
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

Oleh

Aliyah Shahab¹, Achmad Faisal F²

^{1,2}Program Studi Teknik Pengolahan Migas, Politeknik Akamigas Palembang, 30257, Indonesia

E-mail:: ¹aliyah@pap.ac.id, ²achmadfaisal@pap.ac.id

Article History:

Received: 06-01-2023

Revised: 13-01-2023

Accepted: 24-01-2023

Keywords:

Efficiency, Furnace, Petroleum, PPSDM

Abstract: *The production or processing of crude oil at PPSDM Migas Cepu using an atmospheric distillation system, which is a method of separating petroleum fractions based on differences in the boiling points of each fraction under atmospheric conditions. Oil processing at PPSDM Migas Cepu first raises the temperature by using a Heat Exchanger and Furnace to obtain the desired feed temperature or temperature. Furnace is heating equipment for processing petroleum which requires the largest operational costs in its processing business. Furnace-02 at the Refinery Unit at PPSDM Migas Cepu is more than 100 years old, and is still operating today. In petroleum processing, the furnace is very important because the furnace is a heat exchanger, which functions to raise the temperature of the petroleum before it is separated in the fractionation column. This study aims to evaluate the efficiency value of furnace-02 from calculations using the heat loss method. Furnace efficiency calculations must be carried out periodically in order to determine furnace performance so as to avoid long-term damage that can lead to maintenance. If the feed that enters the furnace is not in accordance with the specifications, it can burden the furnace's performance. From the results of calculations using the heat loss method, the performance of the furnace-02 at PPSDM Migas Cepu is 86.16%.*

PENDAHULUAN

PPSDM Migas Cepu merupakan Instansi Pemerintah Pusat di bawah Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia Energi dan Sumber Daya Mineral (BPSDM ESDM), dan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM). Penggunaan minyak bumi sebagai sumber energi di bumi masih akan terus berlangsung seiring dengan masih adanya sumur-sumur minyak bumi yang masih menghasilkan minyak bumi, maka pengolahan minyak bumi sebagai sumber energi belum akan berhenti. Minyak bumi tidak dapat langsung digunakan tanpa adanya pengolahan terlebih dahulu. Hal ini dikarenakan banyaknya impurities yang terkandung dalam minyak bumi.

Minyak bumi sendiri jika diolah akan menghasilkan berbagai macam produk dengan

nilai daya jual tinggi. Di Indonesia sendiri terdapat beberapa lokasi pengolahan minyak bumi, salah satunya adalah Unit Kilang di PPSDM Migas Cepu. Kilang PPSDM Migas Cepu mengolah campuran crude oil dari lapangan Kawengan dan Ledok milik PT Pertamina EP Asset 4 Field Cepu. Produk utama dari pengolahan crude oil di PPSDM Migas saat ini adalah pertasol CA, pertasol CB, pertasol CC, solar dan residu. (Ditjen Migas, 2018)

Unit kilang di PPSDM Migas Cepu sudah berjalan selama lebih dari 100 tahun, sebagian alat masih dijaga keasliannya dan ada pula yang masih beroperasi hingga saat ini, salah satunya yaitu furnace. Pada pengolahan minyak bumi alat penukar panas sangatlah penting, seperti furnace. Furnace berfungsi untuk menaikkan temperatur crude oil sebelum dipisahkan di dalam kolom fraksinasi.

Furnace merupakan peralatan pemanas di kilang pengolahan minyak bumi, yang menyumbang biaya operasional terbesar di bisnis pengolahan minyak bumi. Furnace menurut (Shekarchian, 2013) adalah sebagai bagian dari pabrik yang berkontribusi paling besar terhadap unit pengolah energi dalam penyulingan minyak bumi dan industri petrokimia. Dan efisiensi termal furnace memainkan peran penting dalam penghematan energi pabrik. Jadi, sangat penting untuk memaksimalkan nilai kalor yang ditransfer ke proses pengolahan crude oil dan meminimalkan kalor yang hilang dari furnace.

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan oleh (Agus, 2016) terhadap furnace yang telah dibuat, didapatkan bahwa panas yang dihasilkan furnace didapatkan dari hasil perubahan energi listrik menjadi energi kalor. Furnace menyala atau bekerja pada saat temperatur di dalam kabin belum mencapai temperatur setting, sebaliknya furnace dalam keadaan off pada saat temperatur di dalam kabin sedikit melebihi temperatur setting.

Efisiensi furnace merupakan hal yang sangat penting dalam mengukur kinerja dari furnace. Perhitungan efisiensi furnace harus dilakukan secara berkala agar dapat mengetahui performa dapur sehingga dapat menghindari kerusakan jangka panjang yang dapat menyebabkan maintenance sehingga mempengaruhi produksi dan cost kilang. Umpan yang masuk ke furnace apabila tidak sesuai dengan spesifikasi, dapat memberatkan kinerja (duty) furnace, akan lebih serius apabila efisiensi furnace itu sendiri rendah.

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Dwi, 2019) mengenai performa furnace di High Vacuum Unit I (HVU I) Pertamina Refinery Unit IV Cilacap didapatkan nilai 73.60855% sedangkan efisiensi desainnya adalah 79%. Rendahnya efisiensi energi furnace tersebut disebabkan oleh beberapa hal diantaranya adalah kondisi alat dan operasi atau proses. Sehingga performa furnace tersebut perlu dievaluasi.

Penelitian lain mengenai kinerja furnace juga dilakukan oleh (Kurniawan, 2020) mengenai evaluasi efisiensi dari furnace di PPSDM Migas Cepu pada tahun 2020 untuk membuktikan apakah furnace masih layak untuk digunakan. Furnace disini berfungsi memindahkan panas yang dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar dalam suatu ruangan ke fluida yang dipanaskan sampai mencapai suhu yang diinginkan. Sehingga perlu adanya perhitungan evaluasi kinerja dari furnace untuk mengetahui kelayakan alat tersebut. Dari penelitian didapatkan nilai efisiensi furnace sebesar 83,19 % yang berarti furnace layak digunakan.

Dari beberapa penelitian tersebut diatas dan umur furnace yang sudah tua maka pada penelitian ini dilakukan perhitungan efisiensi furnace 02 di PPSDM Migas Cepu dengan metode heat loss didapatkan sebesar 86,16%, hal ini menunjukkan bahwa furnace-02

walaupun sudah berumur lama namun masih layak dioperasikan, karena nilai efisiensinya tinggi.

TEORI DASAR

1. Prinsip Kerja Furnace

Di industri minyak dan gas bumi, furnace merupakan suatu alat yang dirancang sebagai tempat pemanas utama crude oil yang dilengkapi oleh burner. Tujuan pemanasan dalam furnace adalah untuk menguapkan fraksi-fraksi ringan yang terkandung di dalam crude oil (Jonas, 2017). Sumber panas furnace berasal dari proses pembakaran fuel oil, fuel gas atau gabungan dari keduanya. Setelah crude oil melewati heat exchanger, crude oil tersebut kemudian masuk ke dalam furnace melalui tube bagian atas pada suhu 110°C dan diteruskan ke bagian bawah, hal ini dilakukan untuk menghindari kerusakan pada crude oil karena adanya pemanasan mendadak sehingga menimbulkan cracking atau perekahan. Fraksi-fraksi ringan yang sudah berbentuk uap menyisakan fraksi berat sebagai crude oil yang kemudian keluar dari furnace pada suhu 340°C. Furnace yang diteliti adalah tipe box dengan burner horizontal.

Terdapat lima buah furnace di PPSDM Migas Cepu, yaitu furnace 01, 02, 03, 04, dan 05. Namun, furnace yang digunakan saat ini hanya furnace 02 dan 03 saja. Furnace 02 dan 03 merupakan furnace lama dengan usia lebih dari 100 tahun. Itulah sebabnya perlu adanya evaluasi tentang efisiensi serta kelayakan dari alat tersebut.

2. Sistem Pembakaran

Pembakaran adalah suatu runutan reaksi kimia antara suatu bahan bakar dan suatu oksidan, disertai dengan produksi panas yang kadang disertai cahaya dalam bentuk pendar atau api. Dalam suatu reaksi pembakaran lengkap, suatu senyawa bereaksi dengan zat pengoksidasi, dan produknya adalah senyawa dari tiap elemen dalam bahan bakar dengan zat pengoksidasi. (Rizqi, 2021). Proses Pemanasan Pada Furnace Setelah crude oil keluar dari HE (Heat Exchanger), crude oil masuk ke dalam furnace melalui tube bagian atas (daerah konveksi) dan diteruskan ke tube bagian bawah (daerah radiasi). Crude oil yang suhunya telah sesuai dengan yang diinginkan (330 – 340°C) akan keluar dari furnace, selanjutnya dialirkan ke dalam evaporator. Crude oil dimasukkan melalui bagian atas terlebih dahulu karena temperatur bagian atas lebih rendah daripada bagian bawah dan agar crude oil mendapatkan pemanasan yang bertahap dan untuk pemanfaatan energi yang keluar dari stack. Apabila crude oil dipanaskan secara mendadak maka akan terjadi cracking. Ketika terjadi cracking secara berlanjut maka dapat menyebabkan terbentuknya kerak yang menempel pada dinding dalam tube. Kerak tersebut akan menghambat perpindahan panas dari tube ke crude oil, bahkan dapat menyebabkan pemanasan setempat (hot spot) pada tube. Pemanasan setempat pada tube furnace dapat menyebabkan tube furnace pecah. Pemanasan crude oil dalam furnace dikendalikan secara otomatis dengan menggunakan peralatan instrumen, ahli instrumen tersebut mengatur tinggi rendahnya temperatur crude oil yang keluar dari furnace, yaitu dengan jalan aliran bahan bakar minyak diatur dengan control valve sesuai kebutuhan. Adanya pengaturan pemanasan crude oil secara otomatis apabila temperatur keluar crude oil lebih tinggi dari yang diharapkan maka alat instrumen secara otomatis mengirimkan sinyal ke control valve untuk menutup sehingga bahan bakar minyak ke burner alirannya akan berkurang. Hal ini akan berakibat api pada burner mengecil sehingga temperatur crude oil yang keluar furnace menurun. Sebaliknya apabila temperatur

crude oil yang keluar lebih rendah dari yang dikehendaki maka alat instrumen secara otomatis mengirim sinyal ke control valve untuk menambah bukaannya sehingga bahan bakar minyak yang menuju ke burner lebih besar alirannya. Hal ini menyebabkan temperatur crude oil yang keluar furnace bertambah.

Dalam pembakaran di furnace, digunakan bahan bakar fuel oil berupa R30 yaitu campuran residu dan solar (residu 30%, solar 70%) serta fuel gas (LPG) untuk pemantik. Aspek penting pada continuous furnace adalah perlu untuk memastikan temperatur pada ruang furnace memiliki keseragaman temperatur. (Muhammad, 2019).

Perpindahan panas secara konveksi pada furnace merupakan proses transport energi dengan kerja gabungan dari konduksi panas, penyimpanan energi dan gerakan mencampur. Konveksi sangat penting sebagai mekanisme perpindahan energi antara permukaan benda dan cair atau gas. Perpindahan panas secara konveksi dari suatu permukaan yang suhunya di atas suhu fluida sekitarnya berlangsung dalam beberapa tahapan. Pertama, panas mengalir dengan cara konduksi dari permukaan ke partikel-partikel fluida yang berbatasan. Energi yang berpindah dengan cara demikian akan menaikkan suhu dan energi dalam partikel-partikel fluida tersebut. Kedua, partikel-partikel tersebut akan bergerak ke arah suhu yang lebih rendah dan partikel tersebut akan bercampur dengan partikel-partikel fluida lainnya. (Khoirudin & La Ode Mohammad Firman. 2018).

3. Desain Furnace

Dinding furnace merupakan dinding dapur bagian luar dengan struktur baja untuk menahan, dinding furnace berfungsi untuk mengisolir panas sehingga panas yang diserap oleh umpan mencapai nilai maksimum. Dinding dapur di desain sedemikian rupa, yang terdiri dari bahan/campuran tertentu sehingga panas hilang akibat penyerapan dinding dapur dapat di minimalkan. Metode ADI (Alternating Directional Implicit) digunakan untuk mendiskritasi persamaan atur konduksi dan konveksi alami pada dinding tungku pembakaran. Dari hasil penelitian membuktikan ketebalan lapisan udara sebesar 0,05 m mempunyai kapasitas isolasi paling baik dengan koefisien perpindahan panas rata-rata sebesar 0,109 W/m²K (Saiful et al, 2014). Pada electric furnace yang menggunakan 3 fasa, lapisan dinding furnace yang digunakan meliputi semen tahan api, bata tahan api, dan glasswool. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju perpindahan panas cukup besar sehingga waktu untuk mencapai suhu maksimal relative singkat. (Yasinta, 2021). Simulasi numerik perpindahan panas pada dinding furnace lapis banyak yang berongga udara dengan metode beda hingga terjadi penurunan temperatur dinding luar yang dipengaruhi oleh variasi material hot face lining dikarenakan perbedaan konduktifitas termal pada masing-masing jenis material. (Saiful et al, 2014).

Terjadi kenaikan temperatur dinding luar yang dipengaruhi oleh variasi material refraktori dikarenakan perbedaan konduktifitas termal pada masing-masing jenis material serta terjadinya penurunan temperatur dinding luar yang dipengaruhi oleh variasi ketebalan material isolasi karena semakin tebal material isolasi akan semakin rendah pula temperatur dinding luar pada furnace (Khoirudin, 2018).

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dan pengambilan data dilaksanakan di Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan Gas Bumi (PPSDM Migas) Cepu. Adapun langkah-langkah perhitungan

efisiensi *furnace* 02 adalah sebagai berikut :

Metode Perhitungan :

1. Menghitung Nilai Specific Gravity

$$\text{Specific Gravity} \left(\frac{60}{60}^{\circ\text{F}} \right) = \frac{\text{density of liquid at } 60^{\circ\text{F}} \text{ in } \text{g/cm}^3}{0.999 \text{ g/cm}^3}$$

2. Menghitung °API untuk Crude Oil dan Fuel Oil :

$$^{\circ}\text{API} = \frac{141,5}{\text{spgr}} - 131,5$$

3. Menghitung Nilai KUOP :

$$K = \frac{\sqrt[3]{Tb}}{SG}$$

Keterangan :

K = KUOP (Characterization Universal Oil Product), angka untuk mencari entalpi

Tb = Titik didih rata-rata, °R = (°F + 460)

S = Specific gravity pada 60°F

4. Menghitung Panas Pembakaran Fuel Oil :

$$Q = m \cdot \text{GHV}$$

Keterangan :

m = Massa fuel oil, lb/jam

GHV = Gross Heating Value, Btu/lb

5. Menghitung Panas Sensibel Fuel Oil :

$$Q = m \cdot \text{Cp} \cdot \Delta T$$

Keterangan :

m = Massa fuel oil, lb/jam

Cp = Panas jenis rata-rata pada tekanan konstan, Btu/lb °F

T1 = Temperatur akhir, °F.

T2 = Temperatur akhir, °F.

6. Menghitung Panas Pembakaran Fuel Gas :

$$Q = m \cdot \text{LHV}$$

Keterangan :

m = Massa fuel oil, lb/jam

LHV = Low Heating Value, Btu/lb

7. Menghitung Jumlah Fuel Gas :

$$Q_s = 443.45 \frac{T_s}{P_s} \times D^{2,667} \times \frac{\sqrt{P_1^2 + P_2^2}}{L \times SG \times T}$$

Keterangan :

Qs = Gas flow (SCF/hari)

Ts = Standart absolute temperature (°R)

Ps = Standart pressure (14,7 psia)

D = Internal diameter (inch)

P1 = Initial pressure (psia)

P2 = Final pressure (psia)

L = Length of lines (mil)

T = Absolute temperature of following gas (°R)

8. Menghitung Panas Sensibel Fuel Gas :

$$Q = m \cdot Cp \cdot \Delta T$$

Keterangan :

m = Massa fuel oil, lb/jam

T2 = Temperatur akhir, °F

T1 = Temperatur awal, °F

Cp = Panas jenis rata-rata pada tekanan konstan

9. Menghitung Panas Udara Pembakaran dan Udara Berlebih :

$$\text{Excess air} = \frac{O_2 \text{ berlebih} - \sum O_2 \text{ pembakaran}}{\sum O_2 \text{ pembakaran}}$$

10. Menghitung Panas yang Keluar Lewat Dinding :

$$Q = Hi \times A \times \Delta T$$

Keterangan :

Hi = Koefisien perpindahan panas (konveksi dan radiasi), Btu/ft².°F.jam

A = Luas area dinding dan dasar furnace, ft²

ΔT = Temperatur dinding dapur - temperatur sekitar, °F

11. Efisiensi Furnace :

$$\text{efisiensi} = \frac{\text{Jumlah panas yang berguna}}{\text{Jumlah panas yang masuk dapu}} \times 100\%$$

PEMBAHASAN

Efisiensi furnace adalah performance dari suatu furnace untuk memberikan panas yang dihasilkan oleh pembakaran sejumlah fuel kepada fluida yang dipanaskan di dalam tube furnace. Untuk mengetahui besar efisiensi furnace terlebih dahulu menentukan neraca panasnya. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan neraca panas sebagai berikut :

Tabel 1. Neraca Panas Furnace-02

Panas Masuk (Btu/jam)		Panas Keluar (Btu/jam)	
Q _{1a}	9.161.501,3858	Q ₅	2.661.880,9332
Q _{1b}	8.507,4736	Q ₆	1.593.146,4975
Q _{2a}	27.652.216.564	Q ₇	653.491,24193
Q _{2b}	65.167,94		
Q ₃	275.453,55349		
Q ₄	27.545,35536		
Total	37.190.392,272	Total	5.145.405,6524

Penentuan efisiensi suatu furnace dapat dilakukan dengan membandingkan panas yang diserap crude oil dengan total panas masuk ke dalam furnace. Dari perhitungan tersebut didapatkan besar efisiensi untuk furnace-02 pada Unit Kilang di PPSDM Migas Cepu sebesar:

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi furnace} &= \frac{\text{PANAS MASUK} - \text{PANAS KELUAR}}{\text{PANAS MASUK}} \times 100\% \\ &= \frac{37.190.392,272 - 5.145.405,6524}{37.190.392,272} \times 100\% \\ &= 86,16\% \end{aligned}$$

Hal yang perlu dilakukan untuk menjaga kinerja furnace adalah dengan menjaga kapasitas crude oil yang masuk sesuai dengan spesifikasi desain furnace. Jika crude oil dibiarkan masuk dengan kapasitas kurang dari spesifikasi desainnya maka akan menyebabkan panas yang tidak merata, hal ini tentu berbahaya karena dapat menyebabkan tube menjadi pecah. Suhu keluaran flue gas juga berpengaruh terhadap efisiensi, dimana saat suhu keluaran flue gas sangat tinggi maka akan mengakibatkan panas yang terbuang melalui flue gas juga sangat banyak.

Kehilangan panas akibat suhu keluaran flue gas yang terlalu tinggi akan menurunkan efisiensi furnace. Selain itu revamping beberapa komponen dalam furnace juga dapat meningkatkan kinerja furnace seperti penelitian yang dilakukan (I Wayan, 2022) yang mere-desain furnace, berdasarkan hasil dari proses pengujian furnace yang sudah dire-desain, dapat disimpulkan bahwa furnace yang telah di re-desain dan diperbaiki mampu bekerja secara maksimal.

Melakukan maintenance secara berkala juga merupakan hal yang sangat penting dalam meningkatkan kinerja furnace. Penelitian yang dilakukan (Dian, 2019) mengenai Analisa energi furnace paska turn around didapatkan nilai efisiensi energi keseluruhan furnace pada waktu setelah TA sangat stabil diangka 97% sedangkan waktu sebelum TA nilai efisiensi energi cenderung fluktuatif dikisaran 68%-75%. Efisiensi energi pada waktu setelah TA lebih besar dan stabil di bandingkan dengan waktu sebelum TA.

Penelitian lain yang dilakukan (Stephen, 2022) untuk melihat pengaruh beberapa parameter desain dan operasional pada efisiensi furnace juga berpengaruh pada penghematan energi dan studi menemukan tren positif. Parameter tersebut meliputi suhu gas buang, suhu saluran masuk udara pembakaran, ketebalan, dan emisivitas dinding refraktori. Penurunan suhu gas buang meningkatkan efisiensi tungku hingga 73%, peningkatan suhu saluran masuk udara meningkatkan efisiensi tungku hingga 61%, dan peningkatan ketebalan dinding refraktori meningkatkan efisiensi tungku.

Berdasarkan perhitungan efisiensi furnace yang sudah dilakukan, didapatkan efisiensi furnace-02 PPSDM Migas Cepu sebesar 86,16%. Dapat disimpulkan dalam penelitian ini berdasarkan perhitungan yang didapat dan beberapa penelitian sebelumnya bahwa furnace-02 layak dioperasikan, tingginya nilai efisiensi furnace-02 dikarenakan alat yang digunakan selalu dibersihkan atau maintenance sehingga efisiensi furnace terjaga. Walaupun furnace-02 sudah berumur lama namun efisiensinya masih tinggi, karena furnace dijaga dalam keadaan yang baik dengan perawatan yang baik secara berkala, selain itu dikarenakan excess air yang masuk memiliki jumlah yang kecil sehingga panas yang terbuang melalui flue gas menjadi sedikit, selain itu panas yang hilang ke lingkungan pun kecil karena dinding dalam keadaan baik-baik saja dan tidak ada kebocoran.

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan pada furnace-02 di Pusat Pengembangan Sumber Daya Mineral Minyak dan Gas Bumi (PPSDM Migas) Cepu, maka dapat disimpulkan bahwa crude oil yang dipanaskan hingga temperatur keluarannya berkisar (330 – 340°C) setelah dilakukan perhitungan dengan metode heat loss, diperoleh nilai efisiensi furnace-02 pada Unit Kilang di PPSDM Migas Cepu sebesar 86,16%. Dari hasil efisiensi furnace tersebut dapat dikatakan bahwa furnace-02 walaupun sudah berumur lama namun masih layak

dioperasikan, karena nilai efisiensinya tinggi.

DAFTAR REFERENSI

- [1] Agus Rizal¹, Yudi Samantha², Asep Rachmat³. 2016. Pembuatan Tungku Pemanas (Muffle Furnace) Kapasitas 1200°C. Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Majalengka.
- [2] Ahmad, saiful Prasetyo, Eko B., Widodo, P. J. (2014). Simulasi Numerik Perpindahan Panas Pada Dinding Tungku Pembakaran Lapis Banyak berongga Udara Dengan Metode Beda Hingga, 1–7. Retrieved from digilib.uns.ac.id
- [3] Ajah, Stephen.A; Idorenyin, Donald. 2022. Thermal analysis to investigate the effects of operating parameters on conventional cupola furnace efficiency. Sage Journals
- [4] Dian Putra Satria, Romy. 2019. Analisa Energi Furnace 101-H-2 Pasca Turn Around 2017 PERTAMINA REFINERY UNIT II SEI. PAKNING. Laboratorium Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Riau.
- [5] Ditjen Migas. 2018. Buku Minyak dan Gas Bumi. Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi. Kementrian ESDM.
- [6] Dwi Putera, Radita. 2019. Evaluasi Kinerja Furnace @1F-2 High Vacuum Unit (Unit 21) Area Lube Oil Complex I (LOC I) PT. PERTAMINA (PERSERO) REFINERY UNIT IV CILACAP
- [7] Fitri, Rizqi Naryanto. 2021. TEKNIK PEMBAKARAN. Literasi Nusantara.
- [8] Jonas Martua Tambunan. 2017. Studi Rancang Bangun dan Temperatur Zona Continuous Furnace Sintering Material Frangible Cu-5wt%Sn. Departemen Teknik Material. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [9] Khoirudin, La Ode Mohammad. 2018. Optimasi Desain Pada Dinding Furnace Dengan Temperatur 1000 °C. Magister Teknik Mesin, Universitas Pancasila.
- [10] Kurniawan, Noval (2020) *Evaluasi Efisiensi Furnace – 02 Pada Unit Kilang Di Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak Dan Gas Bumi Cepu Jawa Tengah*.
- [11] Muhammad Fahmi Dwi Rizaldi. 2019. Analisis Kinerja Dan Efisiensi Continuous Furnace Untuk Aplikasi Produksi Frangible. Departemen Teknik Material. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [12] Sajiyo. 2017. Pemeliharaan Boiler Modul I dan Modul II. Badak LNG.
- [13] Shekarchian M., Zarifi F., Moghavemmi M. Motasemi F., Mahlia T.M.I., 2013. Energy, Eksergi, Environmental and Economic Analysis of Industrial Fired Heaters based on Heat Recovery and Preheating Techniques". NY, USA: Energy Conversion and Management, 71, 51–61.
- [14] Sindy Yasinta P; Ali Akbar. 2021. Analisa Heat Transfer Pada Electric Furnace 3 Fasa. Jurnal Mesin Nusantara.
- [15] Wayan, I, Sugita¹, Ferry Budhi Susetyo¹, Hanapi¹, Moh Sahal Rifai¹. 2022. Proses Re-Desain dan Perbaikan Furnace Dengan Daya 5000 W. Metalik: Jurnal Manufaktur, Energi, Material Teknik (2022), 1(1): 31-38.