagai media pemanas.
2. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa nilai rata-rata *overall heat transfer coefficient* (U) aktual Heat Exchanger 201-E-010 sebesar 96,15 W/m².K, dengan nilai *performance* rata-rata sebesar 62,03%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kemampuan perpindahan panas aktual masih berada di bawah kondisi desain.
3. Analisis *fouling factor* menunjukkan adanya perubahan tahanan perpindahan panas selama periode pengamatan. Fouling menjadi salah satu faktor yang dapat memengaruhi penurunan kemampuan perpindahan panas, namun perubahan kinerja heat exchanger tidak dapat dikaitkan hanya dengan fouling karena kondisi operasi seperti laju alir steam dan temperatur juga memberikan pengaruh.
4. Perubahan laju alir MP Steam berpengaruh terhadap jumlah panas yang tersedia melalui proses kondensasi sehingga memengaruhi nilai *heat duty* dan kinerja Heat Exchanger 201-E-010. Oleh karena itu, evaluasi berdasarkan data operasi harian diperlukan untuk mengetahui kondisi aktual peralatan dan mempertahankan kinerja heat exchanger.

5. DAFTAR PUSTAKA

[1] S. A. Marzouk, M. M. Abou Al-Sood, E. M. S. El-Said, M. M. Younes, and M. K. El-Fakharany, "A comprehensive review of methods of heat transfer enhancement in shell and tube heat exchangers," *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, vol. 148, pp. 7539–7578, 2023.

[2] D. Q. Kern, *Process Heat Transfer*. Singapore: McGraw-Hill, 1983.

[3] Tubular Exchanger Manufacturers Association (TEMA), *Standards of the Tubular Exchanger Manufacturers Association*, 11th Edition, 2026.

[4] B. T. Lebele-Alawa and I. O. Ohia, "Influence of Fouling on Heat Exchanger Effectiveness in a Polyethylene Plant," *Energy and Power*, vol. 4, no. 2, pp. 29–34, 2014.

[5] B. T. Lebele-Alawa and I. O. Ohia, "Performance Evaluation of Heat Exchangers in a Polyethylene Plant," *International Journal of Engineering and Technology Innovation*, vol. 3, no. 1, pp. 49–57, 2013.

[6] C. Shen, C. Cirone, L. Yang, Y. Jiang, and X. Wang, "Characteristics of fouling development in shell-and-tube heat exchanger: Effects of velocity and installation location," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 77, pp. 439–448, 2014.

[7] E. Diaz-Bejarano, F. Coletti, and S. Macchietto, "Modeling and Prediction of Shell-Side Fouling in Shell-and-Tube Heat Exchangers," *Heat Transfer Engineering*, vol. 40, no. 11, pp. 845–861, 2019.

[8] S. M. Zubair, A. K. Sheikh, M. Younas, and M. O. Budair, "A risk based heat exchanger analysis subject to fouling: Part I: Performance evaluation," *Energy*, vol. 25, no. 5, pp. 427–443, 2000.

[9] D. Butterworth, "Design of shell-and-tube heat exchangers when the fouling depends on local temperature and velocity," *Applied Thermal Engineering*, vol. 22, no. 7, pp. 789–801, 2002.

[10] R. Harche, R. Absi, and A. Mouheb, "Study of the fouling deposit in the heat exchangers of Algiers refinery," *International Journal of Industrial Chemistry*, vol. 5, Article 16, 2014.