

OPTIMASI PENGGUNAAN BAHAN BAKAR FUEL GAS PADA HEATER 202-H-001 UNIT NAPHTHA HYDROTREATING DI PT C MENGUNAKAN METODE TRIAL AND ERROR

Adinda Dona Putri Hendriani^{1*}, Aditya Dharmawan¹

¹Teknik Pengolahan Minyak dan Gas, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Jalan Gajah Mada
No. 38, Cepu, Blora, Jawa Tengah, 58315

*E-mail: adindadonap@gmail.com

ABSTRAK

Unit *Naphtha Hydrotreating* (NHT) PT C berfungsi mengolah *heavy naphtha* menjadi *sweet naphtha* sebagai umpan ke Unit *Platforming*. Dalam proses ini, *Heater* 202-H-001 memiliki peran penting untuk memanaskan umpan hingga mencapai suhu reaksi sebesar 325 °C. Penggunaan bahan bakar yang melebihi kebutuhan perlu dihindari karena dapat menyebabkan inefisiensi energi dan peningkatan biaya operasi. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengoptimalkan konsumsi bahan bakar pada *heater* menggunakan metode *trial and error*, dengan melakukan pengurangan laju alir (*flow rate*) *fuel gas* pada setiap percobaan. Efisiensi *furnace* 11-F-101 pada bulan Juli 2025 tercatat sebesar 59,31%. Berdasarkan metode *trial and error*, diperoleh kondisi paling optimum pada percobaan ke-22 dari data perhitungan optimasi yang dilakukan selama periode 1–31 Juli 2025. Hasil optimasi menunjukkan bahwa penggunaan *fuel gas* yang semula sebesar 41,10% dapat diminimalkan hingga 38,39%. Upaya ini mampu menurunkan total biaya konsumsi bahan bakar sebesar 7%, atau setara dengan penghematan sebesar Rp 2.902.306.229,96 per tahun. Peningkatan efisiensi terjadi karena panas hasil pembakaran telah sebanding dengan panas yang diserap oleh umpan untuk menaikkan temperaturnya. Kondisi ini menjadikan kinerja *Heater* 202-H-001 lebih optimal, menurunkan nilai *heat loss*, serta mengurangi biaya operasional unit.

Kata kunci: *Effisiensi, Heater, Naphtha Hydrotreating, Optimasi*

1. PENDAHULUAN

Unit *Naphtha Hydrotreating* (NHT) PT C memiliki kapasitas pengolahan sebesar 275 ton per-jam (T/hr). Unit ini merupakan proses katalitik yang memanfaatkan gas hidrogen untuk menguraikan senyawa sulfur, nitrogen, dan oksigen yang terdapat dalam hidrokarbon. Tujuan dari proses *Naphtha Hydrotreating* adalah menghilangkan zat-zat yang dapat meracuni katalis pada proses pengolahan selanjutnya, sehingga produk akhir berupa *sweet naphtha* dapat memenuhi spesifikasi sebagai umpan untuk Unit *Platforming*. Peralatan utama dalam unit ini terbagi menjadi dua bagian, yaitu bagian reaktor dan bagian *stripping*. Dalam Unit *Naphtha Hydrotreating* terdapat dua *heater* yang berfungsi sebagai pemanas umpan menuju reaktor. Salah satunya adalah *Heater* 202-H-001, yang berfungsi menyediakan panas yang dibutuhkan agar umpan mencapai temperatur yang sesuai untuk berlangsungnya reaksi di dalam reaktor.

Heater 202-H-001 memiliki peran krusial dalam menentukan konversi reaksi yang berlangsung di reaktor *Naphtha Hydrotreating*. Reaksi di dalam reaktor terjadi pada suhu sekitar 325 °C, sehingga diperlukan suplai panas agar proses dapat berlangsung secara optimal. *Heater* 202-H-001 berfungsi sebagai pemanas untuk menaikkan temperatur umpan *heavy naphtha* hingga mencapai suhu reaktor. Di dalam reaktor, umpan akan bereaksi dengan bantuan katalis di bawah kondisi proses tertentu hingga menghasilkan produk akhir berupa *sweet naphtha* yang sesuai dengan spesifikasi.

A. Pengertian Heater

Heater merupakan komponen krusial dalam industri pengolahan hidrokarbon dan petrokimia yang berfungsi untuk menaikkan temperatur fluida di dalam pipa (*tube*) sebelum memasuki tahap proses selanjutnya. Sumber panas pada *heater* berasal dari proses pembakaran langsung yang menghasilkan radiasi panas dan dipantulkan kembali ke permukaan *tube* di dalamnya, sehingga dapat meminimalkan kehilangan panas (*heat loss*) [1].

Proses pemanasan pada *heater* dilakukan dengan memanfaatkan energi hasil pembakaran bahan bakar, yang dapat berupa gas alam, minyak, ataupun material padat lainnya. Panas yang dilepaskan selama pembakaran kemudian ditransfer ke fluida yang mengalir melalui pipa di dalam tungku. Tahap pemanasan ini diperlukan agar fluida mencapai temperatur operasi yang sesuai sebelum memasuki proses lanjutan. Bahan bakar (*fuel*) secara umum didefinisikan sebagai zat yang kaya akan kandungan karbon (C) dan hidrogen (H), yang ketika bereaksi dengan oksigen (O₂) dari udara akan menghasilkan sejumlah panas. Panas yang dihasilkan tersebut dikenal sebagai nilai kalor bahan bakar (*heating value*). Karena senyawa utama penyusun bahan bakar adalah karbon dan hidrogen, maka bahan bakar yang digunakan tergolong dalam kelompok bahan bakar hidrokarbon, atau disebut juga *hydrocarbon fuel* [2][3].

B. Dasar Efisiensi

Efisiensi merupakan parameter yang digunakan untuk membandingkan antara energi yang masuk dengan energi yang keluar dari suatu proses [4]. Perhitungan efisiensi dilakukan untuk menilai sejauh mana pemanfaatan panas telah optimal, di mana nilai efisiensi *heater* menjadi salah satu indikator penting dalam menilai kinerja peralatan tersebut. Untuk meningkatkan efisiensi termal *heater*, menurunkan konsumsi bahan bakar, serta memperbaiki kualitas pemanasan pelat, diperlukan sistem pengendalian yang efektif terhadap suhu pelat, keseragaman distribusi suhu, dan temperatur gas buang.

1. Metode *Heat Loss*

Untuk menilai efisiensi berdasarkan kehilangan panas, perlu dihitung perbedaan antara energi panas yang disuplai ke *heater* dan panas yang terlepas, baik melalui konduksi dinding maupun yang ikut terbawa oleh gas buang (*flue gas*) dari cerobong. Nilai tersebut kemudian dibandingkan terhadap total panas yang masuk ke *heater*.

$$Efisiensi = \frac{Total\ Panas\ Masuk - Total\ Panas\ Hilang}{Total\ Panas\ Masuk} \times 100\% \quad (1)$$

2. Metode *Heat Absorbed*

Jumlah panas yang diserap oleh fluida proses, atau fluida yang dipanaskan, juga dapat menjadi dasar penentuan efisiensi termal. Efisiensi termal didefinisikan sebagai rasio antara panas yang dihasilkan selama proses pembakaran dan panas yang diterima oleh fluida proses. Hubungan tersebut dapat digambarkan melalui persamaan matematis sebagai berikut:

$$Efisiensi = \frac{Panas\ yang\ diserap\ fluida}{Total\ Panas\ Masuk\ Furnace} \times 100\% \quad (2)$$

C. Perhitungan Efisiensi

Panas yang dihitung terdiri atas panas masuk dan panas keluar. Panas masuk ke dalam *heater* berasal dari hasil pembakaran bahan bakar (*fuel*) oleh pembakar (*burner*). Jumlah total bahan bakar yang digunakan ditentukan berdasarkan kebutuhan energi panas untuk memanaskan umpan proses.

Perhitungan panas masuk pada *heater* mencakup panas sensibel dari bahan bakar minyak maupun gas, serta panas yang dihasilkan dari proses pembakaran. Selain itu, panas juga berasal dari panas sensibel udara pembakaran, panas yang dibawa oleh uap air di dalam udara, dan panas sensibel dari uap air itu sendiri. Beberapa persamaan berikut digunakan untuk menentukan besarnya panas masuk dan panas keluar dari sistem [5]:

1. Panas *Sensible Fuel gas*

Perhitungan panas *sensibel fuel gas* dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q = m_{fuel\ gas} \times \% \text{tiap komponen} \times Cp_{Avg} \times \Delta T \quad (3)$$

2. Panas Pembakaran *Fuel gas*

Perhitungan panas yang dihasilkan dari pembakaran *fuel gas* dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q = LHV\ Total = \sum_{i=1}^n LHV \quad (4)$$

3. Panas *Sensible Udara Pembakaran*

Perhitungan panas sensibel yang berasal dari udara pembakaran dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q = WA \times Cp_{Avg} \times \Delta T \quad (5)$$

$$W_0 = \frac{8}{3}C + 8H + S \quad (6)$$

$$W_0 = \frac{8}{3}C + 8 \left(H_2 - \frac{O_2}{8} \right) + S \quad (7)$$

$$W_a = \frac{100}{23} \times W_0 \quad (8)$$

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

4. Panas *Sensible Uap Air*

Besarnya panas sensibel yang terkandung dalam uap air dapat diperoleh melalui perhitungan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$M_a = \frac{P_{uap\ air}}{P_{udara}} \times \frac{RH}{100} \times \frac{MW\ H_2O}{MW\ udara} \quad (10)$$

$$MA = Ma + Wa \quad (11)$$

$$Q = Ma \times Cp_{Avg} \times \Delta T \quad (12)$$

Sedangkan panas yang keluar bisa di ketahui dengan menggunakan perhitungan panas hilang melalui *stack*, panas yang di serap fluida/*feed*, dan panas hilang melalui dinding *heater*.

1. Panas hilang melalui *stack*

Faktor-faktor seperti jenis bahan bakar dan jumlah udara yang digunakan dalam proses pembakaran dapat memengaruhi massa flue gas yang dihasilkan. Kandungan utama dari *flue gas* meliputi CO₂, H₂O, SO₂, N₂, dan O₂. Secara stoikiometri, berat *flue gas* per-satuan massa bahan bakar dapat dihitung menggunakan rumus berikut [6],

$$W_a = \frac{11}{3}C + 2S + 9H_2 + 0,77W_A + (0,0023 \times X \times W_A) + H_2O + (W_A \times M_a) \quad (13)$$

$$WFG = m^{fuel\ total} \times Wf \quad (14)$$

$$CO_2 = \frac{11}{3}C \times \left(\frac{WFG}{Wfg}\right) \quad (15)$$

$$H_2O = (9H_2 + H_2O + (WA \times Ma)) \left(\frac{WFG}{Wfg}\right) \quad (16)$$

$$SO_2 = 2S \times \left(\frac{WFG}{Wfg}\right) \quad (17)$$

$$N_2 = 0,77Wa \times \left(\frac{WFG}{Wfg}\right) \quad (18)$$

$$O_2 = 0,0023 \times X \times Wa \times \left(\frac{WFG}{Wfg}\right) \quad (19)$$

$$Q = \sum m \times CpAvg \times \Delta T \quad (20)$$

2. Panas yang di serap fluida/Feed

Jumlah panas yang diserap oleh *feed* ditentukan dari selisih antara panas yang dibawa *feed* saat keluar dan saat masuk *heater* [6],

$$Q_{Absorbed} = Q_2 - Q_1 \quad (21)$$

$$Q_5 = mFeed \times H_1 \quad (22)$$

$$Q_6 = Q_2L \times Q_2V \quad (23)$$

$$Q_6L = m_2L \times H_21 \quad (24)$$

$$Q_6V = m_2V \times H_2V \quad (25)$$

3. Panas yang hilang melalui dinding *heater*

Panas yang hilang melalui dinding *heater* merupakan penjumlahan dari panas yang hilang akibat konveksi dan panas yang hilang akibat radiasi. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut [6],

$$Q_7 = Q_{konveksi} \times Q_{radiasi} \quad (26)$$

$$Q_{konveksi} = \varepsilon \times \sigma \times A_1 \times T_2^4 - T_1^4 \quad (27)$$

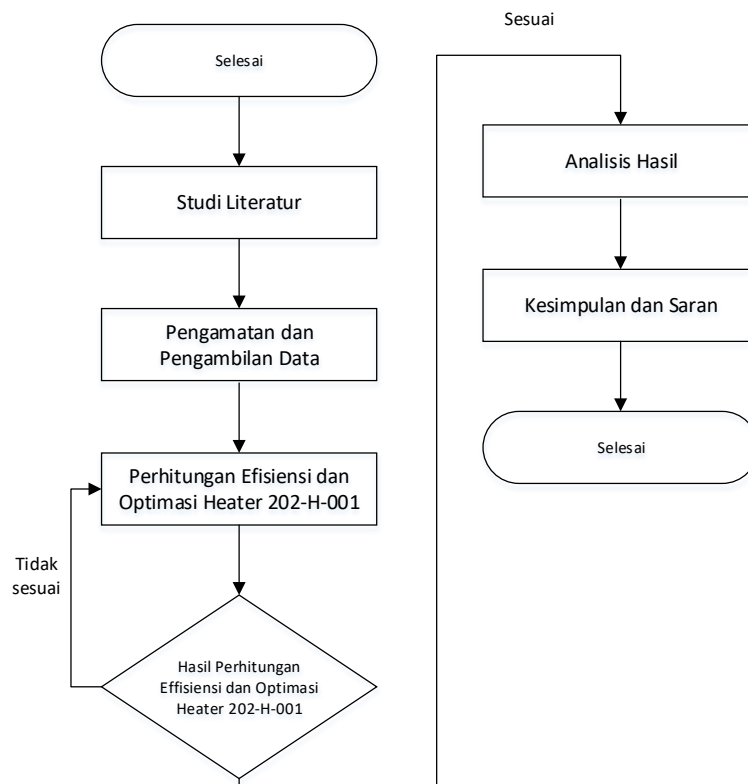
$$Q_{radiasi} = h_i \times A_2 \times (T_2 - T_1) \quad (28)$$

$$h = (17,4 \times 10^{-10} \times \varepsilon \times (T_2^4 - T_1^4)) + (17,4 \times 10^{-10} \times \varepsilon \times (T_2 - T_1)) \quad (29)$$

$$h_i = \frac{h}{T_2 - T_1} \quad (30)$$

2. METODE

Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan yang mencakup variabel, metode kerja, dan metode analisis. Variabel penelitian terbagi menjadi dua jenis, yaitu variabel independen dan variabel dependen. Variabel independen yang dikaji meliputi laju alir (*flow rate*) bahan bakar, seperti *fuel oil* dan *fuel gas*, serta suhu COT (*coil outlet temperature*/suhu *feed* masuk) pada keluaran *heater*. Adapun variabel dependen meliputi total panas yang masuk ke dalam *Heater* 202-H-001 serta nilai efisiensinya. Mengacu pada *flowchart* pada Gambar 1, penelitian ini terdiri atas beberapa tahapan. Tahapan pertama adalah studi literatur dan pengumpulan data yang dilakukan selama bulan Juli 2025. Data yang terkumpul kemudian diolah menggunakan *Microsoft Excel* untuk menghitung efisiensi serta melakukan optimasi operasional peralatan. Hasil perhitungan tersebut selanjutnya dibandingkan dengan data desain *Heater* 202-H-001.



Gambar. 1 Diagram *flowchart*

Perbandingan dilakukan untuk meninjau kembali keakuratan hasil perhitungan. Apabila hasil yang diperoleh belum sesuai, maka dilakukan perhitungan ulang hingga diperoleh nilai yang akurat. Nilai efisiensi aktual yang diperoleh digunakan sebagai dasar untuk mengevaluasi

faktor-faktor yang menyebabkan perbedaan antara efisiensi desain dan efisiensi aktual. Perhitungan optimasi dilakukan untuk menganalisis variasi laju alir (*flow rate*) *fuel gas* yang berpotensi memberikan keuntungan dari sisi biaya operasi (*cost*).

3. PEMBAHASAN

A. Data Design dan Kondisi Basic Operasi Heater

Data design dan data *basic* kondisi operasi *heater* adalah data dasar yang di gunakan untuk mencari perhitungan evaluasi, untuk *data design* dan *data basic* kondisi operasi biasanya digunakan untuk dasar perhitungan mencari panas masuk dan panas keluar untuk mengetahui panas yang di hasilkan yang bertujuan untuk mendapatkan efisiensi dari *heater*. Tabel 1 adalah spesifikasi *Heater* dan Tabel 2 merupakan data kondisi operasi *Heater* (202-H-001) selama bulan 1 -31 Juli 2025. Pada Tabel 2. ditampilkan data *flow rate feed* dan *fuel gas*, serta data temperatur *feed* dan temperatur *stack* yang digunakan sebagai dasar perhitungan efisiensi *Heater* 202-H-001.

Tabel 1. Data Spesifikasi Heater

Parameter	Spesifikasi
Nama Alat	<i>Heater</i> (202-H-001)
Tipe	<i>Vertical Cylindrical All Radiant</i>
Material	<i>C. Steel</i>
Tipe Draft	<i>Force draft</i>
Susunan coil	<i>vertical</i>
Num. Of burner	6
Lokasi burner	<i>Floor</i>
efficiency	63,4 %
Lokasi burner	<i>Floor</i>

Tabel 2. Basic Kondisi Operasi Heater

Tanggal	<i>Flow Feed Heater</i> (kg/hr)	<i>Flow Fuel gas</i> (kg/hr)	<i>Temp. Inlet Heater</i> (°C)	<i>Temp. Outlet Heater</i> (°C)	<i>Stack Temp.</i> (°C)
01/07/2025	229998,38	785,21	279,32	325,09	762,30
02/07/2025	246389,37	811,99	279,97	325,05	777,54
03/07/2025	248889,35	813,83	280,18	325,10	778,50
04/07/2025	248811,13	811,58	280,22	325,09	777,65
05/07/2025	248595,09	812,76	280,06	325,08	777,64
06/07/2025	244286,56	795,38	280,16	325,11	775,25

07/07/2025	227325,83	753,11	280,28	325,12	757,52
08/07/2025	238556,72	816,88	279,71	325,05	769,96
09/07/2025	242295,00	812,94	280,03	325,19	774,15
10/07/2025	164799,83	567,91	280,46	325,11	691,41
11/07/2025	163000,95	557,43	280,35	325,09	690,14
12/07/2025	161780,10	544,18	280,41	325,09	688,63
13/07/2025	161996,62	505,75	280,19	325,12	691,46
14/07/2025	172568,32	533,11	280,10	325,04	699,83
15/07/2025	236445,79	753,05	279,42	325,02	764,31
16/07/2025	261563,46	859,63	279,91	325,08	785,86
17/07/2025	273557,05	904,70	279,45	324,28	801,61
18/07/2025	267189,93	933,90	279,84	325,12	800,69
19/07/2025	249644,72	899,27	279,44	325,12	785,33
20/07/2025	240372,72	866,23	279,31	325,10	775,88
21/07/2025	268109,67	925,82	280,07	325,06	799,51
22/07/2025	272817,95	935,93	280,08	325,10	804,59
23/07/2025	274092,94	934,04	280,20	325,08	805,05
24/07/2025	274071,43	936,81	280,60	325,09	802,45
25/07/2025	274883,94	940,63	281,09	325,10	800,52
26/07/2025	266692,91	909,20	281,29	325,11	791,95
27/07/2025	262332,07	907,51	280,98	325,10	789,84
28/07/2025	268815,98	918,22	281,27	325,08	794,80
29/07/2025	274787,33	935,24	281,79	325,10	797,81
30/07/2025	274853,76	937,60	281,64	325,09	799,09
31/07/2025	274467,31	954,69	281,03	325,10	802,53
Rerata	242386,84	818,53	280,28	325,07	771,41

B. Neraca Panas dan Perhitungan Efisiensi *Heater*

Dengan dilakukannya perhitungan menggunakan Pers. (1) sampai dengan Pers. (30) maka didapatkan nilai dari efisiensi pada *Heater* 202-H-001 dengan menggunakan data kondisi operasi pada tanggal 1 - 31 Juli 2025, maka nilai hasil neraca panas yang didapatkan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Neraca Panas pada Heater

Panas	Masuk	Keluar	Diserap	Satuan
Q1	43195903,86			btu/ h
Q2	69279			btu/ h
Q3	241152,8878			btu/ h
Q4	7007,113			btu/ h
Q5		6032862,465		btu/ h
Q6		2223244,985		btu/ h
Q7			25807707,721	btu/ h
Q8		9.449.528		btu/ h
Q1	43195903,86			btu/ h
Total	43513343,239	17.705.636	25807707,721	btu/ h
		43513343,239		

Perhitungan efisiensi pada *Heater* difokuskan untuk memperoleh evaluasi kinerja dalam proses pemanasan umpan, dengan tujuan mencapai efisiensi termal yang tinggi serta menekan konsumsi dan biaya bahan bakar gas [7],[8]. Setelah mengetahui neraca panas masuk keluar dan di serap, maka efisiensi *heater* dapat di hitung dengan menggunakan dua metode yaitu metode *heat loss* dan metode *heat absorber* dengan persamaan,

Metode *Heat Absorbed*

$$\eta = \frac{\text{Panas yang diserap feed}}{\text{Total panas masuk heater}} \times 100\% \quad (31)$$

Metode *Heat Loss*

$$\eta = \frac{\text{Total Panas Masuk} - \text{Total Panas Hilang}}{\text{Total panas masuk heater}} \times 100\% \quad (32)$$

Perhitungan efisiensi yang di dapatkan dengan metode *heat loss* dan *head absorbed* adalah 69,3% sedangkan data design (%) LHV sebesar 63,4%. Efisiensi aktual yang diperoleh menunjukkan hasil yang cukup mendekati nilai efisiensi desain, dengan selisih sebesar 4,1%. Perbedaan ini dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satunya adalah umur operasi *Heater* 202-H-001 yang telah beroperasi sejak tahun 1996, atau sekitar 28 tahun. Dengan usia operasi tersebut, selisih yang muncul masih dapat dikategorikan wajar dan aman dibandingkan nilai desain. Meskipun demikian, perbedaan ini tetap perlu diawasi, dengan batas toleransi maksimal 10% dari nilai desain. Apabila selisih melampaui batas tersebut, maka diperlukan tindakan seperti perbaikan maupun pembersihan pada *Heater*.

Efisiensi *heater* dapat ditingkatkan melalui berbagai metode, seperti peningkatan kadar oksigen pada proses pembakaran [9], pemanfaatan panas dari gas buang untuk memanaskan udara pembakaran serta penerapan *economizer* [10], dan pengaturan tekanan untuk meminimalkan kebocoran uap.

C. Perhitungan Optimasi *Furnace 11-F-101* Dan Analisa Hasil

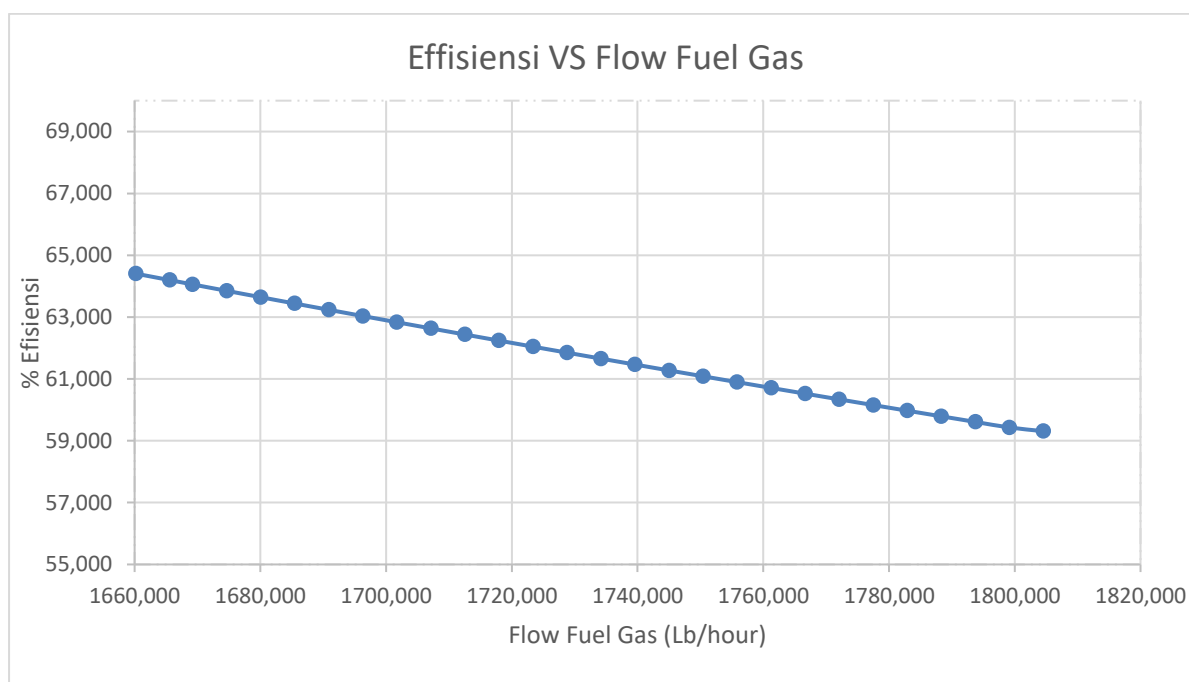
Optimasi dilakukan menggunakan pendekatan *trial and error*, di mana setiap percobaan dilakukan dengan mengurangi laju alir *fuel gas*. Hasil perhitungan optimasi diambil dari data Tabel 4 selama periode 1–31 Juli.

Tabel 4. *Trial and Error* Menghitung Optimasi Heater

Tanggal	Flow Fuel Gas (Lb/hr)	% Efisiensi
Basis	818,53	59,310
01/07/2025	816,08	59,430
02/07/2025	813,62	59,610
03/07/2025	811,17	59,790
04/07/2025	808,71	59,972
05/07/2025	806,26	60,155
06/07/2025	803,80	60,338
07/07/2025	801,34	60,523
08/07/2025	798,89	60,709
09/07/2025	796,43	60,896
10/07/2025	793,98	61,085
11/07/2025	791,52	61,274
12/07/2025	789,07	61,465
13/07/2025	786,61	61,657
14/07/2025	784,16	61,850
15/07/2025	781,70	62,044
16/07/2025	779,24	62,240
17/07/2025	776,79	62,436
18/07/2025	774,33	62,634
19/07/2025	771,88	62,834
20/07/2025	769,42	63,034
21/07/2025	766,97	63,236
22/07/2025	764,51	63,439
23/07/2025	762,05	63,644
24/07/2025	759,60	63,849

25/07/2025	757,14	64,056
26/07/2025	755,51	64,195
27/07/2025	753,05	64,405
28/07/2025	750,60	64,615
29/07/2025	748,14	64,827
30/07/2025	745,68	65,041
31/07/2025	743,23	65,256

Gambar 2 menunjukkan bahwa penurunan laju alir massa *fuel gas* memberikan efek peningkatan efisiensi *heater* secara linier. Artinya, semakin besar pengurangan *fuel gas*, maka efisiensi sistem juga semakin tinggi. ini terjadi karena kelebihan bahan bakar dapat menyebabkan peningkatan heat loss, yang berdampak pada penurunan efisiensi termal *Heater*. Berdasarkan hasil percobaan trial and error, efisiensi tertinggi dicapai saat penggunaan *fuel gas* dikurangi hingga 6,6% dari 818,53 lb/hr, dan *fuel gas* berhasil dihemat sebanyak 119,101 lb/hr. Perbandingan kondisi operasi sebelum dan sesudah optimasi ditampilkan pada Tabel 5.



Gambar 2. Grafik Efisiensi vs Flow Fuel Gas

Tabel 5. Perbandingan kondisi operasi sebelum dan sesudah optimasi

Bahan bakar	Sebelum Optimasi	Sesudah Optimasi	Persentase
Basis	818,53	818,53	100,0%
<i>Fuel Gas</i>	818,53	764,51	93,4%
Selisih			6,6%

D. Analisa Ekonomi

Setelah dilakukan optimasi terhadap penggunaan *fuel* pada *heater*, dilakukan perhitungan biaya konsumsi *fuel gas* yang dapat dihemat. Asumsi harga *fuel gas* yang digunakan adalah 4,5 USD/mmBTU dengan nilai tukar Rupiah terhadap USD pada 15 Oktober 2025 sebesar Rp 16.572 per USD. Perhitungan biaya konsumsi *fuel* sebelum dan sesudah optimasi ditunjukkan dengan persamaan sebagai berikut,

$$\text{Biaya Konsumsi} = \text{BBL/hr} \times \text{harga fuel gas} \times 1\$ \text{ USD (Rp 16.572)} \quad (33)$$

Dari Pers. (33), didapatkan biaya konsumsi sebelum optimasi Rp. 44.461.838.781,16/tahun dan setelah optimasi sebesar Rp. 41.559.532.551,20/tahun. Selisih biaya per-tahun didapatkan sebesar Rp. 2.902.306.229,96 atau 7% penghematan biaya/tahun.

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan efisiensi *Heater* 202-H-001 pada periode Juli 2025, diperoleh nilai efisiensi sebesar 59,3% baik dengan metode *Heat Loss* maupun metode *Heat Absorbed*. Nilai efisiensi %LHV yang diperoleh masih mendekati data desain, di mana efisiensi desain *Heater* 202-H-001 tercatat sebesar 63,4 %LHV. Dengan menggunakan metode *trial and error* didapatkan kondisi paling optimum pada percobaan ke-22 dari data perhitungan optimasi yang dilakukan selama periode 1–31 Juli 2025. Hasil optimasi menunjukkan bahwa penggunaan *fuel gas* yang semula sebesar 41,10% dapat diminimalkan menjadi 38,39%. Berdasarkan hasil optimasi pengurangan konsumsi *fuel*, total biaya operasional mengalami penurunan, yang secara langsung meningkatkan profitabilitas perusahaan. Biaya operasi tahunan yang sebelumnya sebesar Rp 44.461.838.781,16 menurun menjadi Rp 41.559.532.551,20, dengan selisih penghematan mencapai 7% atau sekitar Rp 2.902.306.229,96 per tahun.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Agung. Wahyudi, "Analisa kinerja *heater* penyebab *tube leak* di *convection section heater* 025f-101 unit 025 kilang PT Pertamina (Persero) RU IV Cilacap," Program Studi Teknik Mesin Sekolah Tinggi Teknik Wiworotomo Purwokerto, Indonesia, 2015.
- [2] Shao, L., Zou, Z., & Saxén, H. "Performance improvement of the H2 shaft heater: A numerical study on hot charge operation". *Fuel*, 378. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2024.132878>
- [3] Xie, J., Yu, X., & Shen, Y. "How blast rate variation affects dynamic in-heater behaviours and energy consumption of an industrial-scale blast heater: A transient-state CFD study". *Powder Technology*, 448. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2024.120348>
- [4] Yunira Ayu Saputri, dkk., "Analisis efisiensi *heater* pada pengolahan *steam* pada pengolahan *steam* unit 7 pembangkit listrik tenaga uap," *Distilat*, 8 (1), 54-63., 2023.
- [5] Hassan Al-Haj, I. "Fired Process Heaters" *Matlab-Modelling, Programming, and Simulations*. 2010.
- [6] Nelson, W. L. "Petroleum Refinery Engineering (4th ed.)". New York: McGraw-Hill. 1985.
- [7] Liang, W., Liu, G., Han, C., Xia, L., Zhu, W., Yang, J., & Han, J. "Techno-economic analysis and fuel applicability study of a novel gasifier-SOFC distributed energy system with CO2 capture and freshwater production". *Desalination*, 586. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2024.117901>
- [8] Lutsenko, N. A., & Borovik, K. G. "Gasification of solid fuels in a low-temperature gas generator: a new computational model and a study of the effect of gasifier length". *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 231. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2024.125876>
- [9] Wahid, Aditya. "Pemodelan dan Simulasi Peningkatan Suhu Nyala Teoritis Dan Efisiensi Tungku Berbahan Gas", Fakultas Teknik Jurusan Teknik Kimia. Universitas Indonesia. Depok. 2019.

- [10] Chalim, Farizka, Husen. “Efektivitas dan Efisiensi Alat Penukar Panas Jenis Shell and Tube 1-1 Kapasitas 20 Liter untuk Sistem Air-Air”. Prodi D3 Teknik Kimia Jurusan Teknik Kimia. Politeknik Negeri Malang. Malang. 2016.

Daftar Simbol

A_1	=	Luas dinding furnace bagian konveksi (ft ²)
A_2	=	Luas dinding furnace bagian radiasi (ft ²)
C	=	Massa komponen karbon di dalam fuel oil dan fuel gas (lb/jam) / Persen berat komponen karbon di dalam fuel oil dan fuel gas (%)
C_{p_avg}	=	Kalor jenis rata-rata fuel gas antara C_p basis dengan C_p aktual (BTU/lb·°F)
C_{p_wavg}	=	Kalor jenis rata-rata uap air pada temperatur basis dan aktual
C_{p_wg}	=	Kalor jenis rata-rata udara pembakaran antara C_p basis dengan C_p aktual (BTU/lb·°F)
C_{p_wv}	=	Kalor jenis rata-rata uap air aktual dengan C_p aktual (BTU/lb·°F)
ε	=	Emisivitas dinding furnace
h	=	Transfer panas (BTU/jam·ft ²)
h_i	=	Transfer panas (BTU/jam·ft ² ·°F)
H	=	Massa komponen hidrogen di dalam fuel oil dan fuel gas (lb/jam) / Persen berat komponen hidrogen di dalam fuel oil dan fuel gas (%)
$H_{fg,L}$	=	Entalpi feed furnace dalam fasa cair (BTU/jam)
$H_{fg,V}$	=	Entalpi feed furnace dalam fasa gas (BTU/jam)
H_s	=	Entalpi feed masuk furnace (BTU/lb)
H_2O	=	Persen berat komponen air di dalam fuel oil dan fuel gas (%)
LHV	=	Panas pembakaran fuel gas (BTU/jam)
LHV_total	=	Penjumlahan LHV tiap-tiap komponen setelah dikalikan persen massanya (BTU/jam)
M_a	=	Jumlah uap air dalam udara pembakaran (lb/jam)
M_t	=	Jumlah uap air per satuan massa udara pembakaran (lb uap air/lb udara)
m_feed	=	Aliran massa fuel gas (lb/jam)
m_feed,f	=	Aliran massa feed keluar furnace dalam fasa cair (lb/jam)
m_feed,g	=	Aliran massa feed keluar furnace dalam fasa gas (lb/jam)
m_feed,fl	=	Aliran massa feed masuk furnace (lb/jam)
P_{atm}	=	Tekanan 1 atmosfer (14.696 psia)
$P_{wg,sat}$	=	Tekanan parsial uap air (0.6217 psia)
Q	=	Panas sensible fuel gas (BTU/jam)
Q_3	=	Panas yang dibawa <i>feed</i> masuk furnace (BTU/jam)
$Q_{absorbed}$	=	Panas yang diserap <i>feed</i> (BTU/jam)
Q_7	=	Panas yang hilang melalui dinding furnace (BTU/jam)
$Q_{konveksi}$	=	Panas yang hilang melalui dinding furnace secara konveksi (BTU/jam)
$Q_{radiasi}$	=	Panas yang hilang melalui dinding furnace secara radiasi (BTU/jam)
RH	=	Relative Humidity (%)
S	=	Massa komponen sulfur di dalam <i>fuel oil</i> dan <i>fuel gas</i> (lb/jam) / Persen berat komponen sulfur di dalam <i>fuel oil</i> dan <i>fuel gas</i> (%)
σ	=	Konstanta Stefan-Boltzmann (1.984×10^{-7} BTU/h·ft ² ·°F ⁴)
T_1	=	Temperatur lingkungan dan dinding <i>furnace</i> (°F)
T_2	=	Selisih temperatur fuel/gas/udara pembakaran dengan temperatur basis (°F)
ΔT	=	Kecepatan angin (ft/s)
V	=	Massa oksigen yang dibutuhkan (lb/jam)
W_o	=	Massa kebutuhan udara sebenarnya (lb udara/jam) / Kebutuhan udara pembakaran sebenarnya (lb udara/lb fuel)
W_A	=	Kebutuhan udara pembakaran sebenarnya per satuan massa fuel (lb udara/lb fuel)
$W_{A'}$	=	Kebutuhan udara teoritis (lb udara/jam) / (lb udara/lb fuel)
W_{Ath}	=	Massa flue gas (lb/jam) / Massa flue gas per satuan massa fuel (lb fuel gas/lb fuel)
W_{fg}	=	Excess air (%)
X	=	Luas dinding furnace bagian konveksi (ft ²)