

EVALUASI EFISIENSI KINERJA FURNACE F-03 PADA UNIT KILANG DI PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA MINYAK DAN GAS BUMI CEPU

Diah Nur Fitri Midayoga¹, Nur Annisa², Erwan Adi Saputro³, Didiek Heru Wuryanto⁴

^{1 2 3 4} Program Studi Teknik kimia, Teknik, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

Jl. Rungkut Madya, Gn. Anyar, kec. Gn. Anyar, Surabaya, Jawa Timur

Erwanadi.tk@upnjatim.ac.id¹

ABSTRAK

Industri minyak dan gas bumi memiliki peran penting untuk memenuhi kebutuhan energi nasional. *Furnace* merupakan alat utama yang berfungsi meningkatkan suhu *crude oil*. Di PPSDM Migas Cepu tersedia enam unit *furnace*, namun saat ini hanya dua yang beroperasi, yakni *Furnace-02* dan *Furnace-03*. Kedua unit tersebut termasuk tipe *box furnace* dengan sistem pembakaran horizontal. Bahan bakar yang digunakan adalah *fuel oil* serta gas, dan fungsinya adalah memanaskan *crude oil* hingga mencapai titik didih sebelum dialirkan menuju evaporator. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efisiensi *Furnace F-03* di PPSDM Migas Cepu melalui perhitungan neraca panas dan analisis kinerja operasional. Evaluasi ini bertujuan untuk mengetahui apakah *Furnace F-03* masih layak dioperasikan atau tidak, serta untuk mengidentifikasi potensi perbaikan yang dapat dilakukan guna meningkatkan efisiensi *furnace*, seperti optimalisasi sistem pembakaran, pemeliharaan rutin, dan pengurangan kebocoran panas. Evaluasi efisiensi dilakukan dengan menganalisis neraca panas *furnace*, menghitung efisiensi termal, dan membandingkan hasilnya dengan standar kelayakan. Hasil analisis menunjukkan efisiensi *Furnace F-03* sebesar 85,70%, yang masih berada dalam rentang kelayakan operasi. Namun, terdapat potensi peningkatan efisiensi dengan optimalisasi sistem pembakaran dan pengurangan kebocoran panas. Temuan ini dapat menjadi rujukan untuk peningkatan efisiensi *furnace* di kilang lainnya.

Kata kunci : *furnace, neraca panas, efisiensi termal.*

ABSTRACT

The oil and gas industry plays a crucial role in meeting national energy demands. A furnace is an essential unit used to increase the temperature of crude oil in an oil and gas refinery. At the Human Resources Development Center for Oil and Gas (PPSDM Migas) in Cepu, there are six furnaces available, but only two are currently in operation, namely Furnace 2 and Furnace 3. These operating furnaces are of the box furnace type with a horizontal firing system. Both furnaces utilize fuel oil and gas as fuel sources and function to raise the crude oil temperature to its boiling point before entering the evaporator. This study aims to evaluate the efficiency of Furnace F-03 at PPSDM Migas Cepu through heat balance calculations and operational performance analysis. The evaluation seeks to determine whether Furnace F-03 remains feasible for operation and to identify potential improvements that could enhance furnace efficiency, such as optimizing the combustion system, performing routine maintenance, and reducing heat losses. The efficiency evaluation was carried out by analyzing the furnace heat balance, calculating thermal efficiency, and comparing the results with operational feasibility standards. The results of the analysis indicate that Furnace F-03 has an efficiency of 85.70%, which is still within the operational feasibility range. However, there is potential for efficiency improvement through combustion system optimization and heat loss reduction. These findings can serve as a reference for improving furnace efficiency in other refineries.

Kata kunci : *furnace, heat balance, thermal efficiency.*

PENDAHULUAN

Industri minyak dan gas bumi merupakan sektor strategis yang berperan penting dalam

mendukung kebutuhan energi nasional. Minyak mentah (*crude oil*) menjadi bahan baku utama yang diproses untuk menghasilkan berbagai produk turunan bernilai ekonomis, seperti bensin, solar, aspal, residu, dan lainnya. *Crude oil* memiliki

komposisi kimia yang kompleks dan bervariasi, bergantung pada sumber dan kualitas minyak mentah tersebut. Untuk memisahkan berbagai komponennya menjadi fraksi-fraksi tertentu yang bermanfaat. Proses pengolahan minyak mentah di kilang memanfaatkan peralatan utama seperti *heat exchanger*, *furnace*, dan unit distilasi.

Furnace adalah komponen penting dalam proses pemanasan awal *crude oil* sebelum memasuki tahap distilasi[4]. Pemanasan ini bertujuan untuk meningkatkan temperatur minyak hingga mencapai titik didih yang diinginkan, sehingga komponen-komponen dalam minyak mentah dapat dipisahkan sesuai dengan fraksi titik didihnya. Di Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan Gas Bumi Cepu (PPSDM Migas Cepu), terdapat enam unit *furnace*, namun hanya dua unit yang beroperasi aktif, yaitu *Furnace F-02* dan *Furnace F-03*. Kedua *furnace* ini merupakan jenis *box furnace* dengan sistem pembakaran horizontal, yang menggunakan bahan bakar solar dan gas. Seiring waktu, efisiensi *furnace* cenderung mengalami penurunan. Penurunan efisiensi disebabkan oleh berbagai faktor, seperti usia alat, intensitas penggunaan, dan pemeliharaan yang tidak optimal[6]. Hal tersebut dapat memengaruhi kemampuan *furnace* dalam mentransfer panas sehingga penurunan efisiensi dapat mengakibatkan adanya peningkatan konsumsi bahan bakar dan menurunkan produktivitas kilang. Oleh karena itu, evaluasi efisiensi *furnace* menjadi langkah penting untuk memastikan alat tetap berfungsi secara optimal, efisien, dan hemat energi [3],[11]. Penelitian ini berfokus pada *Furnace F-03* sebagai proses pengolahan minyak mentah di PPSDM Migas Cepu bertujuan untuk mengevaluasi efisiensi *Furnace F-03* melalui perhitungan neraca panas dan analisis kinerja operasional. Metode evaluasi melibatkan pengumpulan data operasional, seperti suhu dan tekanan masuk-keluar minyak mentah, serta perhitungan panas yang masuk dan keluar dari *furnace*. Dari hasil evaluasi dapat diketahui kelayakan dari *furnace 01* yang terdapat di PPSDM Migas Cepu. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi potensi perbaikan dan langkah-langkah untuk meningkatkan efisiensi *furnace*, seperti optimalisasi sistem pembakaran, pemeliharaan rutin, dan pengurangan kebocoran panas. Dengan demikian, hasil penelitian ini tidak hanya memberikan manfaat bagi PPSDM Migas Cepu, tetapi juga dapat menjadi referensi untuk peningkatan efisiensi operasional *furnace* di industri migas lainnya.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan dengan mengambil dan mengolah data real time di lapangan serta studi literatur[1],[2],[5],[6],[10] kemudian dilakukan analisis data selama lima hari mulai tanggal 6-10 November 2024.

Tabel 1 Data Temperature *Furnace*

Tanggal	T in CO (°C)	T out CO (°C)	T in FG (°C)	T Wall (°C)	T FO in (°C)	T Stack (°C)
11/06/24	270,8	328,8	66,6	630	45	230,5
11/07/24	278,8	324,7	66,6	639	69,4	284,4
11/08/24	261,5	325,9	66,6	584	48,4	293,7
11/09/24	229,7	321,7	66,6	642	45,8	282,7
11/10/24	264,6	331	66,6	646	44,3	298,2
Rata-Rata	261,08	326,42	66,6	628,2	50,58	277,9

Tabel 2 Tekanan alir minyak mentah dan bahan bakar minyak

Tanggal	P in Crude Oil (kg/cm ²)	P out Crude Oil (kg/cm ²)	P in Fuel Oil (kg/cm ²)
11/06/24	3	0,4	4,9
11/07/24	2,1	0,42	5,21
11/08/24	2,4	0,39	5,68
11/09/24	2,6	0,38	5,71
11/10/24	2,6	0,42	6
Rata-Rata	2,425	0,402	5,5

Tabel 3 Laju Alir *Crude Oil* Dan *Fuel Oil*

Tanggal	Cap. CO (m ³ /hari)	Cap. FO (m ³ /hari)	Cap. CO (m ³ /jam)	Cap. FO (m ³ /jam)
11/06/24	291,544	298,87	12,149	12,454
11/07/24	266,058	310,44	11,087	12,936
11/08/24	299,343	283,37	12,474	11,808
11/09/24	295,423	284,67	12,310	11,862
11/10/24	301,8	285,27	12,576	11,887
Rata-Rata	290,8336	292,52	12,119	12,189

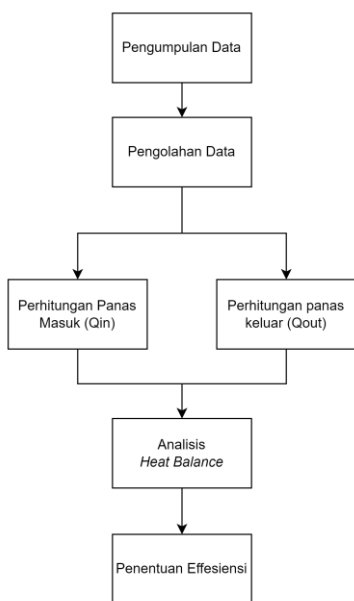
Tabel 4 Data Massa Jenis *Crude Oil* dan *Fuel Oil*

Tanggal	Crude Oil (kg/m ³)	Fuel Oil (kg/m ³)
11/06/24	0,8428	0,88
11/07/24	0,8401	0,88
11/08/24	0,8399	0,88
11/09/24	0,84	0,88

Tanggal	Crude Oil (kg/m ³)	Fuel Oil (kg/m ³)
11/10/24	0,8386	0,88
Rata-Rata	0,84	0,88

Penelitian ini menggunakan pendekatan metode analitik numerik dalam menganalisis keseimbangan panas (*heat balance*) pada *furnace*. Metode ini dilakukan dengan menggabungkan data hasil pengamatan lapangan secara real time dan data sekunder dari literatur [1], [2], [5], [6], [10] sebagai dasar analisis. Data pada Tabel 1–4 digunakan sebagai dasar dalam melakukan analisis *heat balance* pada *furnace*. Pendekatan analitik numerik diterapkan untuk menghitung besaran energi masuk (*Q-in*) dan energi keluar (*Q-out*) melalui perhitungan termodinamika dan persamaan neraca energi.

Prosedur lengkap perhitungan dan alur pengolahan data ditunjukkan pada diagram alir proses analisis *heat balance* pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram Alir Analisis *Heat Balance*

Diagram alir pada Gambar 1 menunjukkan tahapan utama dalam proses analisis *heat balance* pada *furnace*. Proses dimulai dengan pengumpulan data lapangan yang meliputi suhu umpan, suhu bahan bakar, laju alir *fuel oil*, udara pembakaran, serta parameter operasional lainnya. Data tersebut kemudian diolah dan dikonversi ke satuan yang seragam, seperti massa (lb/jam) dan energi (Btu/jam), disertai penentuan nilai kalor jenis (*C_p*) dan nilai kalor bawah (LHV). Selanjutnya dilakukan perhitungan total panas masuk (*Q_{in}*), yang mencakup energi dari bahan bakar, udara pembakaran, *atomizing steam*, dan *fluida* umpan,

serta perhitungan total panas keluar (*Q_{out}*) yang meliputi panas yang diserap oleh *crude oil*, gas buang, dan kehilangan panas dinding *furnace*. Hasil kedua perhitungan tersebut digunakan untuk menentukan efisiensi termal sistem.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perhitungan Panas Masuk

1. Menentukan total *Flue Gas* terpakai

Berdasarkan Literatur *Furnace Operation* [7], jumlah *flue gas* dihitung menggunakan persamaan “Robert D. Read”

$$W_s = 443,35 \frac{T_s}{P_s} \times d^{2,667} \times \sqrt{\frac{P_1^2 - P_2^2}{L \times SG \times T}} \dots\dots\dots(1)$$

$$= 89,951 \text{ lb/jam.}$$

2. Menentukan Nilai Bakar *Fuel Oil*

SG 60/60 = 0,8805

⁰API = 29,21

T *fuel oil in* = 123,044 °F

T basis= 60°F

Penentuan kadar hidrogen pada *fuel oil* dilakukan dengan menggunakan Persamaan 9-8, dengan asumsi *fuel oil* tidak mengandung sulfur [8]

H = 26-15 S (2)

%Wt Hidrogen = 26-15 (0,8805) = 12,7925

%Carbon = 100-% Wt Hidrogen

= 100-12,7925 = 87,2075

Berdasarkan *figure 5-23* W.L. Nelson, didapatkan harga K = 11,4

Berdasarkan *figure 5-22*[7], *Gross Heating Value* (GHV) = 19050 Btu/lb.

3. Menentukan Lower Heating Value (LHV) *Fuel Oil*

QL = QH-92,7 H (3)

= 19250-92,7 (12,7925)

= 18064,14 Btu/lb

4. Menentukan kalor yang dibakar pada Fuel Oil (Q1)

$$Q1 = \text{kebutuhan fuel oil} \times \text{LHV Fuel Oil} \dots(4)$$

$$= 23665,75 \frac{\text{lb}}{\text{jam}} \times 18064,14 \frac{\text{Btu}}{\text{lb}}$$

$$= 427501319,2 \text{ Btu/jam}$$

5. Menentukan Kalor Sensibel Fuel Oil (Q2)

$$Q2 = \text{kebutuhan FO} \times \text{CP FO} \times (T2 - T1) \dots(5)$$

$$= 23665,75 \frac{\text{lb}}{\text{jam}} \times 0,4525 \frac{\text{Btu}}{\text{lb}^\circ\text{F}} \times (123,044 - 77)^\circ\text{F}$$

$$= 493073,78 \text{ Btu/jam}$$

6. Menentukan Kalor Yang terbawa Umpan (Q3)

$$Q3 = m \times \text{Cp} \times \Delta T \dots\dots\dots(6)$$

$$= 22348,19 \frac{\text{lb}}{\text{jam}} \times 0,57 \frac{\text{Btu}}{\text{lb}^\circ\text{F}} \times (501,9 - 60)^\circ\text{F}$$

$$= 5613889,33 \text{ Btu/jam}$$

7. Menentukan Kalor Pembakaran Flue Gas (Q4)

$$Q4 = \text{kebutuhan flue gas} \times \text{LHV flue gas} \dots(7)$$

$$= 1396,72 \frac{\text{cuft}}{\text{jam}} \times 18064,14 \frac{\text{Btu}}{\text{lb}}$$

$$= 25230467,42 \text{ Btu/jam}$$

8. Menentukan Kalor Sensibel Flue Gas (Q5)

Panas spesifik setiap komponen dapat dicari dengan bantuan figure 3 dan figure 5 dari literatur Kern, D. Q. 1983 "Process Heat Transfer" Panas sensibel flue gas (Q5) = 2690,1 Btu/jam.

9. Menentukan kalor Automizing Steam (Q6)

$$Q6 = M \text{ steam} \times \text{Entalpi rata-rata} \dots\dots\dots(8)$$

$$= 8399,14 \times 1081,9$$

$$= 9087033,46 \text{ Btu/Jam}$$

10. Menentukan Kalor Udara Pembakaran (Q7)

Diketahui Cp udara (60°F) = 0,2004 kkal/kg°C (Hilsenthrath, 1965)

$$Q7 = \text{kebutuhan udara pembakaran} \times \text{CP udara} \times (T \text{ actual} - T_{\text{basis}}) \dots\dots\dots(9)$$

$$Q7 = 265366,433 \frac{\text{Kg}}{\text{jam}} \times 0,2402 \frac{\text{kkal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \times$$

$$(32^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C}) \times 3,968 \frac{\text{Btu}}{\text{kkal}}$$

$$= 8093579,389 \text{ Btu/jam}$$

11. Panas Sensibel Air Karena Kelembaban Udara (Q8)

$$Q8 = (WA \times Ma) \times \text{Cp air} \times (T_{\text{aktual}} - T_{\text{basis}}) \dots(10)$$

$$Q8 = (1708,2 \frac{\text{kg}}{\text{jam}} \times 0,027) \times 1 \frac{\text{kkal}}{\text{kg}} \times \text{C} \times$$

$$(32^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C}) \times 3,968 \frac{\text{Btu}}{\text{kkal}}$$

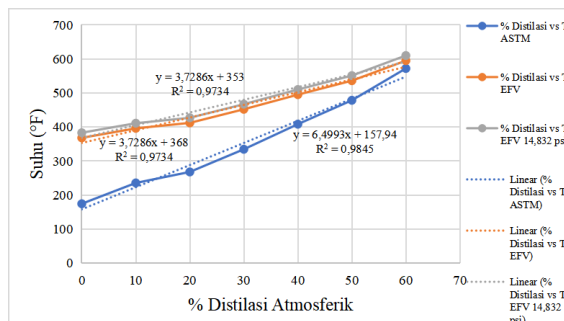
$$= 5855,697 \frac{\text{Btu}}{\text{jam}}$$

12. Total Panas Masuk (Qin)

$$Q_{in} = Q1 + Q2 + Q3 + Q4 + Q5 + Q6 + Q7 + Q8 \dots\dots\dots(11)$$

$$Q_{in} = (427501319,2 + 493073,78 + 5613889,33 + 25230467,42 + 2690,1 + 9087033,46 + 8093579,389 + 5855,697) \frac{\text{Btu}}{\text{jam}}$$

$$= 47,358,500,643 \frac{\text{Btu}}{\text{jam}}$$



Gambar 2 Grafik Hubungan % Distilasi vs ASTM dan T EFV

Berdasarkan grafik, perpotongan antara kurva T ASTM dan T EFV menunjukkan kondisi campuran pada suhu 450 °F. Nilai ini digunakan sebagai acuan dalam penentuan titik didih minyak mentah pada kondisi standar [7] mengacu pada Gambar 5.27 Nelson pada tekanan 14,7 psi dan suhu 600 °F, sehingga diperoleh nilai T boiling sebesar 590 °F. Setelah titik didih standar ditetapkan, langkah selanjutnya adalah menghitung titik didih pada kondisi operasi furnace. Tekanan keluaran crude oil = 0,402 kg kg/cm² = 5,718 psi + 14,7 psi = 20,418 psi.

$$T \text{ Crude Oil out} = 326,42 \text{ }^\circ\text{C} = 619,556 \text{ }^\circ\text{F}$$

Dengan memanfaatkan *fig. 5.27* pada temperatur titik didih, diperoleh nilai T EFV pada tekanan 20,418 psi sebesar 505 °F. Selisih titik didih antara kondisi standar dan sebenarnya adalah 55 °F. Oleh karena itu, kurva distilasi EFV pada tekanan 20,496 psi disusun sejajar dengan kurva distilasi EFV pada tekanan 14,7 psi, yaitu ditambahkan *intercept* sebesar 55 °F. Berdasarkan grafik tersebut, pada suhu keluaran *furnace* sebesar 619,556 °F, diperoleh persentase *crude oil* yang teruapkan sebesar 60%.

B. Perhitungan Panas Keluar

1. Panas Terserap Crude Oil Fasa Cair (Qa)

$$Qa = m \times L \dots\dots\dots(12)$$

$$Qa = 1280,604 \frac{\text{gal}}{\text{jam}} \times 351 \frac{\text{Btu}}{\text{gal}}$$

$$= 449492,01 \frac{\text{Btu}}{\text{jam}}$$

2. Panas Terserap Crude Oil Fasa Uap (Qb)

$$Qb = m \times H \dots\dots\dots(13)$$

$$Qb = 1920,906 \frac{\text{gal}}{\text{jam}} \times 430 \frac{\text{Btu}}{\text{gal}}$$

$$= 825989,58 \frac{\text{Btu}}{\text{jam}}$$

3. Panas Terserap gas hasil Pembakaran Kering (Q1')

$$Q1' = \text{Berat gas asap} \times C_{FG} \times \Delta T \dots\dots\dots(14)$$

$$Q1' = 78863,8285 \frac{\text{kg}}{\text{jam}} \times 0,238 \frac{\text{kkal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \times (32-0)^\circ\text{C} \times 3,97 \frac{\text{Btu}}{\text{jam}}$$

$$Q1' = 519937,944 \frac{\text{Btu}}{\text{jam}}$$

4. Panas terserap Oleh Asap Uap Air Dalam Gas Asap Karena Adanya H2 Dalam Bahan Bakar (Q2')

$$Q2' = 9H_2 \times H_{\text{sup}} \times \text{penggunaan FO} \dots\dots\dots(15)$$

$$Q2' = 9(0,1279) \times 687,1967 \frac{\text{kkal}}{\text{kg}} \times 5332,5990 \frac{\text{kg}}{\text{jam}} \times 3,968 \frac{\text{btu}}{\text{kkal}}$$

$$= 36508371,051 \frac{\text{btu}}{\text{jam}}$$

5. Panas terserap Oleh Uap Air Dalam Gas Asap Karena Kandungan Air (H2O) Dalam Udara Bahan Bakar (Q3')

$$Q3' = W \times Ma \times H_{\text{sup}} \times \text{Fuel Oil} \dots\dots\dots(16)$$

$$Q3' = 0,1 \times 687,1967 \frac{\text{kkal}}{\text{kg}} \times 11628,9 \frac{\text{kg}}{\text{jam}} \times 3,968 \frac{\text{btu}}{\text{kkal}}$$

$$= 3170987,432 \frac{\text{btu}}{\text{jam}}$$

6. Panas Yang Terbawa Oleh Uap Air Dalam Gas Karena Kelembabaan Udara Dalam Bahan Bakar (Q4')

$$Q4' = WA \times Ma \times H_{\text{sup}} \times \text{fuel oil} \dots\dots(17)$$

$$Q4' = 24,65 \frac{\text{kg}}{\text{kg bahan bakar}} \times 0,027 \times \frac{\text{kkal}}{\text{kg}} \times 11628,9 \frac{\text{kg}}{\text{jam}} \times 3,968 \frac{\text{btu}}{\text{kkal}}$$

$$= 21106763,74 \frac{\text{btu}}{\text{jam}}$$

7. Panas Hilang Melalui Dinding Furnace (Q5')

$$Q5' = h_i \times A \times (T_2 - T_1) \dots\dots\dots(18)$$

$$Q5' = \frac{\text{btu}}{\text{jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{R}} \times \text{ft}^2 \times ((635,67 - 549,27)^\circ\text{R})$$

$$= 795694,1505 \frac{\text{btu}}{\text{jam}}$$

8. Total Panas Keluar (Qout)

$$Q_{\text{out}} = Qa + Qb + Q1' + Q2' + Q3' + Q4' + Q5' \dots\dots\dots(19)$$

$$Q_{\text{out}} = (449,492.01 + 825,989.58 + 5,199,937.94 + 36,508,371.05 + 3,170,987.4 + 21,106,763.74 + 795,694.15) \text{ Btu/jam}$$

$$Q_{\text{out}} = 6,805,723,590 \frac{\text{Btu}}{\text{jam}}$$

C. Perhitungan Effisiensi Furnace

$$\text{Effisiensi} = \frac{Q_{\text{out}}}{Q_{\text{in}}} \times 100\% \dots\dots\dots(20)$$

$$\text{Effisiensi} = \frac{6,805,723,590 \frac{\text{Btu}}{\text{jam}}}{47,358,500,643 \frac{\text{Btu}}{\text{jam}}} \times 100\%$$

$$\text{Effisiensi} = 85,703\%$$

Penelitian ini menganalisis proses pemanasan minyak mentah menggunakan *furnace* di PPSDM Migas Cepu. *Furnace* berfungsi menghasilkan energi panas melalui pembakaran *fuel oil* maupun *fuel gas*, yang selanjutnya dipakai untuk menaikkan temperatur minyak mentah sebelum dialirkan pada fraksinasi kolom. Proses pemanasan ini ialah menyesuaikan temperatur minyak mentah agar sesuai kebutuhan persyaratan operasional pada tahap produksi berikutnya.

Mekanisme perpindahan kalor dalam tungku berlangsung melalui tiga jenis utama diantaranya konduksi, konveksi, dan radiasi[4]. Perpindahan panas secara konduksi dipicu oleh gradien temperatur yang terbentuk antara permukaan luar dan dinding dalam pipa *furnace*. Konveksi berlangsung akibat Perpindahan panas secara konveksi dihasilkan dari selisih temperatur antara permukaan interior pipa dan minyak mentah yang mengalir di dalam saluran tersebut. Di sisi lain, perpindahan energi secara radiasi diakibatkan oleh emisi gelombang elektromagnetik dari nyala api pembakaran bahan bakar yang langsung mengenai permukaan eksternal tabung *furnace*[6].

Efisiensi *furnace* diperoleh dengan analisis perbandingan jumlah energi kalor yang berhasil diserap oleh minyak mentah dengan energi panas yang dihasilkan dari pembakaran. Besarnya nilai efisiensi mencerminkan sejauh mana *furnace* mampu memanfaatkan energi panas dalam proses pemanasan *crude oil*. Terdapat beberapa aspek krusial yang menentukan tingkat efisiensi *furnace*, mencakup performa sistem pengapian pada *burner*, tingkat kelengkapan pembakaran, kondisi kebersihan permukaan tabung, serta besarnya radiasi kalor yang terlepas. Unit *burner* perlu dikalibrasi dengan tepat untuk mencegah konsumsi bahan bakar yang berlebihan, sementara reaksi oksidasi harus mencapai kondisi stokiometrik agar tidak menghasilkan emisi gas buang dalam jumlah besar yang berdampak pada penurunan efisiensi dan peningkatan polusi. Permukaan tube juga harus dipastikan bebas dari kontaminasi untuk mencegah akumulasi endapan karbon yang dapat bertindak sebagai isolator dan mengganggu proses transfer panas. Lebih lanjut, upaya untuk mencegah kebocoran energi termal harus dilakukan secara maksimal guna memastikan bahwa panas tidak hilang melalui cerobong asap atau radiasi dari dinding tungku.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa efisiensi *Furnace-03* di PPSDM Migas Cepu adalah sebesar 85,703% dengan total panas masuk sebesar 47.358.500,643 Btu/jam dan total panas keluar sebesar 6.805.723,590 Btu/jam. Total panas masuk (Q_{in}) diperoleh dari penjumlahan seluruh komponen panas yang berkontribusi pada proses pembakaran, yaitu panas hasil pembakaran bahan bakar (Q_1), panas sensibel bahan bakar (Q_2), panas yang terbawa oleh umpan *crude oil* (Q_3), panas pembakaran flue gas (Q_4), panas sensibel flue gas (Q_5), panas dari automizing steam (Q_6), panas udara pembakaran (Q_7), dan panas sensibel akibat kelembapan udara (Q_8).

Sementara itu, total panas keluar (Q_{out}) diperoleh dari penjumlahan seluruh komponen panas yang dilepaskan dari sistem, meliputi panas yang

terserap *crude oil* fasa cair (Q_a), panas yang terserap *crude oil* fasa uap (Q_b), panas gas hasil pembakaran kering (Q_1'), panas yang terbawa uap air hasil pembakaran hidrogen bahan bakar (Q_2'), panas akibat kandungan uap air dalam udara bahan bakar (Q_3'), panas karena kelembapan udara (Q_4'), serta panas hilang melalui dinding *furnace* (Q_5'). Nilai ini masih berada dalam rentang kelayakan menurut literatur, yaitu 60–90% [10], sehingga *Furnace-03* tetap layak dipakai dalam proses pemanasan *crude oil*. Namun demikian, terdapat penurunan efisiensi dibandingkan kondisi ideal. Faktor utama penyebab penurunan tersebut adalah usia peralatan yang sudah lama, adanya kelebihan suplai udara (*excess air*), serta keausan pada komponen bagian *furnace* seperti *refractory*, tube, dan *burner*. Kondisi tersebut dapat menimbulkan kebocoran panas maupun penurunan kualitas pembakaran, sehingga efisiensi menurun dan emisi meningkat [11].

KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan, efisiensi *Furnace-03* di PPSDM Migas Cepu diperoleh sebesar 85,703%. Rentang efisiensi *furnace* yang masih dianggap memenuhi kelayakan adalah 60–90% [10], sehingga *Furnace-03* dinyatakan masih dapat dioperasikan. Adapun penurunan efisiensi disebabkan oleh usia peralatan yang sudah tua, adanya kelebihan suplai udara (*excess air*), serta kehilangan panas yang terjadi melalui dinding maupun cerobong.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. E. Davis, Numerical Methods and Modeling for Chemical Engineers. Courier Corporation, 2013.
- [2] W. C. Edminister, Applied Hydrocarbon Thermodynamics, Vol. 1. Houston: Guff Publishing, 1961
- [3] M. Filipponi, F. Rossi, A. Presciutti, S. De Ciantis, B. Castellani, and A. Carpinelli, "Thermal analysis of an industrial furnace," Energies, vol. 9, no. 10, p. 833, 2016.
- [4] R. C. Gupta, Fuels, Furnaces and Refractories, 3rd ed. PHI Learning Private Limited, 2016.
- [5] K. Kataoka, Transport Process Chemical Engineering Phase II Edition. Transport Process Chemical Engineering, pp. vi-1, 2023.

- [6] P. Mullinger and B. Jenkins, *Industrial and Process Furnaces: Principles, Design and Operation*, 2nd ed. Butterworth-Heinemann, Elsevier Ltd., 2014.
- [7] W. L. Nelson, *Petroleum Refinery Engineering*, 4th ed. New York: McGraw Hill, 1958.
- [8] R. H. Perry, *Perry's Chemical Engineering Handbook*, 6th ed. New York: McGraw Hill, 1967.
- [9] I. D. Pranowo, *Sistem dan Manajemen Pemeliharaan (Maintenance: System and Management)*, 1st ed. Yogyakarta: Deepublish Publisher, 2019.
- [10] W. Trinks, *Referensi Industrial Furnace*. Jakarta: Penerbit Erlangga, 2000.
- [11] Yuliani, "Evaluasi Kinerja Furnace-3 Ppt Migas Cepu," *Pengembangan Teknologi Kimia Untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia*, pp. 1–6, 2011.