

Pemodelan Numerik Perpindahan Panas pada Dinding Ruang Bakar Boiler Menggunakan *Software Engineering*

Numerical Modeling of Heat Transfer in Boiler Combustion Chamber Walls Using Software Engineering

Joel D. Hasibuan¹, Jufrizal^{1*}

¹ Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area, Sumatera Utara, Indonesia

*Corresponding author: jufrizal@staff.uma.ac.id

Diterima: 30-05-2023

Disetujui: 27-07-2023

Dipublikasikan: 27-08-2023

IRAJTMA is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.



Abstrak

Penelitian ini membahas tentang perpindahan panas pada dinding ruang bakar dengan simulasi software Ansys. Tujuan utama dilakukannya simulasi ini adalah untuk mengetahui besaran suhu disetiap lapisan objek yang tidak dapat dilakukan pengukuran dengan alat ukur. analisis pada kondisi Steady-state Termal dengan menggunakan parameter temperatur kerja tertinggi. kondisi geometri ruang bakar 3 dimensi dengan tinggi dinding ruang bakar 2 meter, Penelitian ini fokus pada satu sisi bagian dinding ruang bakar untuk dianalisis. Hasilnya memberikan pemahaman yang sama dengan sisi dinding yang lainnya. Berdasarkan perhitungan diperoleh total panas yang berpindah 919,09 W. Analisis distribusi temperatur teoritis/eksperimen dan simulasi numerik menghasilkan nilai perbandingan yang kecil (persentase error dibawah 10%). Laju aliran energi panas (Heat Flux) hasil simulasi 1680 W/m² hasil teoritis sebesar 1372,18 W/m². Penelitian selanjutnya diharapkan menganalisis aliran udara dan pembakaran pada kondisi berubah-ubah (transient termal) untuk mengetahui pengaruh waktu dan suhu terhadap distribusi temperatur pada ruang bakar.

Kata Kunci: Perpindahan panas, Ruang Bakar, Ansys Workbench, Simulasi

Abstract

This study discusses the heat transfer on the combustion chamber walls by simulation using Ansys software. The main purpose of doing this simulation is to find out the magnitude of the temperature in each layer of objects that cannot be measured with a measuring instrument. analysis in Steady-state Thermal conditions using the highest working temperature parameter. 3-dimensional combustion chamber geometry conditions with a 2-meter combustion chamber wall height. This study focuses on one side of the combustion chamber wall for analysis. The results provide the same understanding as the other side of the wall. Based on the calculation, the total heat transfer is obtained 919,09W. Theoretical/experimental temperature distribution analysis and numerical simulations produce small comparison values (percentage error below 10%). Simulated heat energy flow rate (Heat Flux) 1680,7W/m² and the theoretical yield is equal to 1372,18W/m². Future research is expected to analyze air flow and combustion under transient thermal conditions to determine the effect of time and temperature on the temperature distribution in the combustion chamber.

Keywords: Heat transfer, Combustion chamber, Ansys Workbench, Simulation

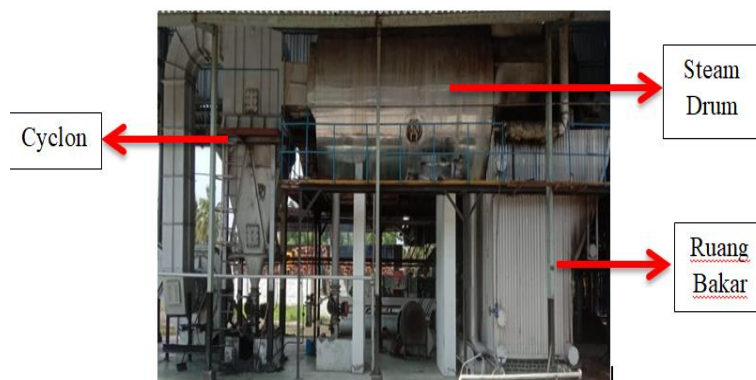
1. Pendahuluan

Boiler merupakan bejana tertutup penghasil uap yang digunakan sebagai sumber daya listrik dan untuk pengolahan buah kelapa sawit pada pabrik kelapa sawit (PKS) (Simanjuntak, Idris, and Jufrizal 2023). Komponen pada boiler yang memiliki salah satu peran yang sangat

penting adalah Ruang bakar. Ruang bakar berfungsi sebagai tempat terjadinya reaksi yang besar sebagai sumber panas pada boiler untuk melakukan kerja. Maka dari itu pentingnya dilakukan simulasi perpindahan panas pada bagian dinding ruang bakar boiler untuk mengetahui apakah rancangan ruang bakar tersebut dapat menahan segala beban panas selama beroperasi. Perancangan ruang bakar selalu diusahakan supaya dinding dapat menjaga panas agar tidak keluar kelingkungan. Maka pentingnya dilakukan analisis panas atau simulasi sebagai acuan untuk menentukan material yang baik supaya memenuhi syarat ruang bakar yang dapat bekerja secara optimal. Besarnya reaksi panas yang terjadi juga berpengaruh pada distribusi temperatur pada lapisan dinding ruang bakar. Panas akan mengalir dari temperatur tertinggi menuju temperatur terendah. Berdasarkan identifikasi tersebut maka perlunya permodelan simulasi perpindahan panas yang terjadi pada dinding ruang bakar boiler dengan menggunakan software simulasi dan penelitian ini bertujuan memperoleh gambaran simulasi dan nilai distribusi temperatur pada dinding ruang bakar serta mengetahui laju perpindahan panas pada dinding ruang bakar boiler.

Penelitian terdahulu yang berjudul *Wood Pyrolysis in Pre-Vacuum Chamber* melakukan eksperimen untuk mengevaluasi kinerja tanaman dan karakteristik tanaman pada proses pirolisis serta melakukan analisis numerik pada ruang Pre-Vacuum maka diperoleh hasil penelitian kayu mengalami dekomposisi termal tanpa oksigen serta tekanan ruang reaksi 0,1 MPa dan 0,2 MPa (Hiroki, Hiroomi, Yusrizal, and Idris, 2013). Studi numerik karakteristik perpindahan panas pada membrane wall tube boiler dengan variasi jenis material dan ketebalan insulasi di PLTU Unit 4 PT. PJB UP Gresik melakukan analisis perpindahan panas pada wall tube Boiler dengan membandingkan heatloss yang terjadi dengan variasi insulasi dan temperatur steam (Susastrawan and Prabowo, 2016). Simulasi distribusi temperatur pada ruang reaksi kompor gas biomassa DGS2 dengan software Ansys 5.4 menganalisis perpindahan panas yang terjadi pada ruang reaksi, dari hasil simulasi yang dilakukan diperoleh distribusi temperatur tertinggi pada jarak node terdekat dengan sumber panas yaitu pada node 48 sebesar 1063.7°C dan temperatur terendah sebesar 1028.7°C pada node 101 (Jufrizal, 2011). Analisa perilaku aliran panas pada permukaan desain heatsink dengan menggunakan *software* ANSYS dengan hasil simulasi flux thermal gradient sebesar 7152 W/m^2 (Aldori and Pangestu 2022).

Boiler (Gambar 1) adalah suatu alat berbentuk bejana tertutup yang digunakan untuk memproduksi uap sering juga disebut generator steam yang merupakan komponen utama dari system pembangkit listrik (E.B.Woodruff, H.B.Lammers, dan T.B.Lammers, 2004). Boiler terdiri dari beberapa komponen penting.



Gambar 1. Skema Boiler

Ruang bakar merupakan bagian utama dari boiler yang berfungsi sebagai tempat terjadinya pembakaran bahan bakar yang menjadi sumber panas untuk mengubah air menjadi

uap pada boiler. Ruang bakar terdiri dari dinding pipa baja yang dilapisi oleh material tahan temperatur tinggi *refractori* serta material Insulasi yang bertujuan untuk menahan panas agar tidak hilang dan memantulkan panas radiasi kembali kepermukaan tube yang dikenal dengan *fire box*.



Gambar 2. Ruang Bakar

Perpindahan panas merupakan ilmu yang mempelajari dan memprediksi perpindahan energi yang mungkin terjadi pada suatu material sebagai akibat dari perbedaan temperatur panas (Holman, 1981) (Y.A.Cengel, 2002) Perpindahan panas umumnya dibedakan menjadi 3 jenis perpindahan yaitu Konduksi (Hantaran), Konveksi (Aliran), dan Radiasi (Pancaran).

Konduksi merupakan transfer panas pada media solid yang terjadi dari ujung dengan suhu yang lebih tinggi menuju ujung yang lebih rendah (Theodore L, Adrienne S, Frank P, dan David P, 2011). Persamaan dasar perpindahan panas konduksi dapat ditulis:

$$Q = -KA \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Konveksi terjadi dengan adanya gabungan dari konduksi dengan angkutan massa, jika batas tersebut bersuhu lebih tinggi dari fluida didalamnya. Maka panas terlebih dahulu mengalir secara konduksi ke benda, kemudian panas dari benda mengkonveksi varikel-vartikel fluida (Holman, 1981). Laju perpindahan panas konveksi dapat dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$Q = h.A.\Delta T \quad (2)$$

Dengan koefisien perpindahan panas konveksi dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$h = 0,664 \times \frac{K}{L} \times Re^{0,5} \times Pr^{0,333} \quad (3)$$

Dimana persamaan bilangan Reynold adalah sebagai berikut:

$$Re = \frac{v \times L}{\mu} \quad (4)$$

Radiasi terjadi antara suatu benda dengan benda lainnya melalui gelombang elektromagnetik tanpa bergantung pada media diantara benda yang menerima panas (Holman, 1981). Laju perpindahan panas radiasi dapat dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$Q = e.A.\sigma.(\partial T)^4 \quad (5)$$

2. Metode

Penelitian ini dilaksanakan mulai Januari 2023, lokasi pengambilan data yaitu PT. Socfin Indonesia Matapao. Penelitian ini menggunakan dua jenis data yaitu data sekunder yang berasal dari buku serta jurnal-jurnal penelitian terdahulu, dan data primer diperoleh dengan

melakukan survei dan pengukuran langsung terhadap objek diperusahaan. Adapun peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3. Objek penelitian

Tabel 1. Spesifikasi Lapisan Dinding Furnace

No	Material	Tebal (m)	Luas (m ²)	Konduktivitas Termal (W/m.°C)
1	Pipa WaterWall (Baja structural)	Do:0,08805 Di:0,07225	7,049	43
2	Refractory	0.15	4,72	0,72
3	Glasswool	0.10	4,72	0,038
4	Penutup	0.01	4,72	43



Gambar 4. Termometer

Tabel 2. Spesifikasi Termometer

Item	Spesifikasi
Range Suhu	-58°C - 600°C
Jarak pengukuran terbaik	0,3 m
Akurasi	1.5°C

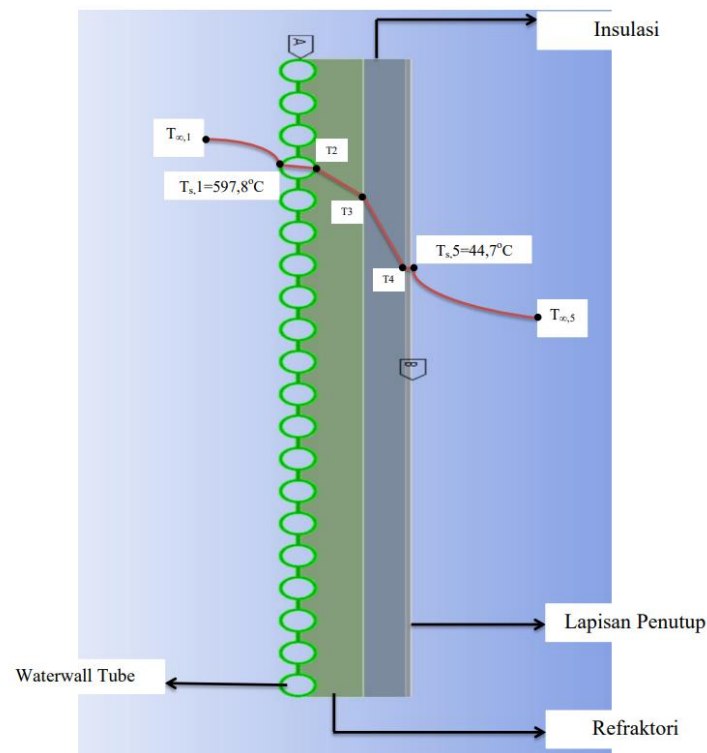


Gambar 5. Laptop

Tabel 3. Spesifikasi Laptop

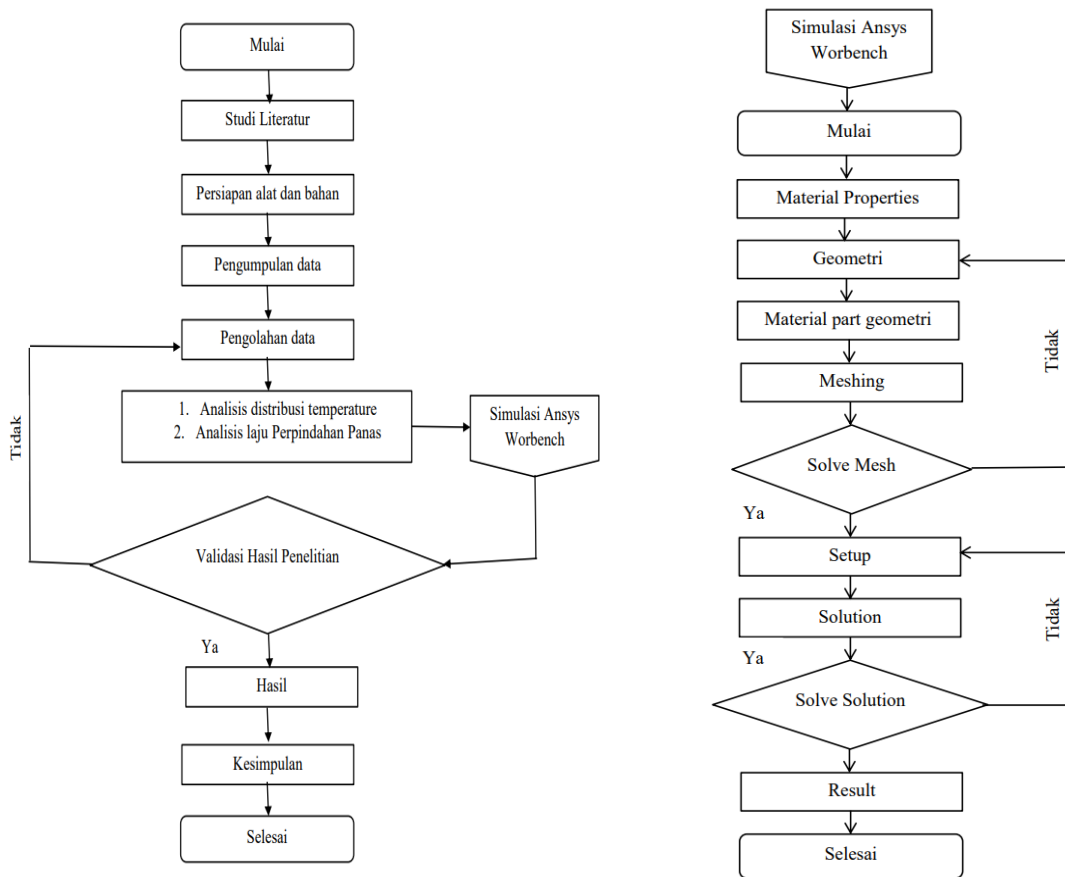
Item	Spesifikasi
Name	Asus Vivobook 14x
Processor	AMD RYZEN™ 7-5800H
Penyimpanan	SSD 512GB/RAM 16 GB DRR4
Grafis card	AMD Radeon™ vega 7 Graphics

Tahap melakukan analisis dengan menggunakan software Ansys, dengan analisis *Steady-state Thermal* dengan menggunakan parameter temperatur tertinggi. Adapaun kondisi batas (boundry condition) dari dinding ruang bakar boiler pada penelitian ini akan ditampilkan pada gambar Sebagai berikut:

**Gambar 6.** Geometri Kondisi Batas**Tabel 4.** Kondisi Batas

Kondisi Batas	Keterangan
Pipa waterwall	Material : Baja karbon Perpindahan panas : Radiasi, konduksi, & Konveksi $T_{out\ Tube}$: $597,8^{\circ}\text{C}$
Refraktori	Material : bata tahan api dan castabel Perpindahan panas : konduksi
Insulasi	Material : Glasswool Perpindahan panas : Konduksi
Penutup	Material : Seng Perpindahan panas : Konduksi & Konveksi $T_{\infty\ lingkungan}$: 44.7°C

Berikut ini alur penelitian dan simulasi pada penelitian ini, dapat dilihat pada Gambar 7. Diagram alur tahap simulasi.



Gambar 7. Diagram Alur simulasi

3. Hasil dan Pembahasan

Perpindahan panas yang terjadi pada dinding ruang bakar dimulai dari terjadinya radiasi panas pembakaran menuju waterwall tube boiler, kemudian merambat secara konduksi dan terjadinya perpindahan panas konveksi dari dinding pipa ke air yang ada didalam pipa boiler, selanjutnya terjadinya konduksi dan panas diredam oleh material insulasi glass wool.

3.1. Distribusi Temperatur

a. Hasil perhitungan teoritis

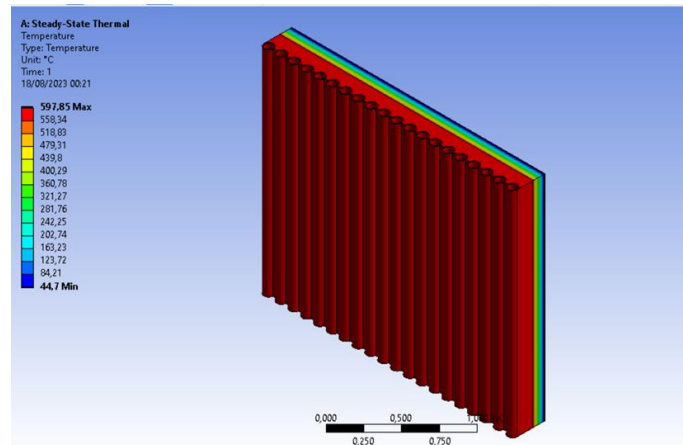
Setelah dilakukannya perhitungan laju perpindahan panas total pada dinding ruang bakar boiler dan memperoleh hasil laju perpindahan panas sebesar $Q_{total} = 2015,602 \text{ W}$, dengan mengacu pada dasar teori, dan parameter serta data-data yang tersedia maka diperoleh perhitungan temperatur pada setiap titik pada tabel 5 berikut.

Tabel 5. Distribusi temperature teoritis

Node	Temperatur	Unit
Ts1	597,8	°C
T2	597,3169	°C
T3	557,24	°C
T4	44,7452	°C
Ts5	44,7	°C

b. Hasil Simulasi Ansys Workbench

Setelah dilakukannya simulasi dengan bertumpu pada data primer dan parameter-parameter termal yang ada, maka dapat dilihat hasil simulasi distribusi temperatur pada lapisan dinding ruang bakar boiler yang ditampilkan pada Gambar 8.



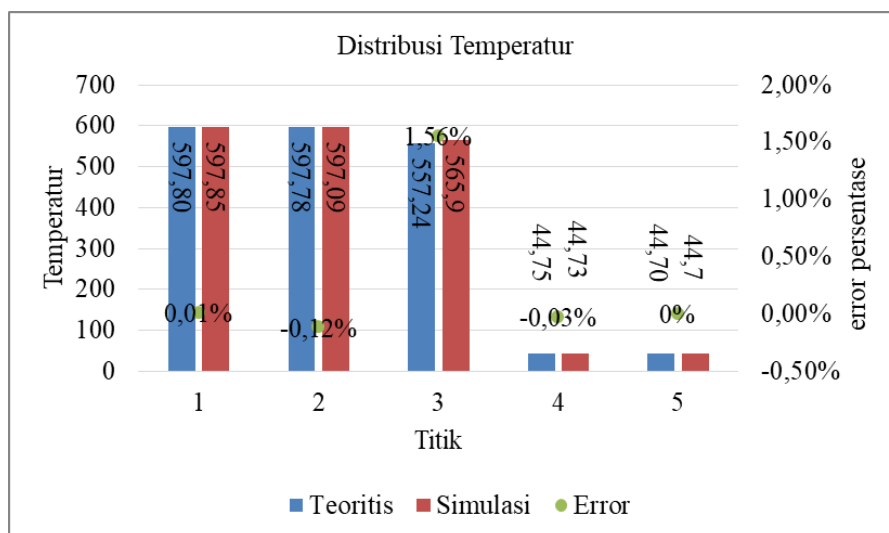
Gambar 8. Plot kontur distribusi temperatur

Berdasarkan hasil simulasi numerik dengan Ansys, berikut ini diuraikan pendistribusian temperatur pada setiap titik lapisan dinding ruang bakar untuk lebih mudah dalam memahami gambar simulasi tersebut. Hasil simulasi ditampilkan pada Tabel 6. berikut ini.

Tabel 6. Distribusi Temperatur Simulasi Ansys

Node	Temperatur	Unit
T_{s1}	597,85	°C
T_2	597,09	°C
T_3	565,91	°C
T_4	44,734	°C
T_{s5}	44,7	°C

Berdasarkan hasil distribusi temperatur dengan perhitungan teoritis dan simulasi pada bidang dinding ruang bakar diperoleh perbandingan (error persentase) nilai hasil simulasi dan hasil perhitungan teoritis dibawah 10% maka dapat disimpulkan bahwa hasil simulasi akurat. Dapat dilihat pada grafik berikut ini.



Gambar 9. Grafik perbandingan distribusi temperatur

3.2. Aliran Energi Panas (Heat Flux)

a. Hasil Perhitungan teoritis

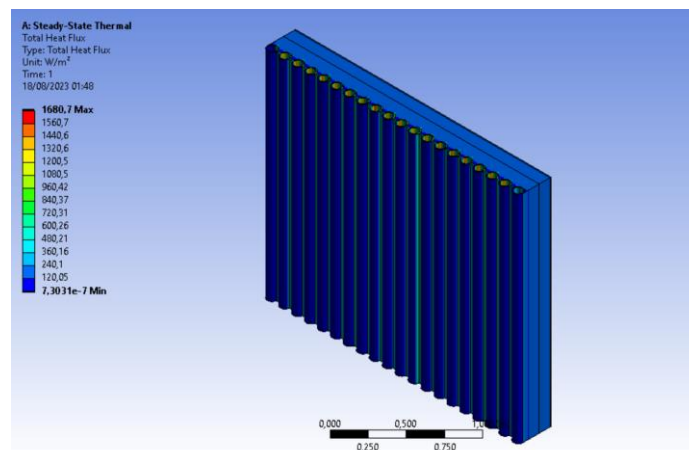
Berikut diuraikan hasil perhitungan teoritis *Heat flux* pada bidang dinding ruang bakar dengan bertumpu pada data dan parameter material dinding ruang bakar serta distribusi temperatur teoritis. Dapat dilihat pada Tabel 7 berikut.

Tabel 7. Heatflux teoritis

No	Lapisan	Heat Flux (q'')	Unit
1	Dinding Pipa	588,15	W/m ²
2	Konveksi dalam pipa	202,56	W/m ²
3	Refraktori	192,3696	W/m ²
4	Insulasi glasswool	194,74	W/m ²
5	Plat kesing	194,36	W/m ²

b. Hasil simulasi ansys

Heat flux merupakan jumlah energi panas melalui suatu permukaan benda, *Heat flux* merupakan tingkat laju perpindahan panas persatuan luas (W/m²) *Heat flux* memiliki besaran dan arah, Sehingga merupakan besaran Vektor. gambar 10. menunjukkan total aliran energi panas pada bidang dinding ruang bakar sebesar 1680,7 W/m².



Gambar 10. Total Heat Flux

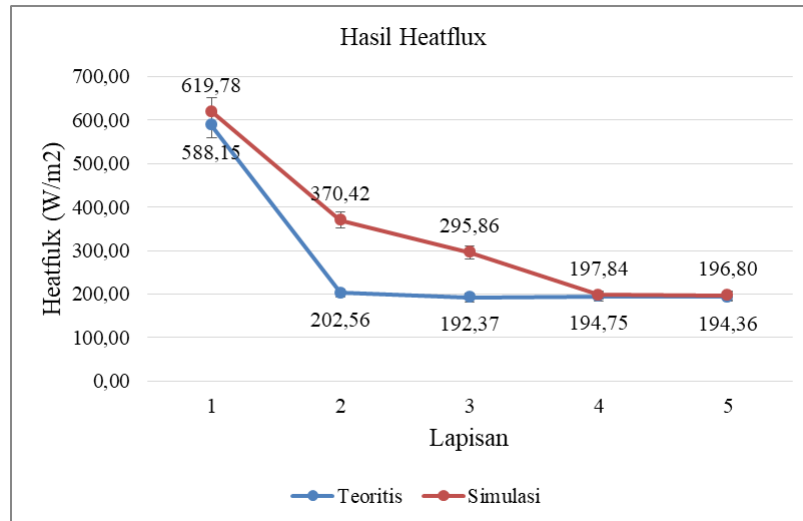
Dengan besar heat flux hasil simulasi disetiap lapisan nya dapat dilihat pada tabel 8 berikut ini.

Tabel 8. Heatflux simulasi

No	Lapisan	Heat Flux (q'')	Unit
1	Dinding Pipa	619,78	W/m ²
2	Konveksi dalam pipa	370,4185308	W/m ²
3	Refraktori	295,86	W/m ²
4	Insulasi glasswool	197,84	W/m ²
5	Plat kesing	196,8	W/m ²

Berikut ini merupakan grafik perbandingan aliran energi panas pada setiap lapisan dinding ruang bakar bagian 1 merupakan pipa waterwall dimana pada bagian ini menerima energi panas yang terbesar dari radiasi hasil pembakaran, bagian 2 merupakan heatflux konveksi didalam pipa yang dipengaruhi nilai koefisien konveksi, bagian 3 adalah lapisan

dinding refraktori, bagian 4 merupakan lapisan insulasi material glasswall, dan bagian 5 merupakan lapisan kesing dinding. Berdasarkan grafik diatas, aliran energi terbesar terjadi dari bagian 1 menuju bagian 3, sedangkan pada bagian 3 menuju bagian 5 laju aliran energi yang terjadi sangat kecil. Maka ditarik kesimpulan bahwa lapisan insulasi dinding ruang bakar boiler sangat baik dalam meredam besarnya laju energi panas, sehingga dapat meminimalisir kehilangan panas.



Gambar 11. Total Heat Flux

4. Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan distribusi temperatur secara teoritis diperoleh hasil $T_{s1} = 597,8^{\circ}\text{C}$, $T_2 = 597,317^{\circ}\text{C}$, $T_3 = 557,24^{\circ}\text{C}$, $T_4 = 44,7452^{\circ}\text{C}$, $T_5 = 44,7^{\circ}\text{C}$, sedangkan hasil simulasi numerik adalah $T_{s1} = 597,85^{\circ}\text{C}$, $T_2 = 597,09^{\circ}\text{C}$, $T_3 = 565,91^{\circ}\text{C}$, $T_4 = 44,734^{\circ}\text{C}$, $T_5 = 44,7^{\circ}\text{C}$. Berdasarkan hasil perhitungan error hasil simulasi dapat diterima, karena nilai galat berada dibawah 10% maka dapat disimpulkan bahwa hasil simulasi akurat. Berdasarkan analisis diperoleh total laju aliran energi panas (*Heat Flux*) pada bidang dinding ruang bakar boiler hasil simulasi adalah $1680,7\text{W}/\text{m}^2$, dengan laju aliran energi (*heat flux*) teoritis adalah $1372,188405\text{W}/\text{m}^2$.

Ucapan Terima Kasih

Terimakasih kepada Program Studi Teknik Mesin-UMA yang telah memberi dukungan dalam penulisan penelitian ini, ucapan terimakasih kepada PT. Socfin Indonesia yang telah mendukung dan memberi izin dalam pengambilan data dilingkungan pabrik, dan Terima Kasih kepada Bapak Jufrizal, S.T,M.T. yang selalu memberikan bimbingan, masukan dan saran dalam penulisan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Abdullah, Ilmi, Yoko Nikodemus Manik, Barita Barita, Jufrizal Jufrizal, Supriatno Supriatno, Zainuddin Zainuddin, and Eswanto Eswanto. 2019. "Desain Insinerator Menggunakan Bahan Bakar Cangkang Kelapa Sawit." *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi* 2 (1): 34–43. <https://doi.org/10.30596/rmme.v2i1.3067>.
- Aldori, Yopan Rahmad, and Reno Pangestu. 2022. "Analisa Perilaku Aliran Panas Pada Permukaan Desain Heatsink Dengan Menggunakan Software ANSYS." *IRA Jurnal Teknik*

- Mesin Dan Aplikasinya (IRAJTMA) 1 (2): 11–17.
<https://doi.org/10.56862/irajtma.v1i2.24>.
- Basu, P. 2006. Combustion and Gasification in Fluidized Bed. Francis: CRC Press.
- E.B.Woodruff, H.B.Lammers, and T.B.Lammers. 2004. Steam Power Operation Eight Edition. New York: McGraw-Hill.
- Harun, Al Rosyid. 2013. "Analisis Kegagalan Material Waterwall Tube Boiler PLTU Ubon Banten 3 Lontar Unit 3." Jurnal Power Plant.
- Hiroki, Homma, Homma Hiroomi, Yusrizal, and Muhammad Idris. 2013. "Wood Pyrolysis in Pre-Vacuum Chamber." Journal of Sustainable Bioenergy Systems 3 : 243-249.
- Homma, H., Idris, M., & Homma, H. 2014. Numerical Analysis on Wood Pyrolysis in Pre-vacuum Chamber. Sustainable Bioenergy Systems (4), 149-160.
- Holman, J.P. 1981. Heat Transfer. New York: McGraw-Hill International Book Company.
- Idris, M., & Novalia, U. 2017. Numerical Approach to Wood Pyrolysis in Considering Heat Transfer in Reactor Chamber . Material Science and Engineering.
- Jufrizal. 2011 "Simulasi Distribusi Temperatur Pada Ruang Reaksi Kompiler Gas Biomassa DGS2 dengan software Ansys 5.4." Seminar Nasional III Teknologi dan Rekayasa FT. UISU Teknologi dan Rekayasa.
- KS, Krumov NY, Penkova. 2019. "Numerical analysis of the transient heat transfer in high temperature chamber furnaces." Materials Science and Engineering : 1-8.
- Marla DT Engineering. 2019. Heat Transfer Analysis for A Composite Wall using WELSIM. <http://www.marladt.com/heat-transfer-analysis-for-a-composite-wall>.
- Nilesh, Mohite, Benni Ravindra, Desai Amit, and Patil Amol. 2017. "Optimization of Wall Thickness for Minimum Heat Losses for Induction Furnace." Engineering Research and Technology : 645-653.
- Pfeiffelmann, Björn, and Michael Diederich. 2019. "Analysis of combustion, heat and fluid flow in a biomass furnace." E3S Web Conference : 5.
- Simanjuntak, Eli, Muhammad Idris, and Jufrizal Jufrizal. 2023. "Analisis Performa Boiler Berbahan Bakar Kombinasi Fiber Dan Cangkang Pada Boiler Takuma N-600 SA." IRA Jurnal Teknik Mesin Dan Aplikasinya (IRAJTMA) 2 (1): 34–42.
<https://doi.org/10.56862/irajtma.v2i1.41>.
- Susastrawan, Nyoman A, and Prabowo. 2016. "Studi Numerik Karakteristik Perpindahan Panas Pada Membrane Wall Tube Boiler dengan Variasi Jenis Material Dan Ketebalan Insulasi." JURNAL TEKNIK ITS 5(1) : 2301-9271.
- Syam, Amir, Zulfikar, and M. Idris Hutasuhut. 2018. "Heat Transfer Simulation on the Wall of Rotary Cast Iron Smelting furnace capacity 1 ton/hour." Journal Of Mechanical Engineering, Manufactures, Materials, & Energy : 7-12.
- Theodore L, Bergman, Lavine Adrienne S, Incropera Frank P, and Dewitt David P. 2011. Fundamental Of Heat and Mass Transfer. seventh edition. Jefferson City: John Willy & Sons.
- V.N, C., O.F, D., G.R.Gupta, V.H, S., & R.V, U. 2013. Numerical Analysis of Combustion Furnace Performance by CFD. Mechanical and Civil Engineering, 72-79
- Wang, Chunsheng, and Yan Zhou. 2019. "Heat transfer simulation and thermal efficiency analysis of new vertical heating furnace." Thermal Engineering : 2-7.
- Y.A.Cengel. 2002. Heat Transfer a Practical Approach Second Edition. New York: McGraw-Hill.
- Zainuddin, Jufrizal Nurdin, and Eswanto Is. 2016. "The Heat Exchanger Performance of Shell and Multi Tube Helical Coil as a Heater through the Utilization of a Diesel Machine's Exhaust Gas." Aceh International Journal of Science and Technology 5 (1): 21–29.
<https://doi.org/10.13170/aijst.5.1.3842>.