

ANALISIS EFISIENSI PERPINDAHAN PANAS PADA GAS COOLER DI FASILITAS PEMISAHAN MIGAS PERUSAHAAN X

Adila Dwi Fauziyyah¹, Alimatun Nashira^{1*}

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 717417
Email: alimatun.nashira@ums.ac.id

Abstrak

Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi keterkaitan antara efisiensi perpindahan panas dengan pressure drop serta variasi temperatur pada sistem gas cooler yang digunakan di fasilitas pemisahan minyak dan gas. Analisis disusun dengan mempertimbangkan kapasitas panas spesifik gas (C_p) yang bergantung pada temperatur, sehingga hasil perhitungan efisiensi lebih representatif terhadap kondisi operasi aktual. Data diperoleh dari catatan operasi harian selama tiga hari dengan interval dua jam, mencakup parameter temperatur dan tekanan gas masuk–keluar, laju alir massa, serta temperatur udara ambien. Perhitungan efisiensi dilakukan dengan membandingkan energi panas masuk dan keluar gas cooler, sedangkan hubungan antarvariabel diuji menggunakan korelasi Pearson. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi penurunan panas aktual berkisar antara 25–59%, dengan rata-rata sebesar 46,79%, lebih rendah dibandingkan nilai desain 71%. Analisis korelasi menunjukkan hubungan positif sangat kuat ($r = 0,9976$) antara perbedaan temperatur (ΔT) dan efisiensi, serta hubungan sangat lemah ($r = 0,1024$) antara pressure drop (ΔP) dan efisiensi. Faktor eksternal seperti kondisi mekanik dan frekuensi perawatan juga berpengaruh signifikan terhadap kinerja alat. Secara keseluruhan, peningkatan stabilitas operasi dan perawatan rutin disarankan untuk meningkatkan efisiensi sistem pendingin gas hingga mendekati nilai desain.

Kata kunci: gas cooler; efisiensi perpindahan panas; pressure drop; perbedaan temperatur

Pendahuluan

Indonesia dikenal sebagai negara dengan kekayaan sumber daya alam yang melimpah dan tersebar di berbagai daerah, seperti hutan, tambang, serta bahan bakar fosil seperti minyak dan gas bumi. Industri minyak dan gas (migas) merupakan sektor penting yang berperan besar dalam menyediakan energi, menciptakan lapangan kerja, serta meningkatkan pendapatan daerah dan negara secara keseluruhan (Hutuba *et al.*, 2024). Hingga saat ini, pasokan energi di Indonesia masih didominasi oleh minyak dan gas bumi, dengan kontribusi mencapai sekitar 80 persen dari total kebutuhan energi nasional. Dengan semakin tingginya eksplorasi dan produksi minyak dan gas bumi di berbagai daerah, aspek efisiensi dalam produksi dan pengelolaan energi menjadi semakin penting untuk mendukung kelangsungan operasi industri (Sulfahmi *et al.*, 2020).

Salah satu upaya efisiensi energi di sektor ini dilakukan melalui peningkatan performa pemrosesan gas, terutama pada tahap pendinginan gas hasil pemisahan. Dalam sistem pemisahan minyak dan gas, *gas cooler* berperan sebagai peralatan penukar panas yang menurunkan temperatur gas hasil separator sebelum memasuki unit pemurnian (Putra *et al.*, 2007). Kinerja alat ini secara langsung memengaruhi efisiensi termal keseluruhan proses pemisahan, di mana perubahan tekanan (*pressure drop*), variasi temperatur, dan nilai kapasitas panas spesifik gas menjadi faktor utama yang menentukan efektivitas pendinginan (Wang *et al.*, 2010).

Dalam praktiknya, kinerja *gas cooler* sering mengalami penurunan akibat *fouling*, ketidakseimbangan laju udara pendingin, serta perubahan temperatur lingkungan. Penurunan performa ini menyebabkan suhu gas keluar tidak mencapai target desain sehingga menurunkan efisiensi keseluruhan sistem pemisahan gas (Afifah dan Ariani, 2024). Beberapa studi juga menunjukkan bahwa faktor *pressure drop* dan variasi kapasitas panas gas turut berkontribusi terhadap penurunan efisiensi pendinginan (Kleszcz, 2022).

Selama ini perusahaan umumnya menganalisis efisiensi pendinginan hanya berdasarkan perbedaan temperatur atau laju alir, dengan mengasumsikan kapasitas panas spesifik gas (C_p) bernilai konstan. Padahal, C_p gas sangat bergantung pada temperatur dan komposisi, sebagaimana dijelaskan dalam *Perry's Chemical Engineers' Handbook* dan *ASHRAE Fundamentals* (2017). Ketidaksesuaian ini dapat menyebabkan hasil estimasi energi tidak akurat dibandingkan kondisi aktual operasi.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efisiensi penurunan panas pada *gas cooler* dengan memperhitungkan kapasitas panas spesifik (C_p) sebagai fungsi temperatur. Analisis dilakukan terhadap hubungan antara ΔT dan efisiensi pendinginan, serta terhadap pengaruh *pressure drop* pada performa alat. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan dasar evaluasi kinerja termal yang lebih akurat dan rekomendasi operasional untuk meningkatkan efisiensi sistem pendingin pada unit pemisahan gas alam.

Metode

Indonesia merupakan salah satu negara dengan aktivitas eksplorasi dan produksi minyak dan gas bumi yang cukup tinggi, di mana berbagai wilayahnya dikelola dalam bentuk blok-blok migas nasional. Menurut data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM, 2023), sektor hulu migas di Indonesia terus beroperasi secara aktif dan memberikan kontribusi signifikan terhadap produksi energi nasional.

Unit yang menjadi objek penelitian merupakan sistem *gas cooler* yang berfungsi untuk menurunkan temperatur gas hasil pemisahan (*separator gas*) sebelum memasuki unit pemurnian (Setiyono dan Nisa, 2023). Sistem ini merupakan bagian dari rangkaian proses pemrosesan gas di fasilitas produksi. Data yang digunakan dalam penelitian dikumpulkan dari catatan operasi harian unit *gas cooler* selama tiga hari operasi, dengan interval pengambilan data setiap dua jam per hari. Analisis difokuskan pada aspek teknis berupa efisiensi perpindahan panas, perubahan tekanan (*pressure drop*), serta karakteristik kapasitas panas spesifik (C_p) gas sebagai fungsi temperatur. Parameter utama yang diamati meliputi temperatur gas masuk dan keluar, tekanan gas masuk dan keluar, laju alir massa gas dan udara pendingin, serta temperatur udara *ambient*. Variabel-variabel ini dipilih karena berpengaruh langsung terhadap proses perpindahan panas dan efisiensi penukar panas (Chalim dan Iswara, 2020).

Metode penelitian ini menggunakan pendekatan analitis dengan tahapan utama berupa perhitungan kapasitas panas spesifik gas (C_p) yang dihitung sebagai fungsi temperatur berdasarkan korelasi polinomial (Yaws, 2015), yaitu:

$$(C_p = A + BT + CT^2 + DT^3 + Et^4) \tag{1}$$

Keterangan:

C_p = Kapasitas panas spesifik (J/mol·K)
 T = Suhu operasi (K)
 A, B, C, D, E = Koefisien empiris (konstanta) hasil regresi terhadap data C_p - T untuk suatu senyawa

Persamaan ini banyak digunakan untuk memperkirakan kapasitas panas gas pada berbagai rentang temperatur karena memberikan akurasi tinggi terhadap data eksperimental. Nilai konstanta $A, B, C, D,$ dan E diperoleh dari *Yaws’ Transport Properties of Chemicals and Hydrocarbons* (2015), yang memuat data termofisika untuk berbagai senyawa penyusun gas alam dan hidrokarbon ringan yang umum dijumpai dalam proses industri minyak dan gas bumi. Kemudian dilanjutkan dengan perhitungan kapasitas panas total dengan rumus sebagai berikut (Hudson Products Corporation, *The Basics of Air-Cooled Heat Exchangers*, 2002):

$$(C = \dot{m} \times C_p) \tag{2}$$

Keterangan:

C = Kapasitas panas total (Btu/h·°F)
 \dot{m} = Laju alir udara (lb/h)
 C_p = Kapasitas panas spesifik (Btu/lb·°F)

Setelah memperoleh nilai C_p dan C , selanjutnya perhitungan rumus efisiensi penurunan panas (η) dihitung dengan membandingkan energi panas yang dilepas gas dengan energi panas masuk, sebagaimana dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$\eta = \frac{((C_p \text{ gas in} \times T \text{ in}) - (C_p \text{ gas out} \times T \text{ out}))}{(C_p \text{ gas in} \times (T \text{ in} - T \text{ amb}))} \times 100\% \tag{3}$$

Keterangan:

η = Efisiensi penurunan panas *gas cooler* (%)
 $C_p \text{ gas in}$ = Kapasitas panas spesifik gas pada kondisi masuk (Btu/lb·°F)
 $C_p \text{ gas out}$ = Kapasitas panas spesifik gas pada kondisi keluar (Btu/lb·°F)
 $T \text{ in}$ = Temperatur gas masuk ke *gas cooler* (°F)
 $T \text{ out}$ = Temperatur gas keluar ke *gas cooler* (°F)
 $T \text{ amb}$ = Temperatur udara ambien atau udara pendingin (°F)

Analisis statistik dilakukan menggunakan korelasi Pearson untuk mengevaluasi hubungan antara perbedaan temperatur (ΔT), penurunan tekanan (ΔP), $T \text{ in}$, $P \text{ in}$, dan efisiensi pendinginan (η). Uji korelasi ini digunakan untuk menentukan kekuatan hubungan linier antara variabel-variabel tersebut, dengan nilai r yang berkisar antara -1 hingga $+1$ (Jabnabillah dan Nur, 2022). Nilai r positif menunjukkan hubungan searah, sedangkan nilai negatif menunjukkan hubungan berlawanan. Perhitungan korelasi dilakukan menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel 2021 dan divisualisasikan dalam bentuk tabel hubungan efisiensi terhadap ΔT dan ΔP untuk memudahkan interpretasi.

Untuk memastikan keakuratan hasil perhitungan, dilakukan validasi data dengan membandingkan efisiensi hasil analisis terhadap data desain alat dengan nilai desain sebesar 71% dan parameter operasi lainnya. Selain itu, hasil efisiensi aktual juga dibandingkan dengan karakteristik performa *air-cooled heat exchanger* pada kondisi operasi lapangan, yang umumnya menunjukkan penurunan efektivitas dibandingkan nilai desain akibat faktor beban panas, kondisi udara ambien, serta keterbatasan laju aliran udara (Chart Industries, n.d.; ASHRAE, 2017). Dengan demikian, nilai efisiensi 25–59% yang diperoleh dalam penelitian ini masih berada dalam kisaran performa yang wajar untuk kondisi operasi aktual, khususnya pada fase *startup*.

Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan pada sistem *gas cooler* di fasilitas pemisahan migas, diperoleh nilai efisiensi penurunan panas yang bervariasi sepanjang waktu operasi. Nilai efisiensi aktual yang diperoleh berada pada kisaran 25-59%, dengan rata-rata sebesar 46,79%. Bila dibandingkan dengan standar efisiensi penukar panas udara yang besarnya 71%, nilai efisiensi rata-rata ini masih lebih rendah. Nilai aktual yang lebih rendah disebabkan oleh kondisi operasi yang masih belum stabil karena unit baru memasuki tahap *startup*, sehingga laju alir gas belum mencapai nilai desain.

Tabel 1. Rata-rata Hasil Perhitungan Efisiensi per Hari.

Hari	ΔP rata-rata (psig)	Standar Deviasi ΔP rata-rata	ΔT rata-rata ($^{\circ}F$)	Standar Deviasi ΔT rata-rata	Efisiensi (%)	Standar Deviasi Efisiensi
1	-0,01	0,29	22,86	11,27	45,22	11,21
2	0,01	0,47	32,53	6,02	48,69	5,64
3	-0,02	0,18	32,25	1,56	46,47	3,05

Dari Tabel 1 terlihat bahwa efisiensi pada hari pertama sebesar 45,22%, tetapi meningkat pada hari kedua sebesar 48,69% dan mengalami penurunan pada hari ketiga sebesar 46,47%. Perbedaan efisiensi antar hari ini dipengaruhi oleh kondisi operasi unit yang pada saat pengambilan data masih berada dalam fase *startup*. Pada fase ini, laju alir gas, temperatur inlet, dan beban panas belum mencapai kondisi tunak sehingga menyebabkan fluktuasi ΔT yang cukup besar. Standar deviasi ΔT rata-rata selama tiga hari pengamatan adalah 4,38 $^{\circ}F$, sedangkan standar deviasi efisiensi total adalah 1,03%. Nilai 4,38 $^{\circ}F$ menunjukkan bahwa variasi ΔT secara keseluruhan selama tiga hari lebih kecil dibandingkan fluktuasi harian, terutama dibandingkan hari pertama yang memiliki standar deviasi tertinggi. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan ΔT selama periode pengamatan masih relatif terkendali jika dilihat dari keseluruhan data, sedangkan nilai 1,03% menunjukkan bahwa perubahan efisiensi selama tiga hari tidak terlalu besar.

Jika ditinjau per hari, standar deviasi ΔT rata-rata dan efisiensi hari pertama menjadi yang paling tinggi, menandakan bahwa kondisi operasi pada hari tersebut belum stabil. Seiring berjalannya operasi, parameter proses mulai menunjukkan kestabilan, yang terlihat dari menurunnya standar deviasi pada hari kedua dan didukung dengan peningkatan ΔT rata-rata serta efisiensi pada hari tersebut. Meskipun demikian, karena unit belum sepenuhnya mencapai kondisi *steady-state*, variasi efisiensi masih muncul pada hari ketiga.

Sebaliknya, standar deviasi ΔP bernilai sangat kecil, yang menunjukkan bahwa perbedaan tekanan antara sisi masuk dan keluar *gas cooler* relatif konstan selama periode operasi. Nilai variasi ΔP yang rendah mengindikasikan bahwa kondisi aliran di dalam *tube* berada dalam keadaan stabil, tanpa adanya perubahan signifikan pada resistansi aliran. Dengan demikian, tidak terdapat indikasi awal *fouling* maupun hambatan aliran yang berarti pada periode tersebut. Stabilitas ΔP ini memperkuat kesimpulan bahwa ΔP bukan merupakan faktor utama penyebab perubahan efisiensi pada data ini.

Nilai standar deviasi yang ditampilkan pada Tabel 1 memberikan gambaran mengenai tingkat kestabilan operasi *gas cooler* selama pengamatan. ΔT menjadi variabel dengan fluktuasi paling besar, sehingga sangat memengaruhi perubahan efisiensi. Kondisi ini terjadi karena proses perpindahan panas belum sepenuhnya stabil dan sebagian parameter operasi masih belum mencapai nilai operasi normal maupun nilai desain. Perbandingan antara kondisi aktual dengan kondisi desain dan operasi normal dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. Data Kondisi Desain, Operasi, dan Nilai Aktual *Gas Cooler*.

Parameter	Nilai Desain	Nilai Operasi Normal	Nilai Aktual Rata-rata
Kapasitas	19 MMscfd	19 MMscfd	3 MMscfd
Tekanan (psig)	900 psig	550 psig	134 psig
Temperatur ($^{\circ}F$)	32 $^{\circ}F$ (min) – 220 $^{\circ}F$ (maks)	160 $^{\circ}F$ (in) – 120 $^{\circ}F$ (out)	147 $^{\circ}F$ (in) – 118 $^{\circ}F$ (out)
Efisiensi <i>Gas Cooler</i>	71%	71%	25 – 59%
<i>Process Duty</i>	1.319 MMBtu/hr	1.319 MMBtu/hr	–
Konfigurasi Motor <i>Fin Fan</i>	2 x 100% (1 <i>running</i> , 1 <i>standby</i>)	Sama seperti desain	Sama seperti desain

Meskipun analisis standar deviasi menggambarkan kestabilan operasi secara keseluruhan selama tiga hari, pola perubahan ΔP , ΔT , dan efisiensi yang diamati pada masing-masing hari menunjukkan kecenderungan yang

konsisten, yaitu meningkat ketika kondisi mendekati *steady-state* dan menurun saat terjadi ketidakstabilan proses. Pola ini sejalan dengan temuan beberapa studi sebelumnya, termasuk penelitian Ni'mah *et al.*, (2023) yang mengevaluasi kinerja *air-cooled heat exchanger* (ACHE) pada fasilitas pemisahan gas. Studi tersebut melaporkan bahwa efisiensi aktual rata-rata unit ACHE hanya mencapai sekitar 49,01%, meskipun alat masih relatif baru dan belum menunjukkan indikasi *fouling* berat berdasarkan nilai *pressure drop* yang stabil. Perbedaan antara efisiensi desain dan efisiensi aktual pada studi tersebut terutama disebabkan oleh ketidakstabilan temperatur inlet–outlet, variasi laju alir udara pendingin, serta kondisi operasi yang belum mencapai *steady-state*. Kondisi ini selaras dengan hasil penelitian ini, di mana efisiensi aktual *gas cooler* berada pada kisaran 25–59% dengan rata-rata sekitar 42%, sementara ΔP cenderung stabil sehingga tidak mengindikasikan *fouling* signifikan. Dengan demikian, data perbandingan tersebut memperkuat bahwa rendahnya efisiensi pada fase awal operasi merupakan fenomena umum pada *air-cooled heat exchanger*, dan lebih banyak dipengaruhi oleh dinamika termal dan kondisi operasi awal dibandingkan degradasi mekanik maupun *fouling*.

Untuk menilai hubungan antara parameter operasi dan efisiensi *gas cooler*, dilakukan analisis korelasi Pearson antara ΔT , ΔP , T inlet, dan P inlet terhadap efisiensi. Analisis ini difokuskan pada data operasi hari kedua dikarenakan pada hari tersebut fluktuasi ΔT dan ΔP sudah mulai berkurang dibandingkan hari pertama, sehingga data lebih representatif untuk menggambarkan pola hubungan antarvariabel.

Tabel 3. Data Operasi *Gas Cooler* pada Hari Kedua.

Waktu	T in (°F)	T out (°F)	ΔT (°F)	P in (psig)	P out (psig)	ΔP (psig)	Efisiensi (%)
08:00	145,55	118,00	27,55	142,40	143,10	-0,70	46
10:00	152,60	119,45	33,15	132,00	132,45	-0,45	50
12:00	158,45	115,75	42,70	132,25	132,00	0,25	59
14:00	158,45	122,65	35,80	132,40	132,10	0,30	50
16:00	148,90	120,25	28,65	133,00	132,80	0,20	45
18:00	149,05	121,70	27,35	133,90	133,45	0,45	43

Data operasi hari kedua diperoleh dengan interval pengukuran setiap dua jam, sehingga menghasilkan rangkaian data temperatur dan tekanan yang cukup representatif untuk menggambarkan kestabilan sistem. Parameter seperti ΔT , ΔP , dan efisiensi kemudian dihitung pada setiap titik waktu dan disajikan dalam Tabel 3. Selain itu, pada jam 12:00 terlihat bahwa temperatur inlet mencapai nilai tertinggi 158,45 °F, namun temperatur outlet justru turun menjadi 115,75 °F, yaitu salah satu nilai outlet terendah pada hari tersebut. Kondisi ini tidak menunjukkan anomali, melainkan merupakan respons normal sistem penukar panas terhadap peningkatan beban panas masuk. Semakin tinggi temperatur inlet, semakin besar *driving force* perpindahan panas antara gas panas dan udara pendingin, sehingga laju perpindahan panas meningkat dan temperatur outlet menjadi lebih rendah. Peningkatan temperatur fluida masuk secara langsung meningkatkan intensitas perpindahan panas selama aliran udara pendingin tetap stabil (Rozi dan I Made, 2021). Selanjutnya, untuk mengevaluasi hubungan linier antara variabel-variabel tersebut, dilakukan analisis korelasi Pearson. Hasil perhitungan korelasi antara ΔT , ΔP , T in, P in terhadap efisiensi ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 4. Hasil Analisis Korelasi Pearson pada Hari Kedua.

Variabel	Koefisien Korelasi	Keterangan
ΔP vs Efisiensi	0,1024	Hubungan sangat lemah
ΔT vs Efisiensi	0,9976	Hubungan positif sangat kuat
P inlet vs Efisiensi	0,9921	Hubungan positif sangat kuat
T inlet vs Efisiensi	0,9961	Hubungan positif sangat kuat

Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 4, nilai koefisien korelasi Pearson menunjukkan bahwa ΔT merupakan variabel yang paling berpengaruh terhadap efisiensi, dengan nilai $r = 0,9976$. Korelasi positif sangat kuat ini menegaskan bahwa semakin besar selisih temperatur antara gas masuk dan keluar, semakin besar pula energi panas yang dapat dilepas, sehingga efisiensi meningkat. Temuan ini konsisten dengan prinsip perpindahan panas bahwa *thermal driving force* meningkat seiring bertambahnya perbedaan temperatur (Susastriawan *et al.*, 2022).

Pada variabel lain, T inlet dan P inlet juga memperlihatkan hubungan positif yang sangat kuat terhadap efisiensi, masing-masing dengan koefisien r sebesar 0,9961 dan 0,9921. Hal ini menunjukkan bahwa ketika temperatur dan tekanan gas masuk meningkat, efisiensi cenderung ikut meningkat pula. Peningkatan T inlet memberikan *driving force* yang lebih besar bagi perpindahan panas, sedangkan peningkatan P inlet umumnya meningkatkan densitas gas sehingga kapasitas panas fluida meningkat. Dengan demikian, naiknya T inlet dan P inlet berasosiasi dengan meningkatnya efektivitas pendinginan, meskipun hubungan ini bersifat statistik dan tidak selalu menunjukkan hubungan sebab-akibat langsung.

Berbeda dengan variabel lain, nilai korelasi ΔP tergolong sangat lemah yaitu ($r = 0,1024$). Meskipun nilainya sedikit lebih besar dibandingkan korelasi mendekati nol, hubungan antara *pressure drop* dan efisiensi tetap tidak signifikan pada kondisi operasi yang diamati. Dengan demikian, perubahan ΔP yang relatif kecil pada data ini tidak cukup besar untuk memengaruhi performa perpindahan panas. Kondisi ini dapat dipahami karena nilai ΔP pada hari

kedua sangat stabil dan berada pada rentang yang sempit, sehingga tidak menunjukkan indikasi fouling maupun hambatan aliran di dalam tube. Secara keseluruhan, pola korelasi menunjukkan bahwa efisiensi *gas cooler* lebih dipengaruhi oleh faktor temperatur (ΔT dan T inlet) dan hampir tidak dipengaruhi oleh ΔP . Kondisi ini menegaskan bahwa kestabilan temperatur operasi menjadi faktor kunci dalam menjaga performa perpindahan panas pada sistem *air-cooled heat exchanger*.

Dari sisi eksternal, efisiensi sistem juga sangat dipengaruhi oleh kondisi alat dan frekuensi perawatan (*maintenance*). Berdasarkan observasi lapangan, kegiatan pemeliharaan rutin dilakukan secara periodik, terutama pada sistem transmisi daya pendingin seperti *belt* dan motor kipas. Sebelum unit dijalankan, *belt* diberi pelumasan (*grease*) untuk mengurangi gesekan dan memastikan putaran kipas stabil. Komponen motor dan kipas juga dicek dari kemungkinan adanya getaran atau *abnormal noise* yang dapat menjadi tanda awal penurunan performa mekanik. Berdasarkan wawancara dengan operator, pemeriksaan rutin umumnya dilakukan setiap satu bulan sekali, sedangkan pemeriksaan menyeluruh pada sistem penggerak dilakukan berdasarkan jam operasi (*running hours*) alat. Sistem *gas cooler* digerakkan oleh motor listrik yang dirancang untuk bekerja secara kontinu pada kondisi beban panas tinggi. Dalam kondisi tersebut, pemeliharaan *belt* menjadi faktor penting, karena kelonggaran atau keausan *belt* dapat menurunkan kecepatan putar kipas, debit udara pendingin, dan efisiensi perpindahan panas. Demikian pula, jika motor menunjukkan indikasi keausan *bearing* atau *misalignment*, maka energi mekanik tidak tersalurkan optimal, yang pada akhirnya menurunkan performa keseluruhan alat (Sagala *et al.*, 2025). *Gas cooler* yang digunakan merupakan unit baru dengan umur operasi sekitar satu tahun, sehingga berdasarkan karakteristik umum mekanisme kegagalan pada *heat exchanger* dan *rotating equipment*, tingkat keausan komponen seperti *belt*, *bearing*, dan elemen struktur pada fase awal operasi umumnya masih rendah selama tidak terjadi beban termal atau mekanik yang berlebihan. Hal ini sejalan dengan temuan dalam tinjauan kegagalan penukar panas yang menyatakan bahwa *wear*, *fatigue*, dan korosi biasanya berkembang secara bertahap dalam periode operasi yang lebih panjang (Ali *et al.*, 2020). Dengan demikian, potensi penurunan performa akibat *wear* maupun *fouling* awal relatif kecil pada tahun pertama operasi. Oleh karena itu, pendekatan berbasis kondisi *Condition-Based Maintenance* (CBM), yang melibatkan inspeksi yang bergantung pada parameter aktual seperti ketegangan *belt*, vibrasi, dan suara abnormal, adalah strategi pemeliharaan yang lebih tepat. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip *Reliability-Centered Maintenance* (RCM), yang menekankan bahwa interval perawatan disesuaikan dengan kondisi teknis peralatan, bukan hanya umur operasinya (Moubray, 1997).

Secara keseluruhan, hasil analisis menunjukkan bahwa berbagai kondisi operasi dan faktor eksternal, seperti kondisi fisik dan perawatan sistem pendingin, berkontribusi pada penurunan efisiensi *gas cooler*. Oleh karena itu, untuk mempertahankan kinerja alat mendekati efisiensi desain, perawatan pencegahan seperti pengecekan *belt tension*, pelumasan rutin, dan pemantauan getaran motor harus dilakukan secara teratur. Dengan mengendalikan faktor internal dan eksternal secara bersamaan, efisiensi alat dapat meningkat hingga mendekati nilai standar desain sebesar 71%.

Selain aspek pemeliharaan, peningkatan kinerja juga dapat dicapai melalui pengendalian parameter operasi yang lebih stabil, khususnya temperatur dan tekanan gas masuk. Menjaga kondisi temperatur masuk agar tetap berada pada rentang optimal akan meminimalkan perbedaan temperatur (ΔT) yang terlalu besar antara fluida panas dan udara pendingin, sehingga proses perpindahan panas dapat berlangsung lebih efektif. Pengendalian tekanan secara tepat juga diperlukan untuk menghindari *pressure drop* berlebih yang dapat menurunkan laju aliran dan performa perpindahan panas.

Untuk mendukung efektivitas pengendalian tersebut, disarankan penerapan sistem pemantauan dan kontrol berbasis data *real-time* sehingga variasi beban operasi dapat direspons secara cepat dan terukur. Dengan demikian, kondisi operasional *gas cooler* dapat dipertahankan dalam kisaran optimal sesuai kebutuhan proses dan karakteristik beban aktual, sehingga kinerja perpindahan panas dan efisiensi keseluruhan sistem tetap stabil.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis kinerja *gas cooler* pada fasilitas pemisahan minyak dan gas, diperoleh bahwa efisiensi perpindahan panas aktual pada periode *startup* berada pada kisaran 25–59%, atau sekitar 20–30% di bawah nilai desain sebesar 71%. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem belum mencapai performa optimal akibat parameter operasi yang belum sepenuhnya stabil. Hasil korelasi Pearson mengonfirmasi bahwa variabel temperatur, khususnya ΔT dan temperatur inlet, memiliki hubungan positif sangat kuat terhadap efisiensi sehingga peningkatan perbedaan atau temperatur masuk cenderung meningkatkan efektivitas perpindahan panas. Sementara itu, ΔP menunjukkan korelasi sangat lemah, sehingga dapat disimpulkan bahwa *pressure drop* tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap efisiensi pada kondisi operasi yang diamati.

Dari aspek eksternal, performa *gas cooler* dipengaruhi oleh kondisi mekanik dan pemeliharaan rutin pada komponen pendukung seperti *belt*, motor kipas, dan sistem transmisi. Perawatan berkala berupa pelumasan, pengecekan getaran, serta inspeksi ketegangan *belt* berperan penting dalam menjaga stabilitas operasi dan laju aliran udara pendingin. Secara keseluruhan, kinerja *gas cooler* masih berada dalam batas yang dapat diterima, tetapi peningkatan kontrol temperatur operasi dan konsistensi perawatan preventif diperlukan agar efisiensi dapat

mendekati nilai desain. Penelitian selanjutnya disarankan difokuskan pada evaluasi metode pengendalian temperatur serta efektivitas strategi perawatan yang paling relevan untuk menjaga kestabilan kinerja unit pendingin di lapangan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada pihak perusahaan pengelola fasilitas pemisahan minyak dan gas yang telah memberikan kesempatan dan dukungan data operasional. Terimakasih pula kepada pembimbing lapangan Ricky Fredinansyah, Syarief Basyarahil, dan M. Faiz Ikhsan, serta rekan-rekan kerja yang telah membantu melalui diskusi maupun dukungan teknis selama proses pengolahan data.

Daftar Pustaka

- Afifah, I. and Ariani, A. (2024). “Pengaruh Penurunan Suhu Gas Alam di dalam Cooler Terhadap Kemampuan Penyerapan Gas H₂s Pada Unit Acid Gas Removal”. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 10(3), 526–531.
- Ali, M., Ul-Hamid, A., Alhems, L. M., & Saeed, A. (2020). “Review of Common Failures in Heat Exchangers – Part I: Mechanical and Elevated Temperature Failures”. *Engineering Failure Analysis*, 109, 104396.
- ASHRAE. (2017). “*ASHRAE Handbook: Fundamentals (SI Edition)*”. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta.
- Chalim, A. & Iswara, M. A. I. (2020). “Penentuan Number Transfer Unit Sistem Fluida Dietilen Glikol–Metanol dalam Evaluasi Efisiensi Penukar Panas Shell and Tube 1-1”. *Jurnal Teknik Ilmu dan Aplikasi*, 1(1), 73–86.
- Hudson Products Corporation. (2002). “*The Basics of Air-Cooled Heat Exchangers*”. Houston: Hudson Products Corporation.
- Hutuba, S. A. A. S. H., Zainuri, A., & Hutagalung, R. (2024). “Karakteristik Endapan Nikel Laterit Pada Blok X Deposit Desa Watumbhoti, Kecamatan Palangga Selatan, Kabupaten Konawe Selatan Provinsi Sulawesi Tenggara”. *Jurnal Intelek dan Cendekiawan Nusantara*, 1(5), 7980–7993.
- Jabnabillah, F. & Margina, N. (2022). “Analisis Korelasi Pearson dalam Menentukan Hubungan Antara Motivasi Belajar dengan Kemandirian Belajar pada Pembelajaran Daring”. *Jurnal Sintak*, 1(1), 14–18.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM). (2023). “*Statistik Minyak dan Gas Bumi Indonesia 2023*”. Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi, Jakarta.
- Kleszcz, S. (2022). “An Experimental Investigation of the Thermal Efficiency and Pressure Drop for Counterflow Heat Exchangers Intended for Recuperator”. *EPJ Web of Conferences*, 249, 01027.
- Moubray, J. (1997). “*Reliability-centered maintenance* (2nd ed.)”. Butterworth-Heinemann.
- Ni'mah, K.P., Fitriah, F. and Sari, D.A. (2023) “Performance of an Air-Cooled Heat Exchanger in a Separation Unit Based on Fouling Factor and Pressure Drop”, *Rekabuana*, 5(3), pp. 493–500.
- Perry, R. H., & Green, D. W. (2008). “*Perry's Chemical Engineers' Handbook* (8th Ed.)”. McGraw-Hill, New York.
- Putra, N., Nasruddin, Agus L. M. Sinaga, & Handi Chandra. (2007). “Sistem Air Conditioner Water Heater Dengan Tiga Alat Penukar Kalor Tipe Koil Disusun Seri”. Jurusan Teknik Mesin, Universitas Syiah Kuala.
- Rozi, F. and Arsana, M., 2021. “Pengaruh Temperatur terhadap Efektivitas Perpindahan Panas menggunakan Nanofluida CuO–Air pada Shell and Tube Heat Exchanger”. *Jurnal Teknik Mesin*, 9(02), pp.81-88.
- Sagala, A. I. & Arief, L. (2025). “Analisis Penyebab Terjadinya Keausan Main Bearing Motor Induk KM. PUL MANDIRI”. *Jurnal Penelitian Samudra*, 3(1). ISSN 3031-7258.
- Setiyono, A. & Nisa, Y. A. K. (2023). “Evaluasi Kinerja Fin-Fan Cooler E-0101 di Gas Separation Unit Central Processing Plant Gundih”. *Petro: Jurnal Ilmiah Teknik Perminyakan*, 12(3), 174–182.
- Sulfahmi, P., Asmiani, N., & Thamsi, A. B. (2020). “Analisis Manfaat Sektor Pertambangan Terhadap Perekonomian Kab. Luwu Timur Menggunakan Metode Location Quotient dan Analisis Shift-Share”. *Jurnal GEOSAPTA*, 6(2), 81–84.
- Susastriawan, A. A. P., Sudarsono, S., & Badrawada, I. (2022). “*Perpindahan Kalor Dasar*”.
- Wang, Q. W., Chen, G. D., Xu, J., & Ji, Y. P. (2010). “Second Law Thermodynamic Comparison and Maximal Velocity Ratio Design of Shell and Tube Heat Exchangers with Continuous Helical Baffles”. *Journal of Heat Transfer*, 132(10), 101801–10180.
- Yaws, C. L. (2015). “*Transport Properties of Chemicals and Hydrocarbons*”. Elsevier, Houston.