

EVALUASI KINERJA FURNACE DITINJAU DARI EFISIENSI THERMAL PADA HIGH VACUUM UNIT CRUDE DISTILLER & LIGHT ENDS DI INDUSTRI KILANG MINYAK**Rizza Fadillah Fitri^{1*}, Novia Novia¹, Nadia Nadia¹, Amrina Dwi Pratiwi¹**¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

Jl. Raya Palembang - Prabumulih No.KM. 32, Indralaya Indah, Kec. Indralaya, Kabupaten Ogan Ilir, Sumatera Selatan 30862.

*Email: rizzafadillah@ft.unsri.ac.id

*Corresponding Author

Abstrak

Proses utama kilang minyak terbagi menjadi *primary process* (Crude Distiller Unit dan Gas Plant) serta *secondary process* (HVU, RFCCU, dan LEU), di mana furnace pada HVU berfungsi memanaskan umpan sebelum distilasi vakum. Perpindahan panas dalam furnace terjadi melalui mekanisme radiasi dan konveksi, di mana sekitar 70% beban panas diserap di area radiasi dan 30% di area konveksi. Evaluasi kinerja furnace dilakukan dengan menganalisis data operasi periode 18 Juni–17 Juli 2025 menggunakan metode neraca massa dan energi. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa efisiensi aktual tertinggi furnace dicapai pada 18 Juni 2025 sebesar 87,72%, lebih tinggi dibandingkan dengan efisiensi desain sebesar 85%. Variasi nilai efisiensi ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain kadar O_2 excess, laju alir bahan bakar, temperatur akhir feed, serta besarnya heat loss yang terbawa flue gas. Kehilangan panas yang signifikan dapat menurunkan efisiensi furnace, sehingga diperlukan upaya pemeliharaan rutin terutama pada Air Preheater (APH) agar pemanfaatan panas flue gas lebih optimal sebelum gas buang dilepaskan ke lingkungan.

Kata kunci: Efisiensi Thermal, Furnace, High Vacuum Unit, Heat Loss, O_2 Excess**Abstract**

The main processes in an oil refinery are divided into primary processes (Crude Distillation Unit and Gas Plant) and secondary processes (HVU, RFCCU, and LEU), in which the HVU furnace heats the feed prior to vacuum distillation. Heat transfer within the furnace occurs via radiation and convection, with approximately 70% of the heat load absorbed in the radiant section and 30% in the convective section. The furnace performance evaluation was conducted by analyzing operational data from June 18 to July 17, 2025, using mass and energy balance methods. The calculation results indicate that the highest actual furnace efficiency was achieved on June 18, 2025, at 87.72%, exceeding the design efficiency of 85%. Variations in efficiency are influenced by several factors, including excess O_2 levels, fuel flow rate, final feed temperature, and the magnitude of heat loss in the flue gas. Significant heat losses can reduce furnace efficiency; therefore, routine maintenance is required, particularly on the Air Preheater (APH), to optimize the utilization of flue gas heat before it is released into the environment.

Keywords: Thermal Efficiency, Furnace, High Vacuum Unit, Heat Loss, Excess O_2 **1. PENDAHULUAN**

Industri minyak dan gas bumi (migas) merupakan sektor strategis yang memiliki kontribusi besar dalam mendukung pertumbuhan ekonomi, penyediaan energi, dan pembangunan nasional. Kegiatan pengolahan minyak mentah (*crude oil*) menjadi produk-produk bernilai tinggi seperti bahan bakar minyak (BBM), bahan bakar khusus (BBK), serta produk petrokimia membutuhkan serangkaian proses yang kompleks dan efisien. Dalam sistem pengolahan ini, efisiensi energi menjadi aspek penting karena berhubungan langsung dengan biaya operasional,

keberlanjutan energi, serta dampak lingkungan yang ditimbulkan (Fattahi et al., 2024).

Kilang terdiri dari beberapa unit proses utama, baik primer maupun sekunder, yang saling terintegrasi untuk menghasilkan berbagai produk. Salah satu unit penting adalah *High Vacuum Unit* (HVU) yang berfungsi memisahkan fraksi-fraksi minyak berat (*long residue*) menjadi produk bernilai ekonomi lebih tinggi, seperti vacuum gas oil (VGO) dan vacuum residue (Jacas-Portuondo et al., 2025).

High Vacuum Unit (HVU) merupakan bagian dari *Crude Distiller & Light Ends* (CD&L) yang berfungsi memisahkan fraksi

minyak bumi bertitik didih tinggi melalui proses distilasi vakum. *Furnace* sebagai pemanas utama memiliki peranan penting untuk menaikkan temperatur umpan hingga 340–360 °C sebelum masuk ke kolom distilasi. Kinerja *furnace* yang optimal menjadi kunci dalam menjaga mutu produk sekaligus menekan konsumsi energi (Tahdidi et al., 2022; Jacas-Portuondo et al., 2025).

Namun demikian, tingginya konsumsi energi pada *furnace* menuntut adanya evaluasi efisiensi secara berkala. Efisiensi termal *furnace* dipengaruhi oleh proses pembakaran, suplai udara, kondisi burner, serta faktor heat loss (Shahab & Faisal, 2023; Fattahi et al., 2024). Evaluasi aktual perlu dilakukan untuk memastikan kinerja *furnace* sesuai dengan desain serta mendukung penghematan energi pada kilang minyak. Keberhasilan proses distilasi vakum pada HVU II sangat dipengaruhi oleh kinerja *furnace*, yang berperan memanaskan feed hingga mencapai temperatur yang sesuai sebelum memasuki kolom distilasi. Dalam mekanisme kerjanya, *furnace* memanfaatkan perpindahan panas melalui radiasi dan konveksi, di mana sekitar 70% panas diserap pada area radiasi dan 30% pada area konveksi (McCabe et al., 2005).

Efisiensi *furnace* ditentukan oleh kemampuan sistem dalam mengonversi energi bahan bakar menjadi energi panas yang dapat dimanfaatkan untuk pemanasan *feed*. Namun, dalam pengoperasiannya, *furnace* tidak selalu bekerja pada kondisi efisiensi desain. Beberapa faktor seperti kadar O_2 excess dalam *flue gas*, laju alir bahan bakar, temperatur *feed* keluaran, serta besarnya *heat loss* yang terbawa oleh *flue gas* sangat berpengaruh terhadap efisiensi aktual (Sugiharto, 2020; Shen et al., 2023). Kehilangan panas yang besar, misalnya pada *flue gas* dengan temperatur tinggi yang tidak termanfaatkan, akan menurunkan kinerja *furnace* dan berdampak pada pemborosan energi (Shahab & Faisal, 2023). Oleh karena itu, evaluasi efisiensi *furnace* diperlukan untuk mengetahui seberapa jauh perbedaan antara kinerja aktual dan desain, sekaligus mengidentifikasi langkah perbaikan yang dapat dilakukan.

Selain berdampak pada aspek teknis, efisiensi *furnace* juga berimplikasi terhadap aspek ekonomi dan lingkungan. *Furnace* dengan efisiensi rendah mengonsumsi bahan bakar lebih banyak, sehingga meningkatkan biaya produksi. Di sisi lain, pembakaran yang

tidak optimal berpotensi menghasilkan emisi gas buang yang lebih tinggi, sehingga berdampak terhadap pencemaran udara dan isu keberlanjutan energi (Angelina et al., 2021; Yentumi et al., 2022). Dengan demikian, peningkatan efisiensi *furnace* menjadi salah satu strategi penting dalam mendukung operasional kilang yang berkelanjutan, sejalan dengan kebijakan pemerintah Indonesia dalam pengelolaan energi yang lebih ramah lingkungan.

Sejalan dengan permasalahan tersebut, studi ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja *furnace* dengan menghitung efisiensi termal aktual berdasarkan data operasi dan membandingkannya dengan efisiensi desain. Selain itu, ini juga bertujuan untuk mengidentifikasi faktor dominan yang memengaruhi efisiensi *furnace*, sekaligus merumuskan rekomendasi teknis yang dapat digunakan dalam upaya peningkatan kinerja operasi pada unit HVU (Hougen et al., 1959).

Hasil kajian diharapkan memberikan manfaat baik dari sisi akademis maupun praktis. Bagi mahasiswa dan akademisi, kajian ini dapat menjadi sarana penerapan ilmu teknik kimia ke dalam kondisi nyata industri serta menambah referensi dalam bidang optimasi efisiensi peralatan proses. Bagi perusahaan, hasil kajian ini dapat memberikan masukan dalam meningkatkan kinerja *furnace*, menekan konsumsi bahan bakar, serta mengurangi potensi pemborosan energi. Lebih jauh lagi, peningkatan efisiensi *furnace* akan berimplikasi pada pengurangan emisi gas buang sehingga mendukung penerapan prinsip keberlanjutan energi dan ramah lingkungan (Atta et al., 2024).

2. METODE

Data diambil di lapangan selama periode 18 Juni–17 Juli 2025. Data yang digunakan berupa laju alir fuel gas dan fuel oil, *coil inlet temperature* (CIT), *coil outlet temperature* (COT), temperatur *flue gas*, kadar O_2 excess, dan *heat loss*. Metode analisis menggunakan perhitungan neraca massa dan neraca panas pada *Furnace*. Efisiensi termal dihitung dengan metode tidak langsung berdasarkan persamaan Hougen (1959), dengan membandingkan energi yang termanfaatkan terhadap energi total dari bahan bakar.

2.1. Tahap Pengumpulan Data

Data yang digunakan untuk perhitungan efisiensi kinerja *Furnace* adalah laju alir *fuel gas*, temperatur *inlet fuel gas*, tekanan *fuel gas*, laju alir *fuel oil*, temperatur *inlet fuel oil*, tekanan *fuel oil*, laju alir *feed*, *coil inlet temperature*, *coil outlet temperature*, *specific gravity*, temperatur *stack*, temperatur dinding *furnace*, temperatur udara pembakaran, dan O_2 *excess*.

2.2. Tahap Pengolahan Data

2.2.1. Neraca Massa Aktual *Furnace*

Input

Laju alir massa <i>feed</i>	$m \frac{\text{ton}}{\text{hari}} \times \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}} \times 1 \text{ Jam} \quad (1)$
Laju alir massa <i>fuel gas</i>	$m \frac{\text{ton}}{\text{hari}} \times \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}} \times 1 \text{ Jam} \quad (2)$
BM Campuran	% mol komponen x BM komponen (3)
mol total	$n_{\text{Total}} = \frac{m_{\text{fuel gas}}}{\text{BM campuran}} \quad (4)$
mol komponen (n_k)	$\begin{aligned} \%n &= \%v \\ \frac{n_k}{n_t} &= \frac{v_k}{v_t} \\ n_k &= \frac{v_k}{v_t} \times n_t \end{aligned} \quad (5)$
Massa Komponen	mol komponen x berat molekul komponen (6)
O_2 teoritis	Total Mol O_2 Teoritis Reaksi Pembakaran pada <i>Fuel gas</i> + Total Mol O_2 Teoritis Reaksi Pembakaran pada <i>Fuel Oil</i> (7)
O_2 Suplai	$(100 + O_2 \text{ excess})\% \times O_2 \text{ Teoritis} \quad (8)$
N_2 dari udara	$\begin{aligned} \%n &= \%v \\ \frac{n_k}{n_t} &= \frac{v_k}{v_t} \\ n_k &= \frac{v_k}{v_t} \times n_t \end{aligned} \quad (9)$
udara suplai	$\begin{aligned} \%n &= \%v \\ \frac{n_k}{n_t} &= \frac{v_k}{v_t} \\ n_k &= \frac{v_k}{v_t} \times n_t \end{aligned} \quad (10)$

Output

Laju alir massa <i>feed out</i>	$m \frac{\text{ton}}{\text{hari}} \times \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}} \times 1 \text{ Jam} \quad (11)$
O_2 total output <i>stack</i>	O_2 Sisa reaksi pembakaran + O_2 dalam <i>fuel gas</i> = (O_2 Supply- O_2 Teoritis) + O_2 dalam <i>fuel gas</i> (12)
N_2 total output <i>stack</i>	N_2 dari udara + N_2 dalam <i>fuel gas</i> (13)
CO_2 output <i>stack</i>	CO_2 dalam <i>fuel gas</i> + CO_2 hasil pembakaran (14)
H_2O output <i>stack</i>	H_2O pembakaran <i>fuel gas</i> + H_2O pembakaran <i>fuel oil</i> (15)
SO_2 output <i>stack</i>	$n \text{ } SO_2 \times \text{mol S} \quad (16)$

Neraca Massa Aktual *Furnace*

Input

panas sensibel <i>feed</i> masuk <i>furnace</i>	$m \times C_p \times (T_{\text{masuk}} - T_{\text{basis}})$ (17)
kalor sensibel <i>fuel oil</i>	$M \times C_p \times (T_{\text{masuk}} - T_{\text{basis}})$ (18)
panas pembakaran <i>fuel oil</i>	$m \times \text{LHV}$ (19)
kalor sensibel <i>fuel gas</i>	$n \times C_p \times (T_{\text{masuk}} - T_{\text{basis}})$ (20)
kalor pembakaran <i>fuel gas</i>	$V \times \text{NHV}$ (21)
Kalor sensibel udara pembakaran	$n \times C_p \times (T_{\text{masuk}} - T_{\text{basis}})$ (22)
kalor sensible H ₂ O dalam Udara Pembakaran	$MA \times C_p \times (T_{\text{udara}} - T_{\text{basis}})$ (23)

Output

kalor sensibel <i>feed</i> keluar	$m \times C_p \times (T_{\text{masuk}} - T_{\text{basis}})$ (24)
kalor terbawa <i>flue gas</i>	$n \times C_p \times (T_{\text{stack}} - T_{\text{ambient}})$ (25)
panas hilang melalui dinding <i>furnace</i>	$Q_{\text{konveksi}} + Q_{\text{radiasi}}$ (26)
panas hilang tidak terdeteksi (<i>heat loss</i>)	Total $Q_{\text{in}} - (Q_8 + Q_9 + Q_{10})$ (27)
Efisiensi Termal	$(\text{Panas yang termanfaatkan} / \text{Panas yang tersedia}) \times 100\%$ (28)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Feed yang digunakan adalah *long residue* dari CD II, III, dan IV (centum) yang langsung dimasukkan ke dalam *hot feed drum*. Kemudian *feed* yang berasal dari CD V dikirim ke *box cooler* terlebih dahulu sebelum dimasukkan ke dalam *hot feed drum*. Proses selanjutnya diawali dengan memanaskan umpan menggunakan *heat exchanger* (sebagai *pre-heater*), lalu dipanaskan lagi di dalam *furnace*. *Heat exchanger* yang digunakan sebagai *pre-heater* ialah (*HVGO exchanger*), (*MVGO exchanger*), (*vacuum residue exchanger*) dan (*vacuum residue exchanger*). Susunan *heat exchanger* tersebut diharapkan bisa menyediakan *feed* untuk *furnace* dengan temperatur *inlet* sebesar 262°C–270°C, juga untuk mengurangi konsumsi energi pendinginan produk HVU itu sendiri.

Feed untuk proses *pre-heater* tersebut dipanaskan lagi di dalam *furnace* dengan tujuan suhu umpan dapat naik menjadi 340 – 360°C sebelum dialirkan ke dalam kolom

distilasi vakum. *Furnace* HVU memakai dua jenis bahan bakar (*dual fuel*), yaitu *fuel oil* yang berasal dari *long residue* dan bahan bakar *fuel gas* yang berasal dari *dry gas* (unit RFCC = *Riser Fluidized Catalytic Cracking*) dan *mix gas*. *Fuel oil* yang dipakai untuk bahan bakar *furnace* harus disuplai dengan *steam atomizing* yang merupakan *medium-pressure steam* yang berasal dari unit utilitas. Tujuan dalam pemakaian *steam atomizing* adalah untuk atomisasi atau pengkabutan molekul-molekul yang terkandung pada *fuel oil* tersebut (Atta et al., 2024). Dengan demikian, *fuel oil* yang masuk ke ruang pembakaran *furnace* telah menjadi gas yang siap digunakan sebagai bahan bakar.

Furnace mempunyai sistem *balanced draft*. Sistem *balanced draft* yang digunakan adalah perpaduan antara sistem *Forced Draft Fan* (FDF), *Induced Draft Fan* (IDF), dan *Air Pre-heater* (APH) yang berhubungan dengan udara buang dan udara pembakaran. *Induced Draft Fan* (IDF) berfungsi sebagai media penarik *flue gas* yang dihasilkan dari operasi pembakaran pada *furnace* yang bertujuan untuk menurunkan suhu *flue gas* yang akan dikeluarkan ke atmosfer dengan bantuan *stack* dan dalam *temperature range* yang diizinkan, yaitu sekitar 180°C–210°C. Hal itu merupakan titik suhu di mana senyawa sulfur tidak dapat terkondensasi. Dalam arti lain, jika *flue gas* yang terbuang ke atmosfer di atas batasan minimal spesifikasi, maka dalam gas tersebut masih banyak kandungan senyawa sulfur. Hal itu dapat membahayakan kondisi material *stack* yang bisa mengakibatkan korosi. Sedangkan jika suhu *flue gas* yang keluar dari *stack* melebihi batas maksimal, hal itu menandakan bahwa banyak panas yang terbuang sia-sia. Hal ini dapat mengakibatkan penurunan efisiensi dari *furnace* itu sendiri.

Kemudian, *Forced Draft Fan* (FDF) berfungsi sebagai media penghasil udara pembakaran yang digunakan untuk proses pembakaran di dalam *furnace*. Udara dari atmosfer akan dihisap dan ditarik dengan paksa melalui tarikan dari baling-baling kipas yang tersedia di FDF tersebut. Selain itu, terdapat *Air Pre-heater* (APH) yang berfungsi sebagai media transfer panas untuk *flue gas* dan udara pembakaran. Suhu *flue gas* yang

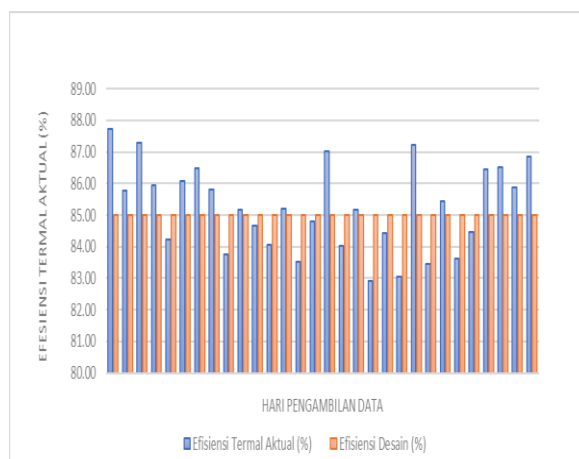
berasal dari IDF mengalami penurunan (202–205 °C) dan udara pembakaran yang berasal dari FDF mengalami kenaikan suhu dari suhu atmosfer (sekitar 30 °C) menjadi suhu yang cukup untuk menghantarkan panas dalam penyalan proses pembakaran pada *furnace*. Kemudian *feed* yang sudah dipanaskan dari *furnace* dialirkan ke dalam kolom distilasi vakum (C-14-001). Sistem FDF dan IDF harus saling bekerja sama sebagai sistem *balanced draft* pada *Furnace* F-14-001 sehingga sistem pembakaran dan pertukaran panas yang terjadi dapat terjaga keseimbangannya.

Sistem pembakaran yang terjadi di dalam *furnace* tersebut dapat menjadi salah satu komponen untuk mengetahui efisiensi termal dari *furnace*. Efisiensi termal dari *Furnace* ini dapat diketahui dengan dilakukannya perhitungan secara tidak langsung atau *Indirect Method*. Metode perhitungan secara tidak langsung ini dapat mengetahui efisiensi termal *furnace* dari *heat loss* yang timbul selama proses pemanasan serta perpindahan panas yang terjadi di dalam *furnace*. Efisiensi termal ini dapat menunjukkan kemampuan suatu *furnace* dalam memanfaatkan bahan bakar yang tersedia secara optimal (Tahdid et al., 2022). Berdasarkan hal tersebut, kenaikan maupun penurunan nilai efisiensi *furnace* dapat menunjukkan kinerja dari *furnace* tersebut. Umumnya, apabila nilai efisiensi termal suatu *furnace* mempunyai nilai yang tinggi, maka *furnace* tersebut mempunyai kinerja yang efisien serta efektif. Kinerja *furnace* dapat dikatakan efektif dan efisien apabila reaksi pembakaran dapat terjadi dengan lengkap ataupun mendekati sempurna, serta panas pembakaran *fuel gas* dapat tersalurkan dengan baik. Lalu, kinerja *furnace* juga dapat dikatakan efektif dan efisien apabila dapat memperkecil jumlah panas yang terbuang sia-sia atau hilang dari *furnace*.

Berdasarkan data pengamatan aktual yang diperoleh selama tanggal 18 Juni s.d. 17 Juli 2025, didapatkan hasil perhitungan efisiensi termal *Furnace* yang menunjukkan bahwa nilai rata-rata efisiensi termal *Furnace* adalah sebesar 85,23% dengan rentang 82,93%–87,72%. Jika dibandingkan dengan nilai efisiensi desain *furnace*, yaitu 85%, dapat diketahui bahwa *furnace* mengalami peningkatan efisiensi termal. Hal ini menunjukkan bahwa *Furnace* pada unit HVU

masih beroperasi dengan baik dan layak digunakan. Kondisi ini sejalan dengan standar UOP (*Universal Oil Products*) di mana nilai efisiensi yang dihasilkan *Furnace* tersebut melebihi 60%.

Metode yang digunakan dalam perhitungan efisiensi termal ini adalah metode yang terdapat dalam buku “*Materials and Energy Balances*” (Hougen, 1959). Kinerja *Furnace* dapat diketahui dengan perbandingan antara nilai efisiensi dari data aktual hasil perhitungan dan nilai efisiensi dari data desain. Data aktual tersebut merupakan data kondisi operasi *furnace* dari unit HVU yang dihitung. Berdasarkan data desain, *Furnace* memiliki efisiensi sebesar 85% sehingga efisiensi data aktual mengalami sedikit kenaikan jika dibandingkan dengan data desain (Gambar 1).

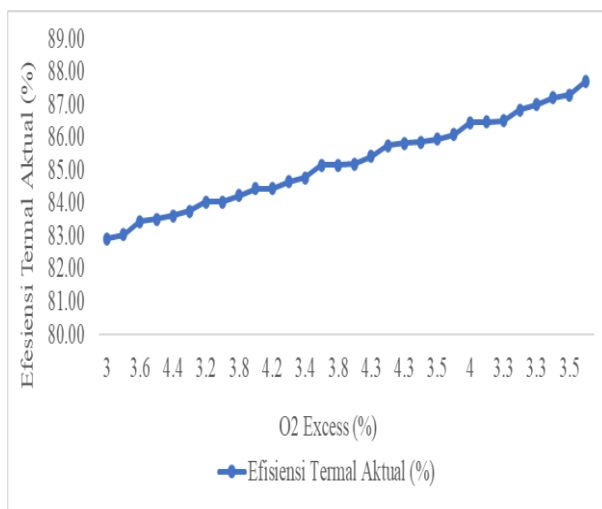


Gambar 1. Grafik efisiensi termal data aktual vs desain.

Berdasarkan gambar tersebut, dapat diketahui bahwa efisiensi aktual tertinggi *furnace* dicapai pada hari ke-1, yaitu sebesar 87,72%. Nilai ini melampaui efisiensi desainnya yang sebesar 85% dengan selisih +2,72%, menunjukkan bahwa pada kondisi tersebut *furnace* bekerja secara optimal. Pencapaian ini terjadi saat laju alir umpan (*feed flow rate*) berada pada 5.118 ton/hari dengan suhu masuk pipa pemanas (CIT) sebesar 256°C dan suhu keluar pipa (COT) sebesar 355°C. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa beban panas yang diberikan berada pada titik seimbang antara kapasitas pemanasan *furnace* dan kebutuhan energi fluida, sehingga efisiensi mampu melebihi standar desain. Secara umum, peningkatan laju alir umpan cenderung menurunkan temperatur COT karena waktu tinggal fluida di dalam *furnace* lebih singkat. Untuk mempertahankan

temperatur outlet agar tetap mendekati atau melampaui target desain, diperlukan penambahan laju alir bahan bakar, baik *fuel gas* maupun *fuel oil*, yang secara langsung meningkatkan konsumsi energi.

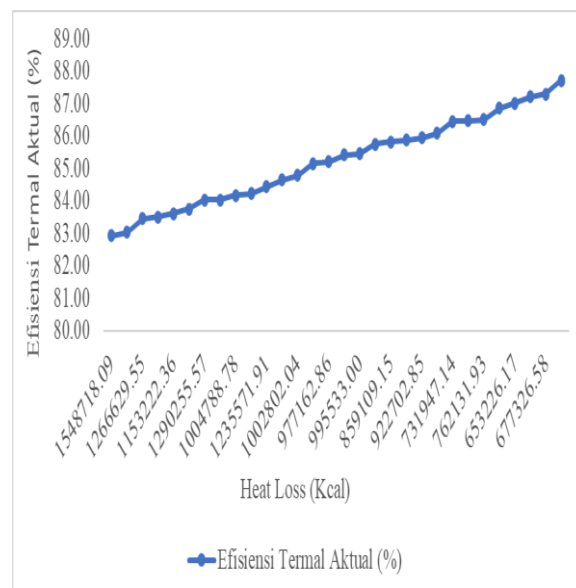
Berdasarkan data pengamatan, dapat diketahui bahwa pada Furnace selama waktu pengamatan 1 bulan, kadar O_2 excess yang tertinggi sebesar 4,4%, sedangkan yang terendah sebesar 3%. Kadar O_2 excess dapat terbentuk karena jumlah O_2 supply yang digunakan pada reaksi pembakaran berada pada jumlah yang terlalu tinggi atau berlebihan. Kadar O_2 excess menunjukkan bahwa terdapat O_2 yang berlebih dari reaksi pembakaran yang terjadi di dalam *Furnace*. Kadar oksigen yang terlalu tinggi dapat memicu konsumsi panas sehingga panas yang seharusnya didapat lebih cepat, menjadi lambat (Angelina et al., 2021). Berikut data persentase kenaikan dan penurunan efisiensi termal *Furnace* dan perbandingannya dengan persentase data O_2 excess dalam rentang waktu satu bulan ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik efisiensi termal vs O_2 excess pada furnace.

Kadar O_2 ekses terlalu tinggi menyebabkan terdapat sejumlah besar energi panas yang ikut terbawa oleh udara sisa pembakaran tersebut dan keluar melewati *stack* (Sugiharto, 2020). Banyaknya energi panas yang terbawa oleh udara sisa pembakaran tersebut menandakan semakin banyak panas yang terbuang sia-sia dan tidak terserap ke *feed*. Hal inilah yang dapat menjadi salah satu faktor yang dapat memengaruhi turunnya efisiensi kinerja dari *furnace*. Lalu, sebaliknya, saat kadar O_2 excess pada *furnace* berada pada

persentase yang rendah, maka persentase efisiensi termal *furnace* akan lebih tinggi.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Efisiensi Termal vs Heat Loss.

Berdasarkan grafik perbandingan efisiensi termal dengan kadar O_2 excess di atas, dapat diketahui bahwa kadar O_2 excess yang paling rendah, yaitu sebesar 3%, dengan efisiensi termal *Furnace* berada pada persentase yang paling rendah, yaitu 82,92%. Efisiensi termal *Furnace* tersebut dapat berada pada persentase yang paling rendah karena terdapat faktor lain selain kadar O_2 excess yang memengaruhi nilai persentase efisiensi termal tersebut. Faktor lain yang memengaruhi tersebut, seperti laju alir dari bahan bakar yang digunakan, yaitu laju alir *fuel gas*. Laju alir *fuel gas* pada saat kadar O_2 excess merupakan laju alir paling tinggi yang dapat menyebabkan pembakaran menjadi tidak sempurna, menghasilkan panas berlebih yang terbuang bersama gas buang, bahkan bisa menyebabkan *overheating* pada *furnace*. Apabila terjadi *overheating* pada *furnace* maka heat loss akan meningkat karena gas buang menjadi terlalu panas, radiasi panas ke lingkungan bertambah, dan lapisan *refractory* dapat rusak sehingga panas lebih mudah keluar, sehingga efisiensi *furnace* menurun.

Kenaikan maupun penurunan efisiensi termal *furnace* juga dapat dipengaruhi oleh faktor *heat loss*. Tingginya nilai *heat loss* pada suatu *furnace* dapat dipengaruhi oleh temperatur output *flue gas*. Saat temperatur output *flue gas* sangat tinggi, maka panas yang terbuang melalui *flue gas* atau *heat loss* akan

menjadi sangat banyak sehingga efisiensi pada *furnace* menurun (Shahab & Faisal, 2023). Gambar 3 berikut adalah grafik perbandingan antara nilai *heat loss* yang dihasilkan oleh *Furnace* dengan efisiensi termalnya.

Berdasarkan data yang tertera pada grafik di atas, dapat diketahui bahwa efisiensi termal dan *heat loss* yang dihasilkan oleh *Furnace* sesuai dengan teori, yaitu semakin tinggi *heat loss*, maka efisiensi termal akan semakin menurun. Hal tersebut juga berlaku sebaliknya. Terbukti pada saat efisiensi termal tertinggi. Nilai *heat lost* hanya sebesar 542.098,50 kcal, sedangkan pada saat efisiensi terendah. Nilai *heat loss* sebesar 1.548.718,09 kcal. Hal ini karena efisiensi termal dapat diartikan sebagai rasio antara panas yang dimanfaatkan dengan panas yang tersedia dalam *furnace*. Oleh karena itu, saat efisiensi termal mempunyai nilai yang tinggi, berarti energi panas yang dimanfaatkan pada proses pemanasan di dalam *furnace* juga berjumlah tinggi pula sehingga energi panas yang terbuang sia-sia berada dalam jumlah yang rendah. Energi panas yang terbuang inilah yang disebut sebagai *heat loss* yang dihasilkan oleh *furnace*.

Heat loss dari *furnace* ini antara lain dapat dihasilkan dari lubang intip yang tidak tertutup rapat saat dilakukan pengecekan atau dihasilkan akibat proses pembakaran yang tidak sempurna seperti nyala api panjang atau jilatan api berwarna hitam. Selain itu, *air preheater* (APH) juga dapat memengaruhi besarnya *heat loss*, terutama apabila terjadi kebocoran udara dari sisi udara tekan ke sisi gas buang yang menyebabkan peningkatan *excess air* dan *stack loss*. APH yang kotor atau tidak berfungsi optimal juga dapat menurunkan efisiensi perpindahan panas, sehingga udara pembakaran masuk dengan temperatur lebih rendah dan gas buang keluar lebih panas dari seharusnya, yang pada akhirnya meningkatkan kehilangan panas melalui *stack*.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Furnace yang dievaluasi merupakan *furnace* dengan sistem balanced draft, yaitu kombinasi antara *Forced Draft Fan* (FDF) dan *Induced Draft Fan* (IDF) yang bekerja bersama dalam mengatur aliran udara pembakaran dan gas buang. Berdasarkan hasil pengamatan aktual pada periode 18 Juni hingga 17 Juli 2025, diperoleh bahwa nilai

rata-rata efisiensi termal *furnace* mencapai 85,23%. Nilai ini lebih tinggi dibandingkan dengan efisiensi desain sebesar 85%, sehingga dapat disimpulkan bahwa *Furnace* masih bekerja secara efisien dan layak digunakan. Fluktuasi efisiensi yang terjadi dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, yaitu laju alir *feed*, temperatur keluaran *furnace*, kadar *O₂ excess*, laju alir bahan bakar, serta besarnya *heat loss* yang dihasilkan selama operasi.

Untuk menjaga kinerja *furnace* agar tetap efisien, diperlukan beberapa langkah perawatan dan pengendalian operasional. *Heat loss* yang besar akibat pelepasan panas ke lingkungan maupun panas yang terbawa flue gas perlu diminimalkan melalui pengecekan dan pemeliharaan *Air Pre-Heater* (APH) secara berkala, sehingga efisiensi transfer panas dapat tetap optimal. Selain itu, jumlah udara pembakaran harus dikontrol dengan baik agar kadar *O₂ excess* tidak melebihi batas optimum, karena kondisi tersebut dapat menurunkan efisiensi termal *furnace*. Pelaksanaan *turn around* (TA) secara rutin juga penting dilakukan untuk menjaga kondisi *furnace* tetap prima. Selanjutnya, parameter operasi seperti waktu tinggal, laju aliran udara, dan desain pembakaran harus dikelola dengan tepat agar *furnace* selalu berada pada kondisi optimum dan mampu mendukung efisiensi termal secara berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- API RP 532. 1982. *Measurement of the Thermal Efficiency of Fired Process Heaters*. American Petroleum Institute. Washington D. C.
- Atta, M. S., Khan, H., Ali, M., Tariq, R., Yasir, A. U., Iqbal, M. M., Din, S. U., & Krzywanski, J. 2024. Simulation of Vacuum Distillation Unit in Oil Refinery: Operational Strategies for Optimal Yield Efficiency. *Energies*, 17(15). <https://doi.org/10.3390/en17153806>.
- Baukal, C. E., Jr. 2014. *The John Zink Hamworthy Combustion Handbook: Applications* (Vol. 3, 2nd ed). CRC Press.
- Fattahi, M., Ebrahimi, S., Rahimi, M., Gonbadi, M., Hosseini, S. H., & Ahmadi, G. 2024. Analyzing Burner Performance and Combustion

- Phenomenon in an Olefin Plant's Industrial Furnace: A CFD Study. *ACS Omega*, 9(12). <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c00395>.
- Flora Angelina, D., Anugrah, R., Negeri Sriwijaya, P., & Baturaja, S. 2021. Evaluasi Kinerja Heat Loss Pada Calciner di PT Semen Baturaja (PERSERO) TBK. ditinjau dari Penggunaan Bahan Bakar BA-45. *Jurnal Publikasi Riset Online Untuk Vokasi dan Sains Terapan*, 3(1).
- Hougen, O. A., Watson, K. M., dan Ragatz, R. A. 1959. *Chemical Process Principles Part II: Thermodynamics*. John Wiley & Sons Inc, Wisconsin.
- Humas PT Kilang Pertamina Internasional RU III. 2024. *Tata Letak*: PT Kilang Pertamina Internasional RU III Plaju-Sungai Gerong.
- qJaric, M. S., Petronic, S. Z., Balac, M. M., Brat, Z. M., Vasovic Maksimovic, I. V, ad Novi Sad, N., & Sad, N. 2021. *Remaining Working Reliability Of Vertical Fired Heater With Simultaneously Used Rbi Matrix*.
- Kern, D. Q. 1965. *Process heat transfer* (International student ed.). New York: McGraw-Hill International Book Company.
- Kozłowska, E., & Szkodo, M. 2024. Contemporary and Conventional Passive Methods of Intensifying Convective Heat Transfer A Review. *Energies*, 17(17). <https://doi.org/10.3390/en17174268>.
- Lin, A., Yu, J., Cao, H., Zhao, W., & Ding, Y. 2025. Optimising Thermal Efficiency in High Temperature Tube Furnaces: an Investigation on Thermal Insulations. *Applied Thermal Engineering*, 268.
- McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriott, P. 2005. *Unit Operations of Chemical Engineering* (7th ed.). New York: McGraw-Hill Higher Education.
- PetroSkills. 2016. *2016–2017 Oil and Gas Facilities and Midstream Training and Development Guide*. PetroSkills.
- Shahab, A., & Faisal, A. 2023. Evaluation of Furnace-02 Efficiency Using the Heat Loss Method in Refinery Units at Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan Gas Bumi Cepu - Java. *Jurnal Cakrawala Ilmiah*, 2(6).
- Sugiharto, A. 2020. *Perhitungan Efisiensi Boiler dengan Metode Secara Langsung pada Boiler Pipa Api*. PPSDM MIGAS, Cepu.
- Tahdidi, K. A., Ridwan, K. A., Erlinawati, T., Rezattania, T., & Pratama, M. A. 2022. Efisiensi Termal dan Specific Fuel Consumption (SFC) Water Tube Boiler Berdasarkan Rasio Udara Bahan Bakar Diesel dan LPG untuk Memproduksi Saturated dan Superheated Steam. *Publikasi Penelitian Terapan Dan Kebijakan*, 5(1), 19–26.
- Trambouze, P. 1999. *Materials and Equipment*. Editions Technip. Paris.
- Trinks, W., et al. 2004. *Industrial furnaces* (6th ed). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Tudon-Martinez, J. C., Lozoya-Santos, J. D. J., Cantu-Perez, A., & Cardenas-Romero, A. 2022. Advanced Temperature Control Applied on An Industrial Box Furnace. *Journal of Thermal Science and Engineering Applications*, 14(6). <https://doi.org/10.1115/1.4052020>.
- Walas, S. M. 1990. *Chemical process equipment*. Newton, MA: Butterworth Heinemann.
- Yentumi, R., Dorneanu, B., & Arellano-Garcia, H. 2022. Optimal Operation of an Industrial Natural Gas Fired Natural Draft Heater. *Chemical Engineering Journal Advances*, 11. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.100354>.