

OPTIMASI PENGGUNAAN *EXCESS AIR FURNACE* (PH-401) PADA PT XYZ PASURUAN

Ardesty Putri Eka Utami¹, M.Bisma Megantara¹, M.Imam Bukhari¹, Tun Sriana^{1*}

¹Teknik Pengolahan Minyak dan Gas, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Jl. Gajah Mada No. 38 Cepu, Blora, Jawa Tengah 58315
E-mail: tun.sriana@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan *excess air* pada *Furnace* PH-401 di *Thermal Deasphalting Unit* (TDU) PT XYZ guna meningkatkan efisiensi pembakaran dan mengurangi biaya operasional, mengingat *excess air* yang berlebihan dapat meningkatkan kerugian energi melalui gas buang. Melalui perhitungan neraca panas dan metode *trial and error*, kondisi operasi optimal tercapai dengan menurunkan *excess air* dari 15% (aktual) menjadi 8%. Penggunaan *excess air* 8% ini berhasil meminimalkan kerugian panas total (Q_t) menjadi 32,1303% lebih rendah dari 32,26% pada kondisi aktual dan menghasilkan efisiensi *furnace* sebesar 86,2% yang sebelumnya 85,73%. Peningkatan kinerja ini menghasilkan penghematan energi sebesar 80.121,21 kJ/jam, yang secara keekonomian diterjemahkan menjadi penghematan biaya operasional tahunan sebesar Rp 338.313.422, atau setara dengan 5,25% penghematan biaya total. Hasil ini membuktikan bahwa optimasi *excess air* adalah langkah krusial untuk keuntungan finansial dan efisiensi energi berkelanjutan.

Kata kunci: Optimasi *Furnace*, *Excess Air*, Efisiensi Termal, Kerugian Panas, Keekonomian.

1. PENDAHULUAN

Furnace merupakan peralatan penting dalam berbagai industri, khususnya dalam pemrosesan bahan bakar dan pemanasan fluida [1]. *Furnace* beroperasi dengan membakar bahan bakar dalam ruang tertutup untuk menghasilkan energi panas yang kemudian ditransfer ke fluida atau material melalui mekanisme konduksi, konveksi, dan radiasi. Efisiensi kinerja *furnace* sangat bergantung pada berbagai faktor, seperti desain ruang bakar, sistem pengaturan udara dan bahan bakar, serta karakteristik bahan bakar yang digunakan [2]. Namun, banyak industri menghadapi tantangan dalam mengoptimalkan penggunaan *excess air* pada *furnace*, karena *excess air* yang berlebihan dapat mengakibatkan kerugian energi yang besar melalui gas buang. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan penggunaan *excess air* pada *Furnace* PH-401 di *Thermal Deasphalting Unit* (TDU) PT XYZ untuk meningkatkan efisiensi pembakaran dan mengurangi biaya operasional. Penelitian ini juga mencoba untuk mengeksplorasi potensi peningkatan efisiensi termal *furnace* melalui pengaturan optimal *excess air*.

Berbagai penelitian telah membahas optimasi *excess air* pada *furnace*, seperti yang dilakukan oleh Paramatama Yusuf Boyle yang menemukan bahwa pengaturan *excess air* pada *furnace Platforming* dapat meningkatkan efisiensi termal hingga 9% [3]. Selain itu, hasil optimasi kebutuhan *excess air* *furnace* 15-F-102 di *Unit Residue Catalytic Cracker* (RCC) PT dengan metode *trial and error* menunjukkan bahwa pengaturan udara berlebih yang tepat mampu meningkatkan efisiensi termal *furnace* serta secara signifikan mengurangi konsumsi bahan bakar [4]. Penelitian Arvin pada *furnace* F-3 di salah satu fasilitas migas menggunakan metode *heat absorbed* dan *heat loss*, menghasilkan efisiensi 62,81% [5]. Namun, pengaturan

excess air yang optimal dapat bervariasi tergantung pada kondisi operasi dan karakteristik *furnace* yang digunakan. Oleh karena itu, penelitian ini mengisi gap tersebut dengan mengkaji *Furnace* PH-401 di PT XYZ, yang memiliki karakteristik operasi serupa namun belum dioptimasi. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi kadar *excess air* yang optimal yang dapat menurunkan kerugian panas dan meningkatkan efisiensi pembakaran pada *Furnace* PH-401 di PT XYZ. Dengan optimasi ini, diharapkan dapat tercapai efisiensi termal yang lebih tinggi dan penghematan biaya operasional yang signifikan.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan optimasi dengan metode *trial and error* untuk Penelitian ini menggunakan pendekatan optimasi untuk menentukan kondisi operasi *furnace* yang optimal. Berdasarkan analisis neraca panas, beberapa variabel yang diperhatikan antara lain kebutuhan udara teoritis (W_a), kebutuhan udara aktual (W_A), berat total gas buang (W_g), serta kerugian panas akibat gas buang (Q_g) dan pembakaran tidak sempurna (Q_c). Pendekatan optimasi ini dirancang untuk meminimalkan kerugian panas total (Q_t) melalui pengaturan *excess air*.

A. Objective Function dan Constraint

Pada bagian ini, dijelaskan mengenai tujuan optimasi (*objective function*) dan kendala (*constraint*) yang diterapkan dalam penelitian ini:

1. Objective Function

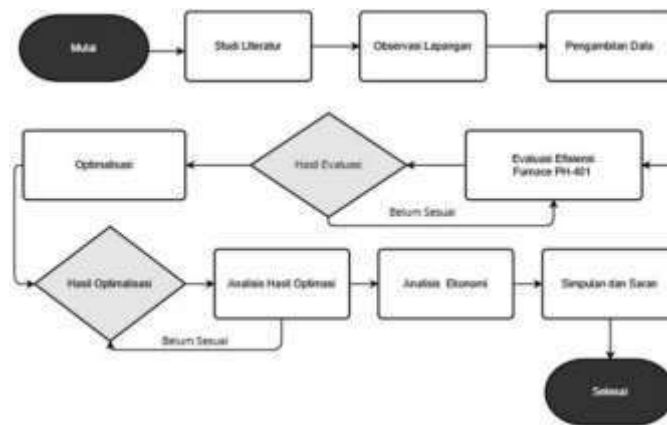
Objective function dalam penelitian ini adalah untuk meminimalkan kerugian panas total (Q_t) yang terjadi dalam sistem *furnace*. Hal ini dilakukan dengan cara mengoptimalkan penggunaan *excess air* pada *furnace*, sehingga efisiensi termal dapat meningkat.

2. Constraint

Kendala atau *constraint* yang diterapkan adalah bahwa kadar O_2 pada *flue gas* harus tetap berada pada batas minimum yang ditentukan oleh standar industri, yaitu minimal 3%. Hal ini untuk memastikan bahwa proses pembakaran tetap efisien dan tidak berisiko mengurangi kualitas pembakaran.

B. Analisis Proses Optimasi

Proses optimasi dilakukan dengan metode *trial and error*, yaitu dengan menghitung neraca panas untuk sejumlah variasi *excess air* mulai dari 1% hingga 25%. Pada setiap variasi dilakukan perhitungan ulang terhadap W_a , W_A , W_{fg} , panas masuk, panas keluar, serta efisiensi *furnace*. Untuk memperoleh kondisi optimum yang stabil, penelitian ini menggunakan mekanisme *looping*, di mana perhitungan diulang hingga perubahan efisiensi termal tidak melebihi batas toleransi sebesar 0,5%. Variasi *excess air* yang menghasilkan nilai Q_t paling kecil dengan efisiensi termal tertinggi dan perubahan yang berada dalam batas toleransi ditetapkan sebagai kondisi operasi optimal *furnace*. Diagram alir penelitian ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

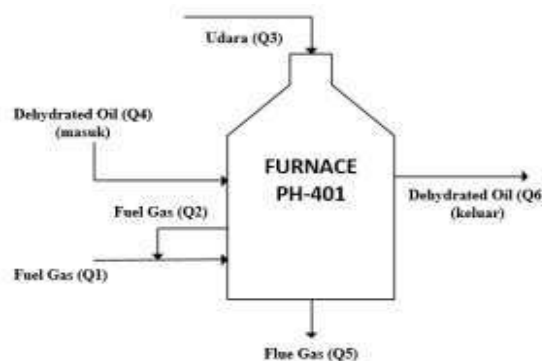
Metode analisis yang digunakan adalah perhitungan optimasi kinerja *furnace* dengan cara membandingkan data perhitungan dengan data riil di lapangan. Perhitungan dilakukan untuk menentukan nilai efisiensi termal, kerugian panas, serta keuntungan keekonomian yang dihasilkan. Nilai optimum diperoleh ketika *furnace* mampu menghasilkan biaya terendah per unit waktu atau keuntungan tertinggi per unit produksi. Setelah nilai optimum ditemukan, dilakukan analisis lanjutan mengenai perbandingan keekonomian dan efisiensi energi sebelum dan sesudah optimasi.

C. Data Operasional

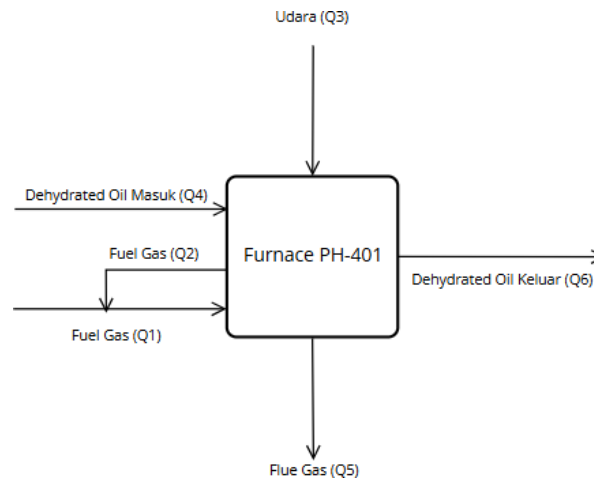
Furnace PH-401 menggunakan *fuel gas* sebagai bahan bakar, dengan komposisi campuran gas hidrokarbon seperti metana (CH_4), *ethane* (C_2H_6), dan komponen hidrokarbon lain lainnya. Karakteristik bahan bakar ini sangat penting dalam menentukan nilai *Lower Heating Value* (LHV) dan *Higher Heating Value* (HHV) yang digunakan dalam perhitungan neraca panas. Selain itu, umpan yang dipanaskan dalam *furnace* adalah *dehydrated oil* yang diterima dari unit *preflash*. Umpan ini memiliki kadar air yang sangat rendah sekitar 0,1%, sehingga dapat dipanaskan hingga suhu tinggi tanpa mengganggu kualitas proses. Data operasional *furnace*, meliputi suhu *inlet* dan *outlet feed*, temperatur *flue gas*, *flow fuel gas*, kadar oksigen *flue gas*, serta kondisi udara pembakaran, digunakan sebagai parameter masukan dalam rangkaian perhitungan optimasi.

D. Skema dan Diagram Aliran Panas *Furnace*

Skema *Process Flow Diagram* (PFD) dan blok diagram yang menggambarkan aliran udara dan gas buang selama proses optimasi *excess air*.



Gambar 2. Process Flow Diagram Aliran Panas *Furnace*



Gambar 3. Blok Diagram Aliran Panas Furnace

Berdasarkan Gambar 2 dan Gambar 3 menggambarkan aliran panas dan material dalam Furnace PH-401 selama proses optimasi *excess air*. *Process Flow Diagram (PFD)* menunjukkan aliran *fuel gas*, udara pembakaran, dan gas buang, sedangkan *Blok Diagram* memperlihatkan distribusi panas dalam *furnace*, termasuk panas yang masuk dan keluar. Kedua diagram ini digunakan untuk memetakan proses pembakaran dan optimasi *excess air* untuk mencapai efisiensi termal yang lebih tinggi dan mengurangi kerugian energi.

E. Rumus Perhitungan Neraca Panas

Rumus perhitungan yang digunakan untuk mengukur kerugian panas, efisiensi *furnace*, dan optimasi *excess air* adalah sebagai berikut: [6]

1. Panas Pembakaran Fuel Gas (Q_1)

Rumus ini digunakan untuk menghitung panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar gas, yang sangat bergantung pada nilai LHV (*Lower Heating Value*) dan HHV (*Higher Heating Value*) dari bahan bakar gas yang digunakan. Berikut adalah rumus yang digunakan: [7]

$$Q_1 = m \times \text{LHV} \quad (1)$$

2. Panas Sensibel Fuel Gas (Q_2)

Menghitung panas yang diserap oleh gas bahan bakar selama pembakaran, yang mempengaruhi efisiensi pemanasan. Rumusnya adalah: [8]

$$Q_2 = m \times C_p \times \Delta t \quad (2)$$

3. Panas Sensibel Udara Pembakaran (Q_3)

Menghitung energi yang diserap oleh udara pembakaran, yang juga berperan dalam pengendalian suhu furnace: [8]

$$Q_3 = m \times C_p \times \Delta t \quad (3)$$

Untuk menghitung massa udara yang dihasilkan dari pembakaran dengan menghitung harga kandungan karbon (C), hidrogen (H), S (sulfur) dan komponen bahan bakar lainnya: [2]

$$\%C = 100\% - (\%H + \%S + \%H_2O) \quad (4)$$

$$\%H = 26 - (15 \times \text{SG Bahan Bakar}) \quad (5)$$

Dengan menghitung total berat setiap komponen bahan bakar, kita dapat mengetahui jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk melakukan pembakaran lengkap terhadap 1 lb bahan bakar: [2]

$$W_o = \frac{8}{3}C + H_2 + S \quad (6)$$

Menghitung udara pembakaran teoritis dilakukan dengan mengambil oksigen dari udara atmosfer yang memiliki kandungan oksigen sebesar 23% dan nitrogen sebesar 77%. Rumus yang digunakan untuk menghitung udara teoritis adalah: [9]

$$\%C = 100\% - (\%H + \%S + \%H_2O) \quad (7)$$

$$W_a = \frac{100}{23} \times W_o \quad (8)$$

Permintaan udara teoritis (W_a) akan lebih besar dari permintaan udara aktual (W_A). Hal ini disebabkan karena pembakaran udara saja tidak akan berlangsung dengan sempurna. Jika jumlah kelebihan air diketahui, persamaan berikut dapat digunakan untuk menentukan jumlah sebenarnya udara yang dibutuhkan: [10]

$$W_A = (1 + \frac{x}{100}) \times W_a \quad (9)$$

Udara pembakaran berlebih diperlukan untuk mencapai pembakaran yang lebih lengkap dan efisien. Besarnya udara berlebih dihitung menggunakan rumus: [7]

$$W_A = (\frac{92 \times 0_2}{21 - 0_2}) \times 100\% \quad (10)$$

4. Panas Sensibel Uap Air dalam Udara Pembakaran (Q_4)

Menghitung energi yang diserap oleh uap air yang terdapat dalam udara pembakaran, yang berperan dalam proses pemanasan *furnace*: [7]

$$Q_4 = MW \times C_p \times \Delta t \quad (11)$$

5. Panas Hilang Melalui Stak (Q_5)

Dalam teknik perhitungan neraca panas dengan mengacu pada metode kehilangan panas, panas yang hilang dapat diuraikan sebagai "jumlah panas yang keluar atau terbangun" meliputi dua hal: [7]

$$Q_5 = M \times C_p \times \Delta t \quad (12)$$

Berat tiap komponen *flue gas* dapat dihitung berdasarkan reaksi-reaksi pembakaran yang terjadi pada bahan bakar dan udara. *Flue gas* biasanya terdiri dari CO_2 , SO_2 , H_2O , O_2 , dan N_2 . Berikut ini persamaan terkait berat gas asap total (W_{fg}): [7]

$$W_{fg} = \frac{11}{3}C + 9H_2 + 2S + 0,77xW_A + 0,0023xXxW_A \quad (13)$$

6. Panas Hilang Diserap Fluida (Q_6)

Energi yang diserap oleh fluida yang dipanaskan dalam *furnace*, yang berfungsi untuk menaikkan suhu fluida sesuai dengan kebutuhan proses [10].

$$Q_6 = M \times C_p \times \Delta t \quad (14)$$

7. Panas Hilang Melalui Dinding *Furnace* (Q_7)

Kehilangan panas radiasi dan konveksi menyebabkan panas hilang melalui dinding pemanas ke lingkungan luar. Persamaan untuk menghitung panas yang hilang ke lingkungan melalui konduksi, konveksi dan radiasi adalah sebagai berikut: [9]

a. Panas Hilang Secara Konduksi

$$Q_{konduksi} = k \times A \times L \times \Delta t \quad (15)$$

b. Panas Hilang Secara Konveksi

$$Q_{konveksi} = A \times h \times \Delta t \quad (16)$$

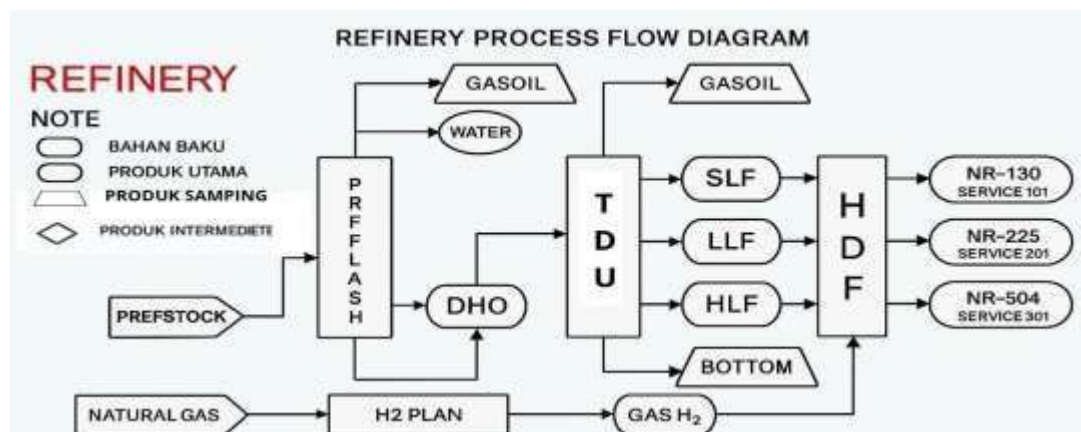
c. Panas Hilang Secara Radiasi

$$Q_{radiasi} = \varepsilon \times \sigma \times A \times \Delta t \quad (17)$$

3. PEMBAHASAN

A. Aliran Proses Furnace PH-401

Thermal Deasphalting Unit (TDU) di PT XYZ berfungsi mengolah dehydrated oil dari *Preflash Unit* dengan kapasitas 5600 kg/jam, di mana kadar air dalam umpan telah berkurang dari 7,5% menjadi 0,1%. Unit ini dilengkapi dengan satu kolom distilasi vakum yang menerima umpan dari PH-401 pada suhu sekitar 350 °C. Proses pemisahan dilakukan berdasarkan titik didih komponen, dengan kondisi vakum yang dijaga menggunakan lima buah *jet ejector* dan tiga buah *condenser*. Untuk mendukung proses TDU, dibutuhkan suplai panas dari *furnace* PH-401. *Furnace* ini berfungsi memanaskan *bottom product* dari kolom distilasi T-301 di *Preflash Unit* sebelum masuk ke kolom distilasi vakum. Proses pembakaran dalam *furnace* menggunakan sistem *forced draft*, dilengkapi *burner* yang diposisikan secara horizontal agar distribusi panas lebih merata.



Gambar 4. Refinery Process Flow Diagram

B. Data Operasi *Furnace* PH-401

Pengambilan dan pengumpulan data operasional *Furnace* PH-401 berlangsung selama satu bulan. Pengumpulan data dilakukan melalui data dari *Log Sheet* dan data dari laboratorium. Data kondisi operasi *furnace* yang diterima kemudian dijadikan rata-rata data dan ditampilkan pada tabel 1.

Tabel 1. Data Kondiri Operasi *Furnace*

Parameter	SI	Data	British	Data
Temp <i>feed</i> masuk <i>Furnace</i>	oC	140,000000	°F	284
Temp <i>feed</i> keluar <i>Furnace</i>	oC	360,000000	°F	680
Flow <i>fuel gas</i>	kg/ h	1205,80	lb/ h	2658,3340

Temp <i>fuel gas</i>	°C	30,0	°F	86
<i>Radiation Loss</i>	%	1,5	%	1,5
Temp <i>flue gas</i> / Suhu gas asap	°C	255	°F	491
<i>Oxygen Content</i>	%	3,0	%	3
Temp udara pembakaran	°C	30,0	°F	86
<i>Relative Humidity</i> Udara Pembakaran	%	81	%	81

Berdasarkan data pada Tabel 1, suhu feed masuk *furnace* sebesar 140 °C, sedangkan suhu keluar mencapai 680 °C. Nilai *excess air* sebesar 15% menunjukkan bahwa udara pembakaran yang digunakan sedikit berlebih dari kebutuhan teoritis untuk memastikan pembakaran bahan bakar gas berlangsung sempurna. *Radiation loss* sebesar 1,5% menandakan bahwa kehilangan panas melalui radiasi relatif kecil, sehingga efisiensi perpindahan panas *furnace* cukup baik. Dengan suhu gas buang sebesar 255 °C dan kelembaban udara pembakaran 81%, dapat diketahui bahwa kondisi operasi *furnace* ini berada pada rentang normal untuk menjaga efisiensi termal sekaligus mencegah penurunan kinerja akibat pembakaran tidak sempurna.

C. Data Analisis *Fuel Gas* Laboratorium

Data analisis *fuel gas* diambil dari data analisis laboratorium. Detail data hasil analisis *fuel gas* ditunjukkan pada Tabel 2. Tabel 2 merupakan data analisis *fuel gas* yang digunakan untuk bahan bakar *Furnace* PH- 401 dan ini diperlukan untuk mengetahui nilai LHV dan HHV untuk masing-masing komponen bahan bakar yang digunakan untuk menghitung panas pembakaran *fuel gas*.

Tabel 2. Data Analisis *Fuel Gas*

Komponen	% Mol	Berat Molekul (BM)	Berat Partial (BP), kg
CH ₄	98,9	16	0,0158258
C ₂ H ₆	0,4	30	0,0001065
C ₃ H ₈	0,1	44	0,0000606
i-C ₄ (iso <i>Butane</i>)	0,0	58	0,0000227
n-C ₄ (Normal <i>Butane</i>)	0,0	58	0,0000135
i-C ₅ (iso <i>Pentane</i>)	0,0	72	0,0000024
n-C ₅ (N- <i>Pentane</i>)	0,0	72	0,0000023
C ₆ H ₁₄	0,0	86	0,0000107
CO ₂	0,1	44	0,0000595
N ₂	0,4	28	0,0001048
H ₂ S	0,0	34	0,0000000
Total	100,0	542	0,0162089

D. Hasil Evaluasi *Furnace* PH-401

Hasil perhitungan neraca panas masuk dan keluar ditunjukkan pada tabel 3. Tabel 3 diperoleh melalui hasil perhitungan neraca panas berdasarkan data operasi aktual dan hasil analisis *fuel gas* laboratorium PT XYZ. Panas masuk terdiri dari empat komponen utama, yaitu Q₁ (panas pembakaran bahan bakar gas) yang diperoleh dari nilai kalor bawah bahan bakar, Q₂ (panas sensibel *fuel gas*) akibat kenaikan suhu bahan bakar sebelum terbakar, Q₃ (panas sensibel

udara pembakaran) yang berasal dari udara *preheated*, dan Q_4 (panas sensibel uap air dalam udara pembakaran) yang turut membawa energi tambahan ke sistem. Sementara panas keluar meliputi Q_5 (panas hilang melalui *stack*), Q_6 (panas yang diserap fluida proses), dan Q_7 (panas hilang melalui dinding *furnace*).

Tabel 3. Neraca Panas *Furnace* PH-401

Neraca Panas <i>Furnace</i> PH-401				
Panas Masuk				
Jenis Panas	SI		British	
Panas pembakaran <i>Fuel Gas</i> (Q_1)	17680337,64	Kcal/ h	70,144,289.4	Btu/h
Panas Sensibel <i>Fuel Gas</i> (Q_2)	9591	Kcal/ h	38,063.8	Btu/h
Panas Sensibel Udara Pembakaran (Q_3)	86614,12819	Kcal/ h	343,530.1	Btu/h
Panas Sensibel Uap Air dalam Udara Pembakaran (Q_4)	1941,756558	Kcal/ h	7,703.7	Btu/h
Total	17778484,05	Kcal/ h	70,533,586.9	Btu/h
Panas Keluar				
Panas Hilang Melalui <i>Stack</i> (Q_5)	1613062,745	Kcal/ h	6,400,421.5	Btu/h
Panas Hilang Diserap Fluida (Q_6)	602600	Kcal/ h	2,391,396.3	Btu/h
Panas Hilang Melalui Dinding <i>Furnace</i> (Q_7)	322145,64	Kcal/ h	1,277,793.8	Btu/h
Total	2537808,385	Kcal/ h	10,069,611.6	Btu/h

Dari hasil perhitungan diperoleh total panas masuk sebesar 17.778.484,05 kcal/jam dan total panas keluar sebesar 2.537.808,39 kcal/jam, sehingga efisiensi termal *furnace* mencapai 85,73%. Nilai ini menjadi dasar untuk proses optimasi *excess air*, yang bertujuan meminimalkan kerugian panas dan meningkatkan efisiensi pembakaran. Selanjutnya, untuk mengetahui efisiensi dari *furnace* PH-401 data di hitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Efisiensi = \frac{\text{Total Panas Masuk} - \text{Panas Hilang}}{\text{Total Panas Masuk}} \times 100\% \quad (16)$$

$$Efisiensi = 85,73\%$$

Dalam analisis efisiensi pembakaran pada *furnace*, diperlukan perhitungan terhadap berbagai bentuk kerugian panas yang terjadi. Kerugian ini muncul akibat proses pembakaran yang tidak sempurna maupun pelepasan energi bersama aliran gas buang. Oleh karena itu, dua parameter penting yang perlu diperhatikan adalah kerugian panas oleh ketidaksempurnaan pembakaran (Q_c) dan kerugian panas oleh gas asap (Q_{fg}). Kerugian panas oleh ketidaksempurnaan pembakaran (Q_c) menunjukkan besarnya energi yang hilang akibat masih adanya bahan bakar yang tidak terbakar sempurna. Sedangkan kerugian panas oleh gas asap (Q_{fg}) menggambarkan energi yang terbawa keluar melalui gas buang yang memiliki temperatur tinggi. Untuk mengetahui besarnya Q_c dan Q_{fg} , digunakan persamaan perhitungan tertentu yang akan disajikan pada bagian berikut:

$$Q_c = \frac{0,5 \times 8080 \times C}{w_A \times HHV} \quad (17)$$

$$Q_{fg} = \frac{\frac{W_A}{W_a} \times W_{fg} \times C_p \times T}{HHV} \times 100\% \quad (18)$$

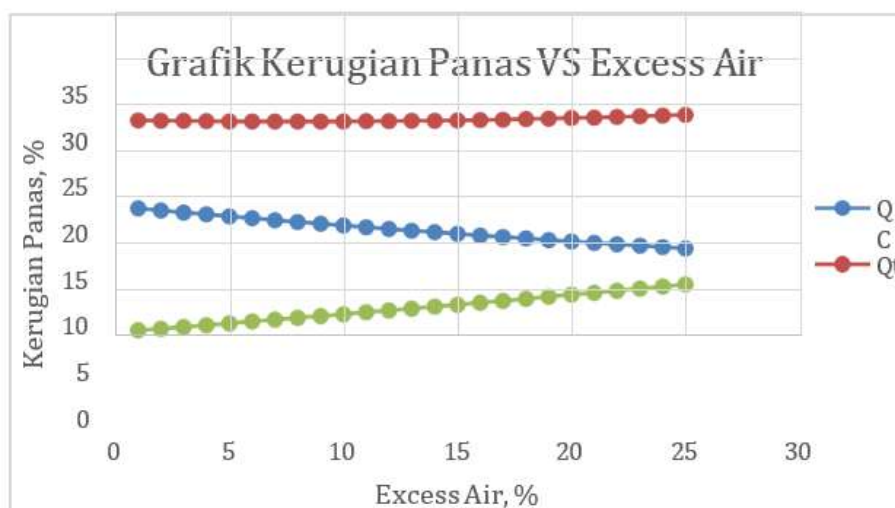
Panas total yang diperoleh dengan menggunakan metode *trial and error* menghasilkan kerugian panas yang kecil dibandingkan data operasi actual dengan *excess air* sebesar 4%. Oleh karena itu *excess air* sebesar 6% gas buang (*flue gas*), namun di sisi lain dapat mengurangi kerugian panas akibat pembakaran yang tidak sempurna. Dengan demikian, keseimbangan antara suplai udara dan kualitas pembakaran sangat menentukan besarnya panas yang hilang. Untuk menghitung total kerugian panas, digunakan persamaan berikut yang diperoleh melalui metode *trial and error*, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4:

$$Q_{fg} = Q_c + Q_{fg} \quad (19)$$

Tabel 4. Optimasi furnace Trial and Error Method

<i>Excess Air (%)</i>	W_a	W_A	W_{fg}	Q_{fg}	Q_C	Q_t
1	17,2072	17,379	18,3701	9,5724	22,6943	32,2666
2	17,2072	17,551	18,5422	9,7577	22,4718	32,2295
3	17,2072	17,723	18,7142	9,9448	22,2536	32,1984
4	17,2072	17,895	18,8863	10,134	22,0396	32,1733
5	17,2072	18,068	19,0584	10,324	21,8297	32,1541
6	17,2072	18,24	19,2304	10,517	21,6238	32,1405
7	17,2072	18,412	19,4025	10,711	21,4217	32,1327
8	17,2072	18,584	19,5746	10,907	21,2233	32,1303
9	17,2072	18,756	19,7467	11,105	21,0286	32,1333
10	17,2072	18,928	19,9187	11,304	20,8375	32,1417
11	17,2072	19,1	20,0908	11,506	20,6497	32,1553
12	17,2072	19,272	20,2629	11,709	20,4654	32,174
13	17,2072	19,444	20,4349	11,913	20,2843	32,1977
14	17,2072	19,616	20,607	12,12	20,1063	32,2264
15	17,2072	19,788	20,7791	12,329	19,9315	32,26
16	17,2072	19,96	20,9512	12,539	19,7597	32,2984
17	17,2072	20,132	21,1232	12,751	19,5908	32,3414
18	17,2072	20,304	21,2953	12,964	19,4248	32,3892
19	17,2072	20,477	21,4674	13,18	19,2615	32,4414
20	17,2072	20,649	21,6394	13,397	19,101	32,4982
21	17,2072	20,821	21,8115	13,616	18,9432	32,5594
22	17,2072	20,993	21,9836	13,837	18,7879	32,625
23	17,2072	21,165	22,1557	14,06	18,6351	32,6948
24	17,2072	21,337	22,3277	14,284	18,4849	32,7689
25	17,2072	21,509	22,4998	14,51	18,337	32,8472

Berdasarkan hasil analisa dalam mengoptimalisasi *excess air* dengan menggunakan metode *trial and error* yang terdapat pada tabel dapat disimpulkan bahwa kerugian panas total (Q_t) yang paling minimum adalah 32,1303 dengan menggunakan *excess air* sebesar 8%. Kerugian panas total (Q_t) yang dioptimalisasi lebih rendah dari data operasi aktual dimana dengan menggunakan *excess air* sebesar 15% akan menghasilkan kerugian panas total (Q_t) sebesar 32,26%. Oleh karena itu, Q_t yang paling kecil, *excess air* 8% adalah *excess air* yang paling optimal untuk digunakan pada *furnace Thermal Deasphalting Unit*. Kemudian hubungan antara kerugian panas yang dihasilkan dengan *excess air* menggunakan metode *trial and error* dapat kita lihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hubungan antara Kerugian Panas vs *Excess Air* (%)

Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa optimasi *excess air* pada kisaran 8% merupakan kondisi operasi terbaik bagi *furnace* PH-401. Panas total yang diperoleh dengan metode *trial and error* menunjukkan kerugian panas yang lebih kecil dibandingkan dengan kondisi operasi aktual pada *excess air* sebesar 15%. Oleh karena itu, pengaturan *excess air* sebesar 8% menghasilkan kondisi pembakaran yang lebih efisien, dengan kerugian panas total yang menurun dan efisiensi termal *furnace* meningkat menjadi 86,2% dari efisiensi awal 85,73%. Peningkatan efisiensi ini membuktikan bahwa pengendalian udara berlebih berperan penting dalam meningkatkan kinerja termal *furnace* sekaligus memberikan keuntungan keekonomian yang signifikan bagi perusahaan melalui penghematan konsumsi bahan bakar.

Meskipun standar industri seperti API dan UOP merekomendasikan 15% *excess air* untuk memastikan pembakaran yang sempurna, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa 8% *excess air* tetap dapat menghasilkan efisiensi termal optimal tanpa menurunkan kualitas pembakaran. Perbedaan antara temuan penelitian ini dan standar industri menunjukkan bahwa terdapat potensi penyesuaian yang lebih fleksibel dalam pengaturan *excess air*, tergantung pada karakteristik *furnace* dan jenis bahan bakar yang digunakan. Perbedaan antara temuan penelitian ini dan standar industri yang ada menunjukkan bahwa mungkin ada potensi untuk lebih fleksibel dalam pengaturan *excess air*, tergantung pada karakteristik *furnace* dan bahan bakar yang digunakan. Dalam literatur sebelumnya seperti yang dilakukan oleh Paramatama Yusuf Boyle pada *furnace Platforming Unit*, melaporkan efisiensi yang lebih rendah dengan *excess air* 9%, sementara penelitian Arvin terhadap *furnace* F-3 di Kilang PPSDM Migas menunjukkan efisiensi 62,81% pada kondisi operasional yang kurang optimal. Hal ini menunjukkan bahwa *furnace* di PT XYZ memiliki potensi optimasi yang lebih besar, terutama dalam menurunkan kerugian panas.

E. Nilai Keekonomian

Dari hasil perhitungan optimalisasi, maka keekonomian pengoperasian *furnace* PH-401 dapat dihitung. Perhitungan keekonomian memerlukan data-data perhitungan *heat loss*, antara lain: [11]

Harga 1 BSRF (1/6,545 TSRF)	= \$ 50 (RPO Perusahaan XYZ)
Harga 1 TSRF (BSRF x 6,545)	= \$ 327,25
Faktor Ton <i>Standart Refinery Fuel</i>	= 1,1986 TSRF/ton fuel
Kurs \$ 1 USD	= Rp 16.575 (update 19 September 2025)
Harga 1 TSRF (Rupiah)	= Rp 16.575 x 327,25 USD/TSRF
	= Rp 5.423.372,72/ TRSF
Jumlah Hari Operasi	= 360 hari/tahun
Energi yang dihemat	= 80.121,21196 kcal/h
LHV Total <i>fuel gas</i>	= 14.661,9 kcal/kg fuel
Penghematan Pemakaian <i>fuel gas</i>	= $\frac{80.121,21196 \text{ kcal/h}}{14.661,9 \text{ kcal/kg fuel}}$
	= 5,464588908 kg/ hr
	= 0,006023678 ton fuel/ h
Penghematan TSRF	= $0,006023678 \text{ ton} \frac{\text{fuel}}{\text{h}} \times 1,1986 \frac{\text{TSRF}}{\text{ton}} \text{fuel}$
	= 0,007219981 TSRF/ h
Penghematan Biaya Operasi/Tahun	= Rp. 338.313.422 Rupiah

Setelah menghitung biaya operasi dengan menggunakan penghematan energi setelah di optimasi maka perbandingan penghematan biaya sesudah optimasi dan biaya sebelum optimasi. Berikut ini perhitungan biaya sebelum optimalisasi

Penghematan Energi	= 1.526.448,617 kcal/h
Penghematan Pemakaian <i>Fuel Gas</i>	= $\frac{1.526.448,617 \text{ kcal/h}}{14.661,9 \text{ kcal/kg fuel}}$
	= 104,1099352 kg/ hr
	= 0,114761559 ton fuel/ h
Penghematan TSRF	= $0,114761559 \text{ ton} \frac{\text{fuel}}{\text{h}} \times 1,1986 \frac{\text{TSRF}}{\text{ton}} \text{fuel}$
	= 0,137553205 TSRF/ h
Biaya Operasi/Tahun	= Rp. 6.445.459.857 Rupiah
% Penghematan Biaya Operasi	= $\frac{\text{Rp.6.445.459.857}}{\text{Rp.338.313.422}} \times 100\%$
	= 5,25%

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengamatan dan perhitungan optimasi pada *Furnace* PH-401 di *Thermal Deasphalting Unit* (TDU) di PT XYZ, maka dapat diambil kesimpulan kondisi operasi terbaik bagi *furnace* PH-401 tercapai dengan menurunkan persentase dari desain awal 15% menjadi 8%. Penggunaan sebesar 8% ini menghasilkan *efisiensi termal* terbaik dan kerugian panas total (32,1303%) yang paling minimal. Optimasi *excess air* berhasil menghemat energi sebesar 80.121,21 kcal/jam. Penghematan ini diperoleh dari minimisasi kerugian panas total. Melalui metode *trial and error*, optimalisasi berhasil menurunkan kerugian panas total (Q dari 32,26% (pada 15%) menjadi 32,1303% (pada 8%). Optimalisasi memberikan keuntungan keekonomian yang signifikan dengan mengurangi konsumsi bahan bakar dan menghasilkan penghematan biaya operasional sebesar Rp 338.313.422 per tahun.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Adi, “K Evaluasi Performance Furnace 12f-1 Naphtha Hydrotreating Unit I Pada Kilang Fuel Oil Complex I Pt Pertamina (Persero) Refinery Unit Iv Cilacap-Jawa Tengah,” 2017.
- [2] D. Q. Kern, *Process Heat Transfer*. New York: McGraw-Hill Book Company, 1965.
- [3] P. Yusuf Boyle and P. Ratu, “Optimasi Excess Air Furnace Platforming Pada Perusahaan X,” 2023.
- [4] W. Al Hafiz and Z. Furqon, “Optimasi Kebutuhan Exess Air Furnace 15-F-102 Di Unit Residu Catalitic Craker Pt. X Dengan Menggunakan Metode Trial And Error,” 2023.
- [5] A. G. Anggara, “Evaluasi Efisiensi Kinerja Furnace F-3 Di Kilang Ppsdm Migas Cepu Kertas Kerja Wajib,” 2021.
- [6] Kardjono, *Pengelolaan Energi & Added Value*. Blora: Pusdiklat Migas, 2004.
- [7] R. H. Perry, *Perry's Chemical Engineering Handbook*. New York: McGraw-Hill Company, 1997.
- [8] W. L. Nelson, *Petroleum Refining Engineering*. New York: McGraw-Hill Book Company, 1969.
- [9] D. Supriyadi, “Gambaran Umum Heater,” TPPI Tuban, 2021.
- [10] W. L. McCabe, *Unit Operations of Chemical Engineering*. New York: McGraw-Hill Book Co., 1999.
- [11] Khurmi, R. S., *Heat Engines*, S. Chand & Company Ltd., New Delhi, 1979.
- [12] A. S. Werdani, “Evaluasi Kinerja Furnace F-2 Di Kilang Ppsdm Migas Cepu Kertas Kerja Wajib,” 2020.
- [13] Cao, Eduardo, *Heat Transfer in Process Engineering*, The McGraw-Hill Companies Inc., USA, 2009.
- [14] Conolly, N. P., *Safe Operation of Fired Heaters*, EP Oil International, British, 1974.
- [15] Maxwell, J. B., *Data Book on Hydrocarbons*, Robert E. Krieger Publishing Company Inc., Malabar, 1950.
- [16] Mistakin, *Design Process Fired Heaters Final*, Cepu, 2019.
- [17] Nelson, W. L., *Petroleum Refining Engineering, 4th ed.*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1969.
- [18] Ondo, H. N., *Fired Heaters Petrokimia Course*, Marathon Oil, 2016

Daftar Simbol:

m	= Massa bahan bakar (lb/jam)
LHV	= Lower Heating Value (Btu/lb)
Cp	= Panas Jenis Fuel Gas (Btu/lb°F)
Δt	= Selisih suhu Fuel Gas dengan suhu basis (°F)
SG	= Specific Gravity
W _o	= Kebutuhan O ₂ Teoritis, lbO ₂ / lbfuel
C	= Berat kandungan Carbon dalam Fuel, lb/lbfuel
H	= Berat kandungan Hydrogen dalam Fuel, lb/lbfuel
S	= Berat kandungan Sulfur dalam Fuel, lb/lbfuel
W _a	= Kebutuhan udara teoritis, lbudara/lbfuel
100	= Nilai udara teoritis, N ₂ 79% vol dan O ₂ 21% vol
23	= Nilai berat O ₂
W _A	= Kebutuhan udara aktual, lbudara/lbfuel
X	= Excess air, %
MA	= Banyak uap air dalam udara, (lbuapair/lbudara)
W _{fg}	= Berat gas asap total (lbasap/lbfuel)
A	= Luas Dinding furnace (m ²)
h _i	= Convection Coefficient of Air (W/m ² K)
ε	= Emisivitas (0,56)
σ	= Konstanta Stefan-Boltzmann (W/m ² K ⁴)