

## EVALUASI KINERJA FURNACE F-14-001 DI HIGH VACUUM UNIT (HVV) II PT PERTAMINA INTERNASIONAL REFINERY UNIT III

A. P. Zahra<sup>1</sup>, E. Nurisman<sup>1\*</sup>, dan M. Aristin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Teknik Kimia, Universitas Sriwijaya, Palembang

\*Corresponding author e-mail: [enggalnurisman@unsri.ft.ac.id](mailto:enggalnurisman@unsri.ft.ac.id)

**ABSTRAK:** PT. Kilang Pertamina Internasional RU III Plaju adalah salah satu bagian dari enam Refinery Unit yang terdiri dari dua proses utama berupa Primary Process dan Secondary Process. Pada prinsipnya proses pengolahan HVU II di PT. Kilang Pertamina Internasional RU III dilakukan dengan cara memisahkan fraksi-fraksi atas dasar perbedaan titik didih dan pada tekanan vakum. Di Unit HVU II tersebut terdapat furnace yang digunakan dalam proses pemisahan fraksi-fraksi minyak. Seiring meningkatnya lama operasi furnace, efisiensi pemindahan panas menunjukkan penurunan dari data desain. Oleh karena itu, dilakukan analisis kinerja furnace melalui perhitungan neraca massa dan neraca panas. Berdasarkan analisis perhitungan neraca massa dan panas terhadap data operasi yang diamati dari tanggal 27 Agustus – 15 Oktober 2024, nilai efisiensi termal yang didapatkan rata-rata sebesar 81.97%. Efisiensi terendah pada periode 78.96%, dan paling tinggi adalah 84.06%, sedangkan nilai efisiensi termal furnace F-14-001 pada data desain sebesar 85%. Nilai dari efisiensi furnace dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain kadar O<sub>2</sub> excess, laju alir feed, dan heat loss yang dihasilkan. Heat loss yang besar disebabkan oleh banyaknya panas yang hilang terbawa flue gas ke lingkungan dan berdampak menurunkan efisiensi termal furnace. Oleh sebab itu diperlukan pengecekan dan pemeliharaan untuk memastikan APH (Air Pre Heater) masih bekerja dengan baik, serta mempertimbangkan rasio udara dan bahan bakar agar proses pembakaran lebih optimal.

Kata Kunci: Furnace, Heat loss, Air Pre Heater, O<sub>2</sub> excess, Efisiensi Termal

**ABSTRACT:** PT. Kilang Pertamina Internasional RU III Plaju is one of the 6 Refinery Units consisting of two main processes, namely the Primary Process and the Secondary Process. In principle, the HVU II processing process at PT. Kilang Pertamina Internasional RU III is carried out by separating fractions based on differences in boiling points and at vacuum pressure. In the HVU II Unit, there is a furnace used in the process of separating oil fractions. As the operating duration of the furnace increases, its heat-transfer efficiency shows a decline compared to the design data. Therefore, a performance analysis of the furnace is conducted through mass and heat balance calculations. Based on the analysis of mass and heat balance calculations on operational data observed from August 27 - October 15, 2024, the average thermal efficiency value obtained was 81.97%. The lowest efficiency was in the period of 78.96%, and the highest was 84.06%, while the thermal efficiency value of the F-14-001 furnace in the design data was 85%. The value of furnace efficiency is influenced by several factors, including the level of excess O<sub>2</sub>, feed flow rate, and heat loss produced. Large heat losses are caused by the large amount of heat lost to the flue gas and the environment, reducing the furnace's thermal efficiency. Therefore, inspections and maintenance are necessary to ensure the Air Preheater (APH) is still functioning properly, as well as to consider the air-to-fuel ratio for optimal combustion.

Keywords: Furnace, Heat loss, Air Pre Heater, O<sub>2</sub> excess, Thermal Efficiency

### PENDAHULUAN

PT. Pertamina Refinery Unit III merupakan salah satu unit Refinery Unit Pertamina dengan kegiatan utamanya mengolah minyak mentah dan *intermediate product* menjadi produk jadi, seperti BBM (Premium, Kerosene, Solar & Fuel Oil), NBBM (LPG, Musicoil, HAP, LAWS, SBPX, LSWR), BBK (Avtur, Peralite, Pertamina,

Pertamax Racing) dan produk lainnya seperti LSFO dan Polypropylene (Polytam). Salah satu unit yang penting di RU III Plaju adalah *Crude Distiller & Light Ends* (CD&L).

*Crude Distiller & Light Ends* (CD&L) adalah serangkaian unit pengolahan minyak yang mengolah komponen-komponen fraksi ringan. Secara garis besar *Crude Distiller & Light Ends* (CD&L) terdiri dari 4 unit

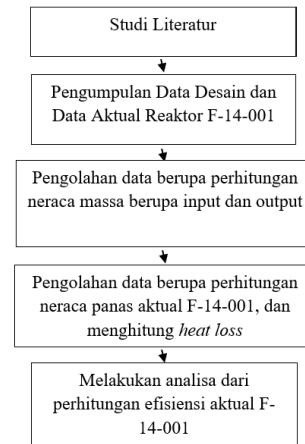
utama, yaitu *Crude Distiller VI* (CD-VI), *High Vacuum Unit II* (HVU-II), *Fluid Catalytic Cracking Unit* (FCCU), dan *Light End Unit*. Kilang HVU II memproduksi *Light Vacuum Gas Oil* (LVGO), *Medium Vacuum Gas Oil* (MVGO), *Heavy Vacuum Gas Oil* (HVGO) dan *Vacuum Residue*.

Salah satu alat terpenting dalam proses produksi ini yaitu *furnace*. Sumber panas *furnace* berasal dari pembakaran antara *fuel oil*, *fuel gas*, atau kombinasi *fuel oil* dan *fuel gas* dengan udara dimana panas hasil pembakaran diserap oleh fluida yang mengalir dalam tube-tube *furnace*. Hal tersebut perlu dilakukan karena fluida harus dipanaskan terlebih dahulu untuk mencapai suhu operasi tertentu sebelum memasuki proses selanjutnya (Connolly, 1974:8). *Furnace* adalah kunci utama dalam proses distilasi atmosferik maupun vakum, thermal cracking, dan pemrosesan gas pada suhu tinggi. Berbagai jenis unit *furnace* diperlukan untuk menangani fluida pada temperatur 1500°F maupun pada kondisi operasi 1100°F saat tekanannya 1600 psig (Kern, 1983:678).

Penggunaan energi yang berlebih atau laju alir umpan yang sangat tinggi akan berpengaruh pada kinerja *furnace*. Usia dari *furnace* yang cukup tua dapat mempengaruhi optimalitas kinerja dari *furnace* untuk meningkatkan suhu *long residue*. Kinerja *furnace* dapat dikatakan baik apabila *furnace* mampu memberikan panas yang sebanyak-banyaknya dan dapat menekan panas yang hilang seminimal mungkin. Kinerja *furnace* yang tidak optimal berakibat pada penurunan *yield* produk yang dihasilkan dan dapat mengganggu proses produksi. Untuk mengukur efektivitas *furnace* bekerja secara efisien atau tidak, maka diperlukan perhitungan efisiensi *furnace* secara aktual. Perhitungan efisiensi ini dapat menjadi acuan mengenai kelayakan kinerja *furnace* HVU II dalam beroperasi.

## METODE PERHITUNGAN

Metode yang digunakan meliputi tahapan yang disusun secara sistematis untuk menunjang kelancaran pembuatan laporan tugas khusus ini. Tahapan yang dilakukan meliputi tahap pengumpulan data, pengolahan data, serta tahap analisa dan evaluasi. Diagram alir tahapan yang dilakukan secara garis besar disajikan pada diagram di bawah ini:



Gambar 1. Diagram Alir Tahapan Proses

Dalam perhitungan efisiensi *furnace*, dapat dilakukan dengan menghitung neraca panas yang meliputi panas masuk dan keluar *furnace*.

### Tahap Pengumpulan Data

Mengumpulkan data-data untuk *furnace* F-14-001 dimonitoring dan di laboratorium proses (PE). Adapun data-data tersebut adalah laju alir umpan, laju alir *fuel gas*, suhu masuk *fuel gas*, komposisi *fuel gas*, komposisi *flue gas*, temperatur umpan masuk, temperatur umpan keluar, *specific gravity* umpan, suhu udara pembakaran, temperatur dinding *Furnace*, *O<sub>2</sub> excess*, dan temperatur keluaran *stack*.

### Tahap Pengolahan Data

Tahapan awal ialah perhitungan neraca massa berupa *input* dan *output*, adapun untuk perhitungan input neraca massa meliputi :

1. Menghitung *feed* yang masuk *furnace*
2. Menghitung *fuel gas* yang disuplai
3. Menghitung kmol dari masing-masing komponen *fuel gas*
4. Menghitung *O<sub>2</sub>* Teoritis dari *fuel gas*
5. Menghitung *O<sub>2</sub>* dari udara suplai
6. Menghitung *N<sub>2</sub>* dari udara suplai
7. Menghitung udara suplai

Kemudian, perhitungan neraca massa output dari *Furnace* F-14-001, meliputi :

1. Menghitung *O<sub>2</sub>* keluar *stack*
2. Menghitung *N<sub>2</sub>* keluar *stack*
3. Menghitung *CO<sub>2</sub>* hasil pembakaran
4. Menghitung *CO<sub>2</sub>* keluar *stack*
5. Menghitung *H<sub>2</sub>O* hasil pembakaran
6. Menghitung *H<sub>2</sub>O* keluar *stack*

Setelah perhitungan neraca massa dilakukan, dilanjutkan dengan perhitungan neraca panas pada furnace, meliputi :

1. Panas Sensibel Long Residue masuk ( $Q_1$ )  
 $Q_1 = m \cdot C_p \cdot (T_{\text{masuk}} - T_{\text{basis}}) \dots\dots\dots(1)$
2. Panas Pembakaran Fuel Gas ( $Q_2$ )  
 $Q_2 = n \cdot C_p \cdot (T_{\text{masuk}} - T_{\text{basis}}) \dots\dots\dots(2)$
3. Panas Pembakaran *Fuel Gas* ( $Q_3$ )  
 $Q_3 = V \cdot \text{NHV} \dots\dots\dots(3)$
4. Panas Sensibel Udara Pembakaran  
 $Q_4 = n \cdot C_p \cdot (T_{\text{masuk}} - T_{\text{basis}}) \dots\dots\dots(4)$
5. *Long Residue* Keluar *Furnace*  
 $Q_5 = m \cdot C_p \cdot (T_{\text{masuk}} - T_{\text{basis}}) \dots\dots\dots(5)$
6. Panas Sensibel *Long Residue* Keluar  
 $Q_6 = n \cdot C_p \cdot (T_{\text{keluarstack}} - T_{\text{ambient}}) \dots\dots\dots(6)$
7. Panas yang Hilang melalui Dinding *Furnace* ( $Q_7$ )

Panas yang hilang melalui dinding *furnace* terjadi secara konveksi dan radiasi. Panas hilang secara konveksi terjadi antara keseluruhan dinding *furnace* dengan udara lingkungan yang mengalir di sekitar *heater*. Sedangkan panas hilang secara radiasi merupakan sejumlah panas yang mengalir dari dinding ke lingkungan.

- a. Panas Hilang Konveksi  
 $Q_7 = h \cdot A \cdot \Delta T^4 \dots\dots\dots(7)$
  - b. Panas Hilang secara Radiasi  
 $Q_{\text{radiasi}} = (T_{\text{dinding furnace}} - T_{\text{ambient}}) \dots\dots\dots(8)$
- Perhitungan Heatloss  
 $Q_9 = \text{Total } Q_{\text{in}} - (Q_6 + Q_7 + Q_2) \dots\dots\dots(9)$   
 (Hougen, 1959)

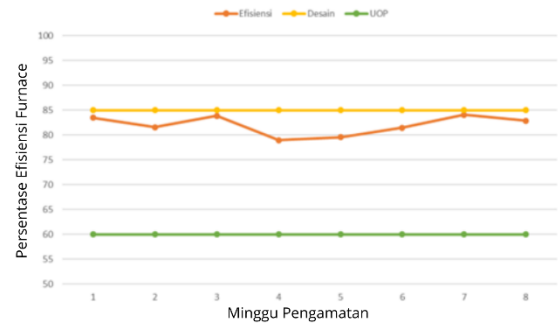
### Perhitungan Efisiensi

$$\text{Efisiensi Termal} = \frac{\text{Panas termanfaatkan}}{\text{Panas yang tersedia}} \times 100\% \quad (\text{Howel, 1952})$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Efisiensi Termal Furnace F-14-001

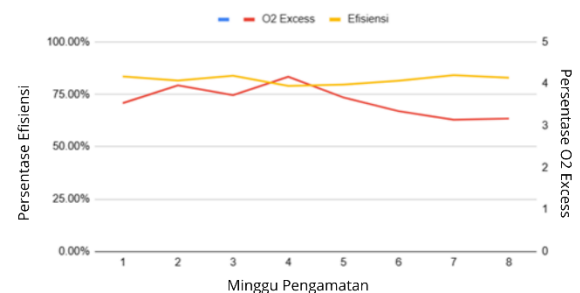
Perhitungan efisiensi termal *furnace* bertujuan untuk melihat kinerja dari *furnace* saat ini sehingga dapat menjadi indikasi layak atau tidaknya *furnace* untuk beroperasi. Operasi kinerja *furnace* dapat dikatakan efisien apabila sistem penyalaan api *burner* baik, reaksi pembakaran berlangsung sempurna, panas pembakaran dari *fuel* dapat tersalur dengan baik pada *feed*, permukaan *tube furnace* yang bersih, serta dapat memperkecil panas yang hilang baik melalui *stack* ataupun dinding *furnace*. Reaksi pembakaran yang ideal pada *furnace* terletak pada pembakaran bahan bakar yang sempurna dengan minimum udara berlebih.



Gambar 2. Grafik Perbandingan Efisiensi Termal dan Desain

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan sebagaimana pada gambar 2, rentang efisiensi *thermal furnace* yang diperoleh berkisar antara 78,96% hingga 84,06%. Sementara itu, nilai desain efisiensi tercatat sebesar 85%, yang menunjukkan bahwa efisiensi *thermal* aktual berada sedikit di bawah nilai desain yang diharapkan. Menurut standar *Universal Oil Product* (UOP), efisiensi minimum yang harus tercapai adalah 60%. Dengan demikian, hasil tersebut menunjukkan bahwa efisiensi *thermal furnace* yang tercapai masih berada jauh di atas standar yang ditetapkan oleh UOP, meskipun sedikit lebih rendah dibandingkan dengan nilai desain. Penelitian dan perhitungan yang dilakukan oleh Nurkhopupiah dkk. (2024) juga menunjukkan bahwa nilai efisiensi kinerja optimum untuk *furnace* adalah 78,03%, yang mengindikasikan bahwa kondisi *furnace* tersebut masih layak untuk dioperasikan.

### Perbandingan Efisiensi Termal Aktual dan O<sub>2</sub> Excess



Gambar 3. Perbandingan Efisiensi Termal dan O<sub>2</sub> Excess

Kadar *O<sub>2</sub> excess* didefinisikan sebagai oksigen berlebih pada produk pembakaran yang melebihi kebutuhan oksigen untuk pembakaran sempurna. Panas hasil pembakaran oksigen ini dimanfaatkan untuk meningkatkan temperature *long residue*. Semakin tinggi udara *excess* maka pembakaran akan semakin sempurna, Namun,

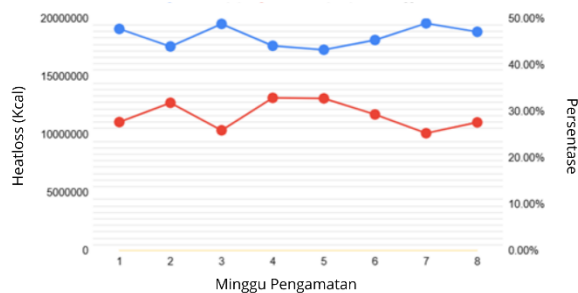
efisiensi *furnace* dapat menurun karena panas dapat terbawa oleh nitrogen. Kadar  $O_2$  *excess* yang rendah menunjukkan bahwa panas yang hilang akibat terbawa  $N_2$  lewat cerobong sedikit, dengan demikian panas yang diberikan bahan bakar lebih banyak diserap umpan (Simanjuntak, 2020).

Berdasarkan grafik pada gambar 3 pada minggu ke 7 memiliki kadar  $O_2$  *excess* yang rendah yaitu sebesar 3,14

dengan nilai efisiensi sebesar 84,06%. Sedangkan pada minggu ke-4 memiliki kadar  $O_2$  *excess* yang tinggi yaitu sebesar 4,16 dengan nilai efisiensi sebesar 78,96%. Hal ini menunjukkan bahwa efisiensi thermal berbanding terbalik dengan  $O_2$  *excess*.  $O_2$  *excess* yang tinggi menyebabkan kehilangan panas dan menurunkan efisiensi (Ningsih dkk, 2021).  $O_2$  berperan dalam reaksi yang menyebabkan bahan bakar terbakar dan menghasilkan panas diperlukan untuk mencapai suhu diinginkan (Aswan dkk, 2017).

Efisiensi *furnace* juga dapat menurun akibat kehilangan panas (*heat loss*), di mana semakin besar panas yang hilang, semakin rendah efisiensi *furnace* tersebut. Sebaliknya, semakin kecil panas yang hilang, semakin tinggi efisiensinya. *Heat loss* pada *furnace* dapat terjadi melalui beberapa mekanisme, seperti panas yang keluar dari dinding *furnace* serta panas yang terbawa oleh *flue gas* akibat penggunaan *excess air* yang berlebihan. *Heat loss* ini juga berkaitan dengan struktur dan lapisan dinding *furnace*. Meskipun dinding *furnace* telah dilapisi dengan batu tahan api dan material refraktori untuk mengurangi panas yang keluar, umur refraktori tetap perlu diperhatikan. Untuk mengurangi panas yang hilang melalui dinding *furnace*, langkah perbaikan pada kerusakan dinding serta pemeriksaan ketebalan lapisan refraktori perlu dilakukan guna memastikan ketahanan lapisan terhadap panas pembakaran.

#### Perbandingan Efisiensi Termal Aktual dan Heat Loss



Gambar 4. Perbandingan Efisiensi Termal dan Heatloss

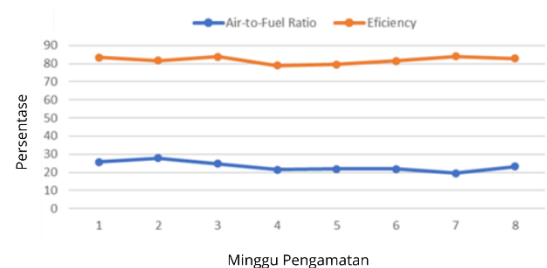
Berdasarkan grafik pada gambar 4 pada minggu ke 7 memiliki nilai heatloss yang rendah yaitu 10140100,72 kcal dengan nilai efisiensi sebesar 84,06%. Sedangkan pada minggu ke-4 memiliki heatloss yang tinggi yaitu

sebesar 13180944,78 kcal dengan nilai efisiensi sebesar 78,96%. Hal ini menunjukkan bahwa efisiensi thermal berbanding terbalik dengan *heatloss*. *Heatloss* akan mengurangi nilai efisiensi akibat panas hilang melalui dinding *furnace* serta pembakaran bahan bakar gas yang tidak sempurna menghasilkan komponen yang tidak terbakar atau terbakar secara tidak lengkap (Samosir dkk, 2022).

Kehilangan panas juga dapat terjadi karena terbawanya panas melalui *flue gas*. Seperti yang diketahui, salah satu indikator pembakaran yang optimal adalah kadar *excess air* yang tepat. Kelebihan *excess air* sering kali berasal dari aliran udara pembakaran yang masuk melalui APH (*air preheater*). Oleh karena itu, perlu diperiksa apakah terdapat kebocoran pada APH yang memungkinkan udara luar masuk secara berlebihan ke dalam *furnace*. Udara berlebih akibat kebocoran ini tidak ikut terbakar dan menyebabkan sisa  $O_2$  di keluaran *stack*. Selain itu, efisiensi *furnace* dapat menurun karena adanya jelaga pada bagian luar *tube* dan *fouling* pada bagian dalam *tube* yang menghambat perpindahan panas ke *feed*. *Fouling* terjadi karena mineral yang terkandung dalam *feed*, sedangkan jelaga disebabkan oleh kurangnya oksigen selama proses pembakaran.

Rasio antara udara dan bahan bakar juga berpengaruh terhadap nilai efisiensi dari *furnace*. Berdasarkan data yang udara dan bahan bakar, didapatkan perbandingan seperti terlihat pada gambar 5 berikut.

#### Perbandingan Rasio Udara dan Bahan Bakar



Gambar 5. Rasio Udara dan Bahan Bakar

Pada minggu ketujuh, tercatat nilai perbandingan antara udara dan bahan bakar terendah, yang ternyata berhubungan langsung dengan pencapaian efisiensi thermal tertinggi, yaitu sebesar 84,06%. Hal ini menunjukkan adanya hubungan antara rasio udara dan bahan bakar dengan efisiensi thermal yang dihasilkan dalam proses pembakaran. Penentuan rasio yang tepat antara bahan bakar dan udara dapat menjadi salah satu cara yang efektif untuk meningkatkan efisiensi thermal, karena rasio yang optimal memungkinkan pembakaran berlangsung lebih sempurna (Lestari dkk, 2021).

Pada minggu ketujuh, rasio terbaik yang tercatat adalah 20:1, namun untuk mencapai hasil yang lebih optimal, rasio ini dapat diturunkan menjadi 17:1 (Arza dkk, 2022). Pengurangan rasio udara terhadap bahan bakar ini bertujuan untuk memastikan proses pembakaran lebih efisien, dengan memperhatikan kebutuhan oksigen yang lebih tepat sesuai dengan jumlah bahan bakar yang digunakan. Dengan penyesuaian rasio tersebut, proses pembakaran akan berjalan lebih efisien, mengurangi pemborosan energi, dan meningkatkan efisiensi thermal secara keseluruhan keseluruhan.

## KESIMPULAN

Setelah melakukan analisa dari perhitungan efisiensi thermal aktual alat furnace F-14-001 pada unit High Vacuum Unit (HVU) II Kilang CD&L PT Kilang Pertamina Internasional RU III Plaju-Sungai Gerong, penulis dapat menyimpulkan bahwa efisiensi thermal dengan rata-rata 81,97%, dengan nilai efisiensi tertinggi 84,6% dan terendah 78,96% menunjukkan bahwa furnace masih pantas untuk dioperasikan

Nilai heat loss berbanding terbalik terhadap efisiensi thermal furnace, di mana semakin kecil heat loss yang dihasilkan maka efisiensi furnace akan semakin tinggi, dan semakin besar heat loss maka efisiensi furnace akan semakin menurun. Heatloss tertinggi terjadi pada minggu ke-4, yaitu sebesar 13.180.944,78 kcal, yang menyebabkan nilai efisiensi thermal terendah dalam periode dua bulan, yaitu 78,96%.

Nilai O<sub>2</sub> Excess berbanding terbalik terhadap efisiensi thermal furnace, di mana semakin tinggi udara excess maka pembakaran akan semakin sempurna, namun efisiensi furnace dapat menurun karena panas dapat terbawa oleh nitrogen. O<sub>2</sub> Excess tertinggi terjadi pada minggu ke-4, yaitu sebesar 4,167752619 kcal, yang menyebabkan nilai efisiensi thermal terendah dalam periode dua bulan, yaitu 78,96%.

Berdasarkan hasil dari pembahasan di atas, dapat dilakukan pengecekan dan pemeliharaan secara berkala pada furnace untuk menghindari terjadinya heatloss, dan pemeliharaan rutin untuk meningkatkan kinerja furnace. Pembersihan tube dari jelaga maupun fouling karena membuat proses perpindahan panas dalam menaikkan temperatur feed kurang maksimal, serta dapat dilakukan penentuan rasio antara udara dengan bahan bakar yang optimal. Rasio terbaik pada minggu ke-7 dengan rasio 20:1, dapat ditingkat menjadi 17:1 agar lebih optimal.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih atas dukungan dan bantuan kepada PT Pertamina Internasional RU III serta pihak terkait lainnya dalam membantu penyelesaian penulisan makalah ini

## DAFTAR PUSTAKA

- Arza, T.D., Saputra, K. R. F. D., Tahdid., Taufik, M., Lestari, S. P., 2022. Analisa Temperature Flame dan Efisiensi Termal Dengan Pengaruh Rasio Udara Bahan Bakar Solar Pada Burning Zone Terhadap Tekanan dan Temperatur. *Jurnal Pendidikan dan Teknologi Indonesia*. Vol. 2(2), 595-600.
- Aswan, A., Sulsilowati, E., dan Juriwon. 2017. Analisis Energi Boiler Pipa Air Menggunakan Bahan Bakar Solar. *Jurnal Hasil Penelitian Dan Ulasan Ilmiah*. Vol. 8(2), 7– 13.
- Connolly, N. P. 1974. *Safe Operation of Fired Heaters*. BP Oil International. British
- Control Room PT Kilang Pertamina Internasional RU III. 2024. Morning Report 2024: PT Kilang Pertamina Internasional RU III Plaju-Sungai Gerong.
- Hougen, Olaf A., Watson, Kenneth M. 1959. *Chemical Process Principles Part 1 : Materials and Energy Balances. First and Second Edition*. Japan : Charles E. Tuttle Company.
- Howell, John R. And Buckius, Richard O. 1992. *Fundamentals of Engineering. Thermodynamics. Second Edition* New York: McGraw-Hill Book Company.
- Humas PT Kilang Pertamina Internasional RU III. 2024. Deskripsi Proses Unit Utilitas: PT Kilang Pertamina Internasional RU III Plaju-Sungai Gerong.
- Humas PT Kilang Pertamina Internasional RU III. 2024. Overview RU III dan HVU II: PT Kilang Pertamina Internasional RU III Plaju-Sungai Gerong.
- Humas PT Kilang Pertamina Internasional RU III. 2024. Spesifikasi Produk Pertamina: PT Kilang Pertamina Internasional RU III Plaju-Sungai Gerong.
- Kern, Donald Q. 1983. *Process Heat Transfer. The McGraw-Hill Companies, Inc.* USA.
- Lestari, A., Situmorang, V., Tahdid, T., Ridwan, K.A., Manggala, A. 2021. Analisa Efisiensi Termal Water Tube Boiler Berdasarkan Rasio Udara Bahan Bakar LPG Untuk Memproduksi Saturated dan Superheated Steam. *Jurnal Pendidikan dan Teknologi Indonesia*. Vol 1(10):415-421.
- Nelson, W.L. 1985. *Petroleum Refinery Engineering, 5th Edition*. New York: McGraw-Hill Book Company
- Ningsih, A. S., Syakhdani, A., Rusnadi, I., Oktaviani, Y., Veronica, F., dan Anisya, J. T. 2021. Efisiensi Termal Produksi Steam Ditinjau Dari Rasio Udara Bahan Bakar Solar Pada Cross Section Water Tube Boiler. *Jurnal Kinetika*, 12(01), 18–22. <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/index>
- Nurkhopipah, S., Hapsari, F., & Asminah, N. (2024). Analysis of Furnace Performance Efficiency 201-H-001 Prefractionation Unit PT Trans-Pacific Petrochemical Indotama Tuban-East Java. *Gema Wiralodra*, 15(2), 719–725. <https://doi.org/10.31943/gw.v15i2.698>

- PT Kilang Pertamina Internasional. 2024. <https://kpi.pertamina.com/> (diakses tanggal 15 Oktober 2024).
- Samosir, E. A., dan Safaruddin. 2022. Analisis Efisiensi Peralatan Dan Heat Loss Pada Raw Mill Pt. Semen Baturaja (Persero) Tbk. *Jurnal Terapan Internship dan Multidisiplin*. Vol. 1(7).
- Shahab, A. dan 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*. Vol. 2(6) : 2283-2290
- Simanjuntak, Melvin Emil. 2020. Pengaruh Excess Air Terhadap Kinerja PLTU Berkapasitas 12,5 MW Dengan Beban Bervariasi: Sebuah Simulasi Termodinamika Menggunakan Software CycleTempo Versi 5.0. *Rekayasa Mesin*. V(10)3 : 87-98.