

**SIMULASI PERPINDAHAN PANAS PADA DINDING RUANG
BAKAR BOILER DENGAN *SOFTWARE* ANSYS**

SKRIPSI

Oleh:

JOEL DAVIDSON HASIBUAN

188130066



PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MEDAN AREA

MEDAN

2023

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

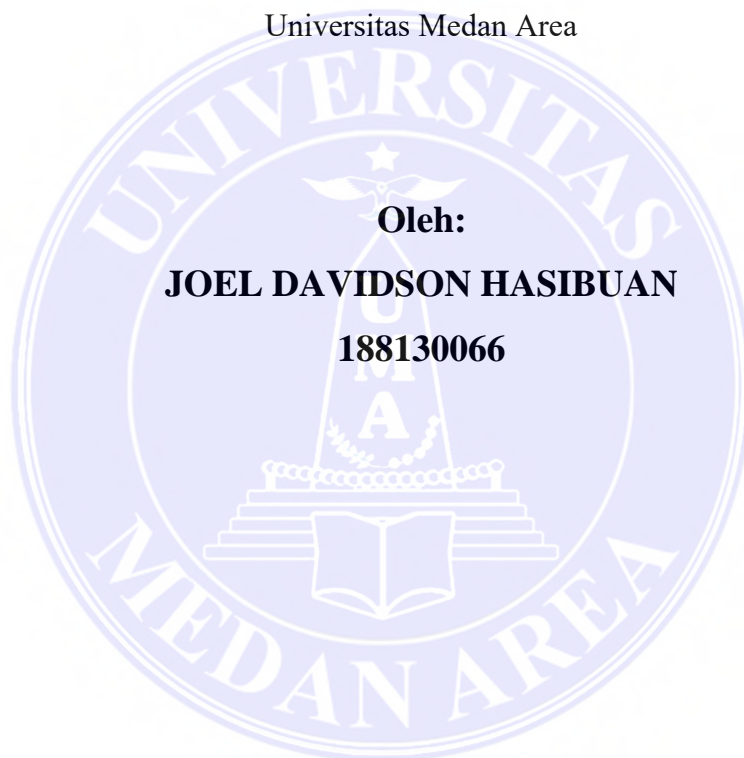
Document Accepted 13/10/23

Access From (repository.uma.ac.id)13/10/23

SIMULASI PERPINDAHAN PANAS PADA DINDING RUANG BAKAR BOILER DENGAN *SOFTWARE* ANSYS

SKRIPSI

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana di Program
Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Medan Area



Oleh:
JOEL DAVIDSON HASIBUAN
188130066

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MEDAN AREA

MEDAN

2023

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 13/10/23

Access From (repository.uma.ac.id)13/10/23

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI


Judul Skripsi : Simulasi Perpindahan Panas Pada Dinding Ruang Bakar Boiler dengan *Software* ANSYS

Nama Mahasiswa : Joel Davidson Hasibuan

NPM : 18810066

Bidang Keahlian : Konversi Energi



Disetujui Oleh:
Komisi Pembimbing



Jufrizal, ST, MT.
Pembimbing I



DR. Rahmadyan, S.Kom, M.Kom.
Dekan



Jufrizal, ST, MT.
Pembimbing II

Tanggal Lulus: 10 Agustus 2023

HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai Norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila dikemudian hari ditemukan adanya *plagiat* dalam skripsi ini.

Medan, 10 Agustus 2023



Joel Davidson Hasibuan

Npm:188130066



HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Sebagai civitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Joel Davidson Hasibuan

NPM : 188130066

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Mesin

Jenis Karya : Tugas Akhir/Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul: Simulasi Perpindahan Panas Pada Dinding Ruang Bakar Boiler Dengan *software* ANSYS. Dengan ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelolah dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di: Medan

Pada tanggal: 10 Agustus 2023

Yang menyatakan



Joel Davidson Hasibuan

ABSTRAK

Penelitian ini membahas tentang perpindahan panas pada dinding ruang bakar dengan simulasi. Tujuan utama dilakukannya simulasi ini adalah untuk mengetahui besaran suhu disetiap lapisan objek yang tidak dapat dilakukan pengukuran dengan alat ukur. Penelitian ini menggunakan data sekunder dan data primer. menganalisis dengan memakai *software* ANSYS, 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 919,096 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 $1680,7 \text{ W/m}^2$, hasil teoritis sebesar $1372,18 \text{ W/m}^2$. 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. 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. This study uses secondary data and primary data. analyzed using Ansys software, 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 919,096 W. Theoretical/experimental temperature distribution analysis and numerical simulations produce small comparison values (percentage error below 10%). Simulated heat energy flow rate (Heat Flux) $1680,7 \text{ W/m}^2$ and the theoretical yield is equal to $1372,18 \text{ W/m}^2$. 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.

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Medan Pada tanggal 27 April 1999 dari Ayah Partahi Hasibuan dan Ibu Sarmauli Panjaitan. Penulis merupakan Putra kedua dari Lima bersaudara

Tahun 2017, Penulis Lulus dari SMK SWASTA YAPIM Sei Bamban, dan pada tahun 2018 terdaftar sebagai mahasiswa Fakultas Teknik, Prodi Teknik Mesin, Universitas Medan Area.

Selama mengikuti perkuliahaan, penulis tidak memiliki kendala dalam proses belajar dikelas. Pada tahun 2022 penulis melaksanakan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di PT. Socfin Indonesia Kebun Matapao di bagian pabrik.



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Kuasa atas segala karuniaNya sehingga skripsi ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian ini ialah perpindahan panas dengan judul Simulasi Perpindahan Panas pada Dinding Ruang Bakar Boiler dengan *Software* ANSYS.

Terima kasih penulis sampaikan kepada bapak Jufrizal, ST, MT. selaku pembimbing yang telah memberikan saran dan bimbingan, terima kasih kepada bapak Ahmad Fuad Siregar yang memberikan bimbingan selama penelitian dan pengambilan data dilingkungan pabrik, serta terimakasih kepada teman –teman yang telah membantu penulis selama melaksanakan penelitian. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada ayah dan ibu, serta seluruh keluarga atas segala doa dan perhatiannya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat baik untuk kalangan pendidikan maupun masyarakat. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih.

Penulis



(Joel Davidson Hasibuan)

DAFTAR ISI

SIMULASI PERPINDAHAN PANAS PADA DINDING RUANG BAKAR BOILER DENGAN <i>SOFTWARE</i> ANSYS	i
SIMULASI PERPINDAHAN PANAS PADA DINDING RUANG BAKAR BOILER DENGAN <i>SOFTWARE</i> ANSYS	ii
HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	v
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
DAFTAR NOTASI	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Hipotesis Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Boiler.....	5
2.1.1 Pengertian Boiler	5
2.1.2 Jenis boiler.....	5
2.1.3 Komponen-komponen Boiler	8
2.2 Perpindahan Panas	13
2.2.1 Perpindahan Panas Konduksi	14
2.2.2 Perpindahan Panas Konveksi	16
2.2.3 Perpindahan Panas Radiasi.....	17
2.2.4 Perpindahan panas pada Dinding	18
2.3 Simulasi.....	22
2.3.1 <i>Software</i> ANSYS.....	22
2.3.2 Langkah-langkah melakukan simulasi	22
2.4 Model Matematika Metode Elemen Hingga.....	24
BAB III METODE PENELITIAN.....	26
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian.....	26
3.1.1 Tempat penelitian	26

3.1.2 Waktu penelitian.....	26
3.2. Alat dan Bahan.....	27
3.2.1 Alat	27
3.3. Metode Penelitian	31
3.3.1. Studi Literatur	31
3.3.2. Pengumpulan data.....	31
3.3.3. Pengolahan data	32
3.3.4. Kesimpulan dan sarana	32
3.4. Populasi dan sampel.....	32
3.4.1. Populasi.....	32
3.4.2. Sampel	32
3.5. Prosedur Penelitian	35
3.5.1. Langkah-langkah menggambar Model	35
3.5.2. Langkah-Langkah Analisis	38
3.5.3. Diagram Alir Penelitian	42
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	44
4.1. Hasil	44
4.1.1. Distribusi Temperatur	49
4.1.2. Aliran Panas (<i>Heat Flux</i>)	51
4.2. Pembahasan.....	54
4.2.1. Analisis Distribusi Temperatur	54
4.2.2. Analisis Aliran Panas (<i>Heat Flux</i>)	55
BAB V SIMPULAN DAN SARAN	57
5.1 Simpulan	57
5.2 Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	58
LAMPIRAN.....	60

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Ringkasan Waktu Penelitian	26
Tabel 3.2 Spesifikasi Boiler	27
Tabel 3. 3 Spesifikasi Laptop.....	28
Tabel 3. 4 Spesifikasi Termometer	30
Tabel 3. 5 Spesifikasi Jangka Sorong	30
Tabel 3. 6 Spesifikasi Meteran.....	31
Tabel 3. 7 Spesifikasi Boiler	32
Tabel 3. 8 Spesifikasi Ruang Bakar	32
Tabel 3. 9 Kondisi Batas	33
Tabel 3. 10 Konduktivitas Termal Material dinding Ruang Bakar.....	34
Tabel 4. 1 Dimensi Bagian Dinding Ruang Bakar.....	45
Tabel 4. 2 Luas Permukaan Lapisan dinding.....	46
Tabel 4. 3 Tahanan Termal Konduksi.....	47
Tabel 4. 4 Temperatur teoritis.....	49
Tabel 4. 5 Distribusi Temperatur Simulasi	50
Tabel 4. 6 <i>Heatflux</i> Lapisan Dinding teoritis	51
Tabel 4. 7 <i>Heatflux</i> lapisan dinding hasil simulasi	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Skema Boiler	5
Gambar 2. 2 Skema boiler pipa api.....	6
Gambar 2. 3 Denah boiler pipa air	6
Gambar 2. 4 <i>Bubbling Fluidized Bed Boiler</i>	7
Gambar 2. 5 <i>Circulating Fluidized Bed Boiler</i>	7
Gambar 2. 6 Steam drum	8
Gambar 2. 7 Pipa <i>Superheater</i>	9
Gambar 2. 8 <i>Cyclone</i>	9
Gambar 2. 9 Ruang Bakar Boiler.....	10
Gambar 2. 10 Struktur Ruang Bakar Boiler.....	10
Gambar 2. 11 Lapisan dinding Ruang Bakar Boiler	11
Gambar 2. 12 <i>waterwall tube</i>	12
Gambar 2. 13 Lapisan Refraktori.....	12
Gambar 2. 14 Insulasi Material Glasswool.....	13
Gambar 2. 15 Skema sederhana perpindahan panas	14
Gambar 2. 16 Skema konduksi	14
Gambar 2. 17 Skema konveksi.....	16
Gambar 2. 18 Skema Radiasi	17
Gambar 2. 19 Denah Perpindahan Panas pada Dinding CFB boiler.....	19
Gambar 2. 20 kerangka perpindahan panas bidang dinding (Theodore.LB & AL, 2011)	20
Gambar 2. 21 Rangkaian Tahanan Termal pada dinding komposit.....	21
Gambar 2. 22 Mesh jenis <i>Hexahedron</i>	23
Gambar 2. 23 Mesh jenis <i>Tetrahedron</i>	23
Gambar 3. 1 PT. Socfin Indonesia POM Matapao.....	26
Gambar 3.2 Ruang Bakar Boiler	27
Gambar 3. 3 Laptop.....	28
Gambar 3. 4 ANSYS <i>Workbench</i> 2023.....	28
Gambar 3. 5 <i>Solidworks</i> 2020	29
Gambar 3. 6 Termometer Gun	29
Gambar 3. 7 Jangka Sorong	30

Gambar 3.8 Meteran Panjang.....	31
Gambar 3. 9 Geometri Kondisi Batas Dinding Ruang Bakar	34
Gambar 3. 10 Tampilan Awal <i>Solidworks</i>	35
Gambar 3. 11 <i>Interface Solidworks</i>	36
Gambar 3. 12 tampilan <i>view</i> gambar.....	36
Gambar 3. 13 Desain dinding pipa air	37
Gambar 3. 14 Desain akhir dinding ruang bakar	37
Gambar 3.15 Lembar Kerja ANSYS <i>Workbench</i>	38
Gambar 3. 16 Menu Analisis	39
Gambar 3. 17 Elemen tipe Material	39
Gambar 3. 18 Pemberian Material <i>Part Geometri</i>	40
Gambar 3. 19 Tahap <i>Meshing</i>	40
Gambar 3. 20 Tahap <i>Setup</i>	41
Gambar 3. 21 Tahap <i>Solution</i>	41
Gambar 3. 22 Diagram Alur Penelitian.....	42
Gambar 3. 23 Diagram Alir Simulasi	43
Gambar 4. 1 Rangkaian Analogi Perpindahan Panas.....	44
Gambar 4. 2 Dimensi Dinding Ruang Bakar (dalam mm).....	45
Gambar 4. 3 Hasil simulasi dengan Ansys.....	50
Gambar 4. 4 Kontur <i>Heat Flux</i>	52
Gambar 4. 5 Vektor <i>Heatflux</i>	53
Gambar 4. 6 Grafik Distribusi Temperatur Hasil Simulasi.....	54
Gambar 4. 7 Grafik Aliran Energi Panas	55

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. 1 Tabel Temperatur Harian Ruang Bakar.....	60
Lampiran 1. 2 Koefisien Konveksi Fluida (J.P.Holman, 1986).....	61
Lampiran 1. 3 Konduktivitas Termal Material (J.P.Holman, 1986)	62
Lampiran 1. 4 Dokumentasi pengambilan data di perusahaan.....	63
Lampiran 1. 5 Hasil Simulasi distribusi suhu disetiap lapisan dinding	64
Lampiran 1. 6 Hasil Simulasi <i>Heat Flux</i> pada lapisan dinding.....	65
Lampiran 1. 7 Gambar teknik desain dinding ruang bakar	66



DAFTAR NOTASI

q	=	Laju Perpindahan Panas (W)
k	=	Konduktivitas Termal (W/m.°C)
A	=	Luas penampang (m ²)
ΔT	=	Perbedaan Tempertatur (°C)
T_1	=	Temperatur permukaan yang bersentuhan dengan panas (°C)
T_2	=	Temperature permukaan yang berbatasan dengan udara (°C)
Δx	=	Tebal total benda (m)
q''	=	<i>Heatflux</i> (W/m ²)
L	=	Ketebalan Material (m)
h	=	Koefisien perpindahan panas (W/m ² .°C)
Re	=	Bilangan reynold
Pr	=	Bilangan peraldi
e	=	Emisivitas benda
σ	=	Konstanta Boltman (W/m ² .°C ⁴)
R	=	Tahanan Termal (W/C)
P	=	Panjang (m)
L	=	Lebar (m)

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Perpindahan panas merupakan kajian yang membahas dan memprediksi aliran energi panas yang terjadi pada suatu objek atau benda sebagai sebab-akibat dari perbedaan temperatur panas. Perpindahan panas ini selalu terjadi dari suatu sistem bertemperatur tinggi menuju sistem dengan temperatur lebih rendah dan berhenti setelah kedua permukaan memiliki suhu yang sama. Pada ilmu perpindahan panas tidak hanya menjelaskan tentang bagaimana panas dapat ditransfer, tetapi juga untuk memprediksi tingkat dimana pertukaran panas tersebut terjadi yang dipengaruhi kondisi tertentu (Holman, 1981).

Perpindahan panas merupakan hal yang umum terjadi dan banyak dijumpai dalam bidang teknik mesin seperti perpindahan panas yang terjadi pada ruang bakar mesin, boiler, turbin, pipa uap, alat penukar kalor, dan lain sebagainya (Nasution & Napid, 2020). Ada beberapa cara dalam menghitung atau menyelesaikan suatu permasalahan ilmu perpindahan panas, antara lain menghitung secara manual dengan pendekatan metode elemen hingga, melakukan pengukuran secara langsung terhadap material yang mengalami perpindahan panas, serta dengan simulasi komputer dengan bantuan software teknik.

Perhitungan perpindahan panas dengan cara manual atau pengukuran secara langsung tidak selalu efisien dan efektif, apalagi telah berhadapan dengan temperatur yang tinggi. Maka perlunya melakukan perhitungan dengan menggunakan software untuk mendapatkan nilai yang pasti serta gambaran simulasi aliran perpindahan panas pada suatu benda atau material (V.N, O.F, G.R.Gupta, V.H, & R.V, 2013). Sehingga pada penelitian ini akan dilakukan cara penyelesaian perpindahan panas dengan menggunakan software Ansys.

Penggunaan software analisis numerik khususnya ansys pada kasus perpindahan panas sudah sangat sering dilakukan, walaupun melalui banyak pengembangan pada penelitian-penelitian sebelumnya. Penelitian terdahulu yang berjudul *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).

Penelitian terdahulu yang berjudul *Numerical Analysis on Wood Pyrolysis in Pre-vacuum Chamber* dengan mempertimbangkan temperatur, massa dan reaksi kimianya, setelah dilakukan analisis numerik dengan menggunakan software ansys maka diperoleh hasil gambaran simulasi perpindahan panas pada Pre-vacuum chamber berupa contour warna dan hasil distribusi temperatur (H.Homma, H.Homma, & M.Idris, 2014).

Penelitian sebelumnya yang berjudul *Numerical Approach to Wood Pyrolysis in Considering Heat Transfer in Reactor Chamber* menganalisis tentang perpindahan panas dalam reaktor selama proses kerja, dengan menggunakan software Ansys melakukan perhitungan suhu pada setiap titik dengan tujuan mendapatkan hasil perhitungan numerical dan membandingkan dengan hasil pengukuran eksperimen (M.Idris & Novalia, 2017).

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. (H.Homma, H.Homma, Yusrizal, & M.Idris, 2013)

Penelitian sebelumnya yang berjudul *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 transfer kalor pada dinding furnace Boiler dengan membandingkan heatloss yang terjadi dengan variasi insulasi dan temperatur steam. (Susastrawan & Prabowo, 2016)

Komponen pada boiler yang memiliki 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 dan pada umumnya perancangan ruang bakar biasanya berdasarkan pengalaman (Nilesh, Ravindra, Amit, & Amol, 2017). Maka pentingnya dilakukan analisis panas atau simulasi sebagai acuan untuk menentukan material yang baik supaya memenuhi syarat ruang bakar yang dapat bekerja secara optimal. (KS, 2019) (Wang & Zhou, 2019). Tujuan lain dilakukannya simulasi untuk mendeteksi besaran suhu disetiap lapisan dinding yang tidak dapat dilakukan pengukuran atau sulit dijangkau dengan alat ukur. Objek pada penelitian ini adalah ruang bakar boiler unit PKS PT, socfin Indonesia Matapao.

1.2. Perumusan Masalah

Ruang bakar merupakan tempat terjadinya reaksi antara bahan bakar, udara dan api. Reaksi tersebut akan berpengaruh besar pada konstruksi penyusun ruang bakar tersebut. Besarnya reaksi tersebut dapat mempengaruhi sifat dan karakteristik material penyusun dinding ruang bakar. Besarnya reaksi panas yang terjadi juga berpengaruh pada distribusi temperatur pada lapisan dinding ruang bakar. Panas akan mengalir dari temperatur tertinggi menuju temperatur terendah. Dalam hal ini maka perlu dilakukan simulasi sebelum memilih material penyusun ruang bakar.

Berdasarkan identifikasi tersebut perumusan masalah penelitian ini ialah: "Bagaimana model simulasi perpindahan panas yang terjadi pada dinding ruang bakar boiler dengan menggunakan program komputer?".

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun yang menjadi tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Mengetahui Nilai distribusi temperatur pada dinding ruang bakar dan Memperoleh Gambaran simulasi.
2. Mengetahui total *Heat flux* pada dinding ruang bakar.

1.4. Hipotesis Penelitian

Besarnya nilai Konduktivitas termal material mempengaruhi kemampuan distribusi temperatur pada material tersebut. Semakin besar Konduktivitas termal material maka diikuti semakin besarnya kemampuan material tersebut dalam menghantarkan panas.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi mahasiswa:

Menambah wawasan dan pemahaman tentang pemakaian *software* ANSYS untuk berbagai masalah pada bidang konversi energi khususnya pada ilmu perpindahan dan termodinamika.

2. Bagi Universitas:

Menambah jumlah penelitian dan literatur untuk menjadi referensi bagi mahasiswa yang akan melakukan perhitungan dan simulasi perpindahan panas dengan ANSYS.

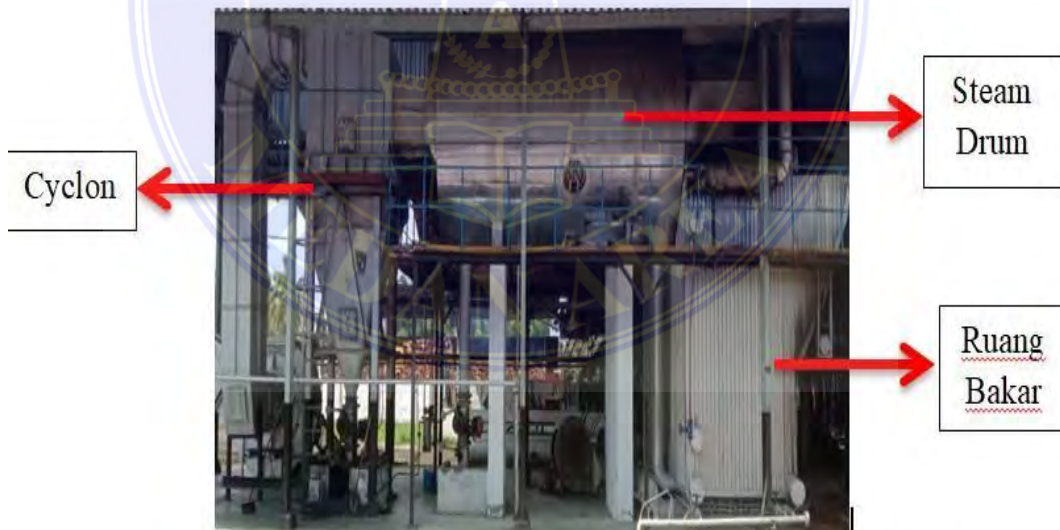
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Boiler

2.1.1 Pengertian Boiler

Boiler merupakan alat berbentuk tabung tertutup yang difungsikan untuk memproduksi uap sering juga disebut generator steam yang merupakan komponen utama dari system pembangkit listrik (E.B.Woodruff, H.B.Lammers, & T.B.Lammers, 2004). Uap diperoleh dari hasil pemanasan air yang berada didalamnya, panas diperoleh dari pembakaran bahan bakar di ruang bakar. Uap hasil proses pada boiler dipakai untuk berbagai jenis keperluan pada proses industri misalnya penggerak turbin pembangkit tenaga, pemanas, pengeringan, dan lainnya. (Pfeiffelmann & Diederich, 2019) Dalam pengoperasian dan pemakaiannya harus sesuai dengan standar yang ditentukan pabrik pembuatan boiler tersebut. standar operasi yang ditetapkan dapat menjamin keselamatan dalam pengoperasian, sehingga dapat menekan biaya operasional dan perawatan, serta meningkatkan efisiensinya. Gambar 2.1 merupakan unit boiler.



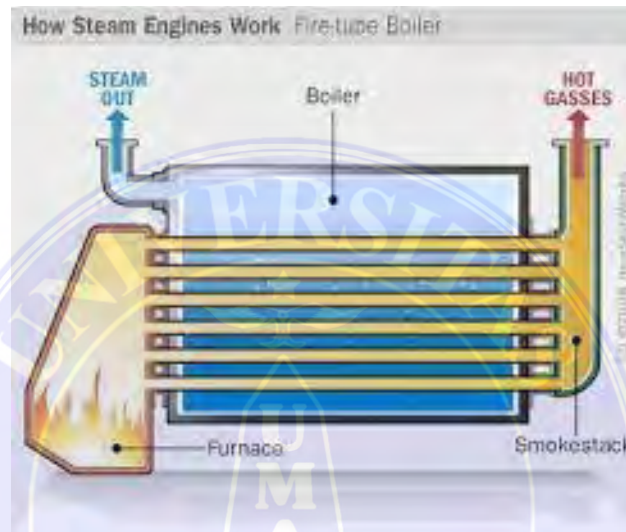
Gambar 2. 1 Skema Boiler

2.1.2 Jenis boiler

Boiler umumnya terdiri dari bejana yang tertutup serta pada perkembangannya dilengkapi dengan pipa-pipa api maupun pipa air (Subagyo, 2018). Jika dilihat dari kelas dan spesifikasinya boiler dapat diklasifikasikan sebagai berikut yaitu:

1. Jenis boiler menurut fluida mengalir didalam pipa.
 - a. Boiler pipa api (*fire tube boiler*)

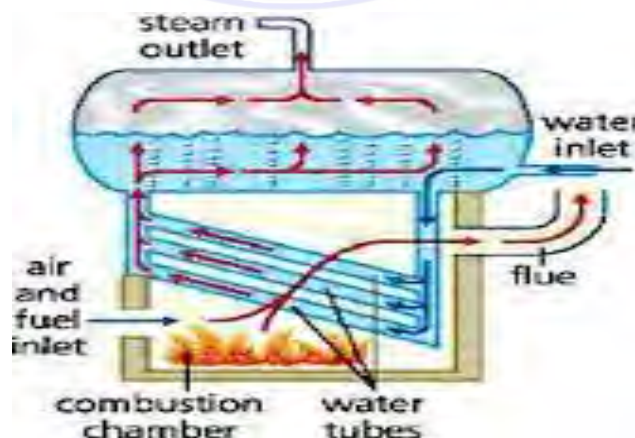
Pada pipa api, fluida yang mengalir pada lorong tube merupakan hawa panas pembakaran dari ruang bakar sedang diluar pipa terdapat air yang akan diproses menjadi uap. Jenis pipa api mempunyai kecepatan menghasilkan uap yang rendah dengan cadangan uap air yang lebih banyak (Suprianto, 2015). Gambar 2.2 merupakan skema boiler jenis pipa api.



Gambar 2. 2 Skema boiler pipa api

- b. Boiler pipa air (*water tube boiler*)

Pada pipa air, fluida yang mengalir pada pipa adalah air, sedangkan diluar pipa adalah gas nyala api (*flue gas*). Jenis pipa air ini sangat cepat menghasilkan uap tetapi cadangan uap terbatas (Subagyo, 2018) (Suprianto, 2015). Gambar 2.3 merupakan skema boiler pipa air.

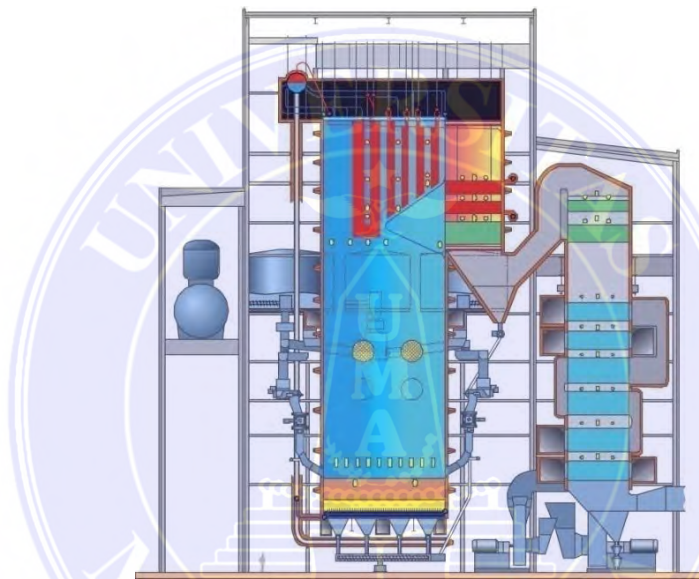


Gambar 2. 3 Denah boiler pipa air

2. Boiler berdasarkan sistem pembakaran.

Fluidized bed combustion adalah tipe pembakaran boiler dengan metode pembakaran bahan bakar padat pada bed yang memiliki sifat seperti *fluida*. prinsip kerjanya bahan bakar dibakar pada furnace yang berisi material *Bed*. Udara pembakaran membuat proses fluidisasi material *bed* sehingga bahan bakar lebih mudah terbakar. Metode ini memiliki kelebihan yaitu efisiensi pembakaran tinggi, dan emisi gas buang yang rendah (Basu, 2006). Ada dua tipe boiler fluidized bed combustion antara lain sebagai berikut:

a. *Bubbling Fluidized bed* (BFB)



Gambar 2. 4 *Bubbling Fluidized Bed Boiler*

b. *Circulating Fluidized Bed* (CFB)



Gambar 2. 5 *Circulating Fluidized Bed Boiler*

2.1.3 Komponen-komponen Boiler

1. Bejana Uap

Bejana uap merupakan bagian dari boiler berfungsi sebagai wadah penampungan air serta tempat terbentuknya uap (*steam*). Pada drum terdapat pipa-pipa yang berfungsi untuk menyalurkan hawa panas dari ruang bakar untuk memanaskan air dalam drum. Drum menampung air dan uap jenuh (*saturated steam*) dengan komposisi perbandingan 50:50. Kemudian uap jenuh diteruskan ke pipa superheater untuk selanjutnya diubah menjadi uap kering (*superheated steam*). Gambar 2.6 merupakan steam drum boiler.



Gambar 2. 6 Steam drum

2. Pipa superheater

Superheater merupakan pipa pengering uap dengan tujuan untuk melakukan pemanasan secara lanjut uap saturasi menjadi uap super kering, Proses pemanasan lanjut dengan pipa-pipa superheater yang dipanaskan dengan temperatur $250\text{ }^{\circ}\text{C} - 300\text{ }^{\circ}\text{C}$. *Superheater* difungsikan untuk menaikkan kadar kekeringan uap dengan memanaskan menggunakan *flue gas*, tujuannya untuk memanaskan uap hingga mencapai temperatur tertentu agar dapat digunakan untuk menggerakkan turbin. Pada gambar 2.7 merupakan komponen pipa *superheater* pada boiler kombinasi pipa air dan pipa api.



Gambar 2. 7 Pipa *Superheater*

3. Cyclone

Cyclone berfungsi untuk memisahkan bahan bakar yang tidak habis terbakar dan partikel-partikel padat pada aliran gas buang. Prinsip kerja *cyclone* memisahkan partikel dari aliran gas menggunakan gaya sentrifugal. Umumnya pada sistem boiler partikel-partikel padat tersebut diumpankan kembali menuju ruang bakar boiler. Gambar 2.8 merupakan separator cyclone



Gambar 2. 8 *Cyclone*

4. Ruang bakar (*Furnace*)

Ruang bakar adalah bagian utama boiler yang digunakan sebagai wadah terjadinya reaksi pembakaran yang menjadi sumber panas untuk mengubah air

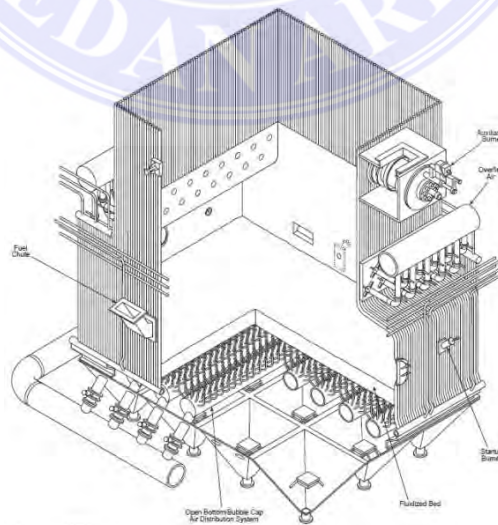
menjadi uap pada boiler. Ruang bakar adalah Dasar dilakukannya penelitian ini karena sebagai tempat pertama terjadinya sumber panas dan perpindahan panas pada boiler. Gambar 2.10 merupakan ruang bakar boiler



Gambar 2. 9 Ruang Bakar Boiler

a. Struktur dinding ruang bakar boiler

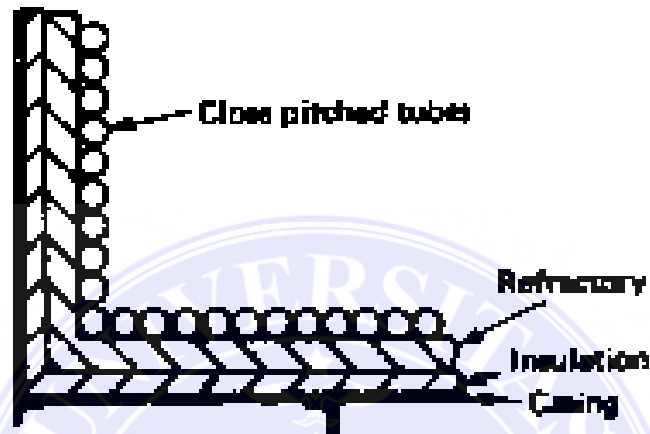
Ruang bakar memiliki lapisan dinding pipa baja yang dalamnya dilapisi oleh material tahan temperatur tinggi seperti batu bata tahan api dan semen castabel (*refractory*) serta material Insulasi yang bertujuan untuk menahan panas agar tidak hilang dan mengembalikan panas radiasi kembali kepermukaan tube yang dikenal dengan *fire box*. Gambar 2.10 merupakan struktur ruang bakar boiler fluidized bed combustion, dan gambar 2.11 merupakan tampilan lapisan dinding ruang bakar.



Gambar 2. 10 Struktur Ruang Bakar Boiler

b. Lapisan Material Dinding Ruang Bakar

Pada penelitian ini material lapisan dinding ruang bakar disusun atas 4 jenis material yang dapat menahan panas guna meningkatkan efisiensi pembakaran (Marla DT Engineering, 2019). Lapisan Ruang bakar ditampilkan gambar 2.11.



Gambar 2. 11 Lapisan dinding Ruang Bakar Boiler

1) Pipa baja (*waterwall tube*)

Pada *furnace* boiler terdapat komponen *waterwall tube*, dimana panas pembakaran meradiasi pipa dan memanaskan serta menaikkan temperatur air didalamnya untuk selanjutnya diubah menjadi uap. Umumnya *waterwall* disusun secara vertical diruang bakar (Harun, 2013). Pada Umumnya pipa *waterwall* terbuat dari material logam yang memiliki kekuatan tahan suhu tinggi, ketahanan korosi, dan tekanan tinggi.



Gambar 2. 12 *waterwall tube*

2) *Refraktori*

Refraktori adalah merupakan material bukan logam yang memiliki sifat tahan terhadap temperatur tinggi sehingga dapat digunakan untuk suatu konstruksi struktur bangunan atau suatu sistem yang dikenai temperatur tinggi. (Anonymous, 2000). Bahan refraktori harus memenuhi persyaratan yang telah ditentukan seperti tahan temperature tinggi, tahan terhadap perubahan suhu yang mendadak, serta memiliki nilai konduktivitas termal yang rendah. Gambar 2.13 merupakan contoh lapisan dinding material refraktori.



Gambar 2. 13 Lapisan Refraktori

3) Insulasi

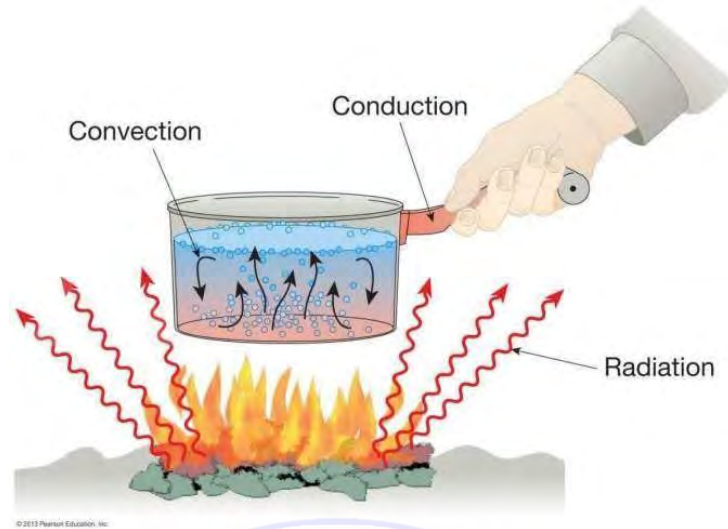
Insulasi merupakan suatu material yang berfungsi sebagai peredam energi, baik panas, bunyi dan arus listrik serta getaran. Insulasi merupakan material yang memiliki nilai konduktivitas termal yang rendah maka sangat baik dalam meredam panas, meminimalisir kehilangan panas. Umumnya ada 2 jenis material insulasi yang sering digunakan untuk insulasi ruang bakar, yaitu rockwool dan glasswool. Rockwool terbuat dari batuan mineral yang lebih padat dan berat, dibandingkan rockwool insulasi glasswool lebih ringan dan murah serta dapat menahan temperature maksimal 200 °C.



Gambar 2. 14 Insulasi Material Glasswool

2.2 Perpindahan Panas

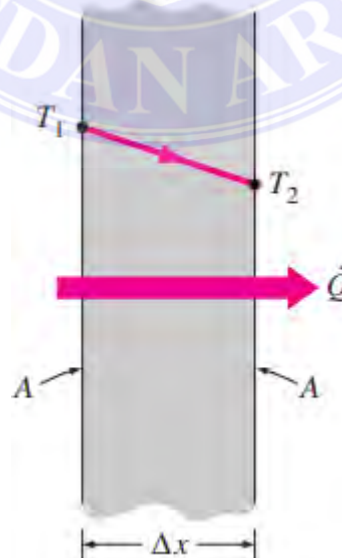
Perpindahan panas merupakan kajian yang mempelajari dan membahas perpindahan energi pada objek sebagai sebab-akibat dari perbedaan temperatur panas. Perpindahan panas terjadi pada suatu sistem atau permukaan bersuhu tinggi menuju sistem dengan suhu lebih rendah dan berhenti setelah keduanya memiliki besar suhu yang sama. Pada ilmu perpindahan panas bukan sekedar menjelaskan tentang bagaimana panas dapat berpindah, tetapi juga untuk memprediksi tingkat dimana pertukaran panas tersebut terjadi yang dipengaruhi kondisi tertentu (Holman, 1981) (Y.A.Cengel, 2002). Perpindahan panas umumnya dibedakan menjadi 3 jenis perpindahan yaitu Hantaran (Konduksi), Aliran (Konveksi), dan Pancaran (Radiasi), Seperti pada skema gambar 2.12 berikut ini.



Gambar 2. 15 Skema sederhana perpindahan panas

2.2.1 Perpindahan Panas Konduksi

Saat mendengar kata konduksi kita dapat dengan mudah membayangkan konsep kerja perpindahan panas ini. Konduksi merupakan transfer panas dari ujung dengan suhu yang lebih tinggi menuju ujung yang lebih rendah. Sebagai contoh perpindahan panas konduksi dalam kehidupan sehari-hari adalah saat sendok logam dimasukkan kedalam cangkir berisi air hangat, maka akan terjadi hantaran panas melalui batang sendok menuju ujung bagian sendok. (Theodore.LB & AL, 2011)



Gambar 2. 16 Skema konduksi

Konduksi merupakan peristiwa dimana kalor mengalir dari bagian yang memiliki temperatur tinggi menuju bagian yang bertemperatur lebih rendah dalam satu media (baik cair, gas, atau padat) maupun dengan media yang bersentuhan. Konduksi adalah mekanisme transfer kalor dimana panas dapat mengalir dalam zat padat yang tidak tembus cahaya. Persamaan dasar konduksi adalah dapat ditulis sebagai berikut:

$$q = -K A \frac{\Delta T}{\Delta x} = kA \frac{(T_1 - T_2)}{L} \dots\dots\dots (2.1)$$

Untuk menghitung laju aliran energi panas (*heat flux*) dapat dilakukan dengan persamaan:

$$q'' = k \frac{\Delta T}{\Delta x} = \frac{k}{L} (T_1 - T_2) \dots\dots\dots (2.2)$$

Untuk menghitung luas permukaan dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan bangun ruang, untuk luas permukaan bidang persegi dapat dihitung dengan persamaan:

$$A = P \times L \dots\dots\dots (2.3)$$

Sedangkan luas permukaan bidang silinder dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$A = 2\pi r t \text{ atau } A = \pi d t \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana:

- q = Laju Perpindahan panas (W)
- q'' = Heat Flux (W/m²)
- K = Termal Konduktivitas benda (W/m⁰c)
- A = Luas penampang benda (m²)
- ΔT = Perbedaan Temperatur (°C)
- Δx = Tebal benda (m)
- T1 = Temperatur benda yang berbatasan dengan sumber panas (°C)
- T2 = Temperatur benda berbatasan dengan udara (°C)
- (-) = Menandakan panas mengalir ketempat yang lebih rendah

2.2.2 Perpindahan Panas Konveksi

Konveksi adalah jenis transfer panas dari satu media ke tempat lain bersamaan dengan gerak partikel-partikel bendanya. Perpindahan panas secara konveksi terjadi dengan gabungan dari konduksi dengan angkutan massa, jika batas tersebut bersuhu lebih tinggi dari fluida didalamnya. Maka panas terlebih dahulu mengalir secara konduksi ke media, kemudian panas dari benda mengkonveksi partikel-partikel fluida (Holman, 1981). Contoh umum perpindahan panas konveksi pada kehidupan sehari-hari adalah ketika memasak air pada suatu wadah, maka api dari kompor akan memanasi (konduksi) wadah terlebih dahulu, kemudian panas dari wadah tersebut mengalir (konveksi) menuju partikel-partikel air yang ada didalam wadah sehingga terjadinya proses perpindahan panas.



Gambar 2. 17 Skema konveksi

Laju perpindahan panas konveksi dapat dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$q = h \cdot A \cdot \Delta T \dots\dots\dots (2.5)$$

Untuk menghitung laju aliran energi panas (*heat flux*) dapat dilakukan dengan persamaan:

$$q'' = h \cdot \Delta T = h \cdot (T_1 - T_\infty) \dots\dots\dots (2.6)$$

nilai koefisien perpindahan panas konveksi bisa dihitung dengan persamaan berikut:

$$h = 0,664 \times \frac{K}{L} \times Re^{0,5} \times Pr^{0,333} \dots\dots\dots (2.7)$$

dimana persamaan *bilangan Reynold* adalah sebagai berikut:

$$Re = \frac{v \times L}{\mu} \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana:

- q = Laju perpindahan panas (W)
- h = Koefisien konveksi (W/m².⁰C)
- A = Luas penampang (m³)
- ΔT = Perbedaan temperatur (⁰C)

2.2.3 Perpindahan Panas Radiasi

Panas juga dapat ditransfer melalui media udara dalam hal ini adalah mekanisme perpindahan panas radiasi melalui gelombang elektromagnetik. Mekanisme perpindahan panas radiasi berbeda dengan hantaran dan aliran dimana perpindahan panas menggunakan suatu media penghantar (Holman, 1981). Perpindahan panas radiasi terjadi pada suatu benda dengan benda lainnya melalui gelombang elektromagnetik tanpa bergantung pada media diantara benda yang menerima panas. Konsep sederhana radiasi yaitu panas matahari yang merambak lewat gelombang elektromagnetik di lapisan atmosfer bumi. Pada gambar 2.16 merupakan skema perpindahan panas secara radiasi.



Gambar 2. 18 Skema Radiasi

Bila permukaan panas terhalang suatu benda maka permukaan yang akan dipanaskan tidak menerima panas secara radiasi, jika panas mengenai suatu objek maka sebagian dari kalor itu dipantulkan kembali kesumber panas dan sebagian

besar akan diserap objek tersebut. Laju radiasi dapat dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$q = e \cdot A \cdot \sigma \cdot (T)^4 \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana:

q = Laju perpindahan panas Radiasi (W)

e = emisivitas benda

A = Luas penampang permukaan (m²)

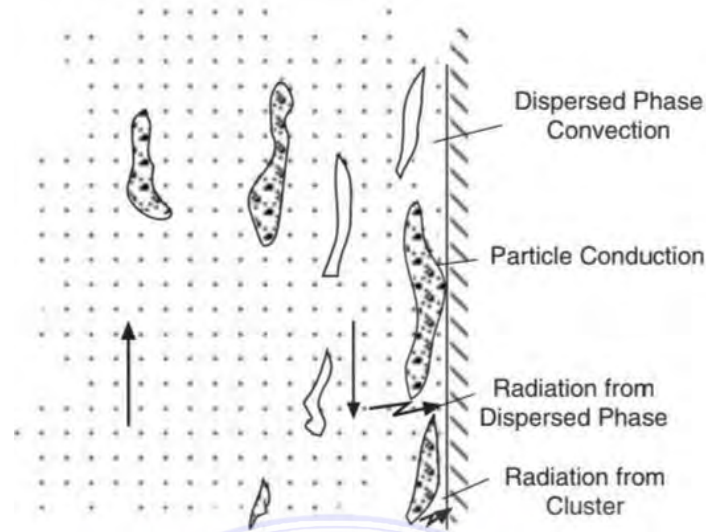
T = Temperatur (°C)

σ = bilangan boltzman (5.669 x 10⁻⁸ W/m².K⁴)

2.2.4 Perpindahan panas pada Dinding

1. Prinsip perpindahan panas pada Ruang Bakar Boiler

Selama pengoperasian boiler perpindahan panas yang terjadi pada setiap permukaan tergantung pada situasi pembakaran. Prinsip perpindahan panas pada ruang bakar boiler jenis FBC, partikel padat sisa pembakaran bahan bakar biasanya membentuk kelompok pada aliran gas. Aliran partikel padat terdispersi disebut fase terdispersi, dan sisanya disebut fase cluster. Sebagian besar partikel material bed naik disepanjang area tungku, sedangkan partikel cluster jatuh didekat dinding. Oleh karena itu, perpindahan panas konduksi terjadi karena partikel cluster, perpindahan panas konveksi dari fase terdispersi, dan radiasi dari gabungan dua fase (Basu, 2006). Pada gambar 2.15 menampilkan skema perpindahan panas pada ruang bakar boiler.



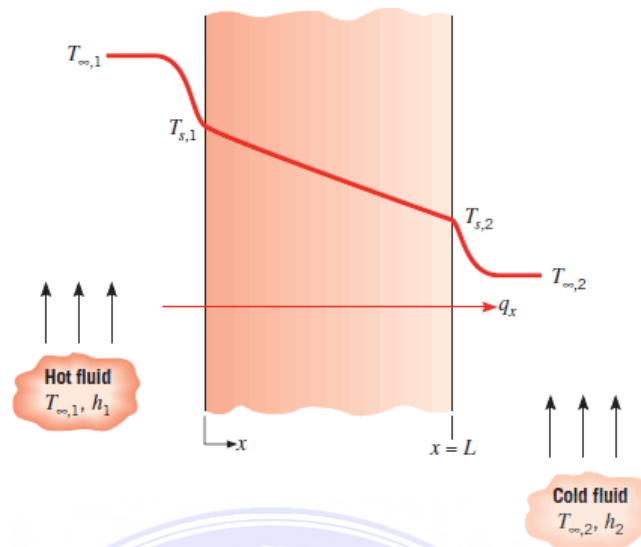
Gambar 2. 19 Denah Perpindahan Panas pada Dinding CFB boiler

Fase cluster yang jatuh disepanjang permukaan dinding mengalami konduksi panas tidak tunak ke permukaan dinding. Melalui perpindahan panas konduksi dan radiasi, cluster mentransfer panas ke dinding (Basu, 2006).

2. Distribusi Temperatur dan Tahanan Termal

a. Distribusi Temperatur

Bidang dinding dapat memisahkan dua jenis fluida dengan temperatur yang berbeda. Pada umumnya dapat disimpulkan proses perpindahan panas yang terjadi pada bidang dinding tersebut yaitu terjadinya konveksi dari sumber panas ($T_{\infty,2}$) menuju permukaan dinding ($T_s,2$). Kemudian secara konduksi disepanjang permukaan dinding, serta secara konveksi dari permukaan dinding ($T_s,1$) menuju udara luar ($T_{\infty,1}$) (Theodore.LB & AL, 2011). Gambar 2.17 merupakan skema perpindahan panas pada sebuah bidang dinding.



Gambar 2. 20 kerangka perpindahan panas bidang dinding (Theodore.LB & AL, 2011)

Distribusi temperatur pada sebuah bidang dinding jika diasumsikan bahwa konduktivitas termal material konstan dan tanpa pembangkit panas dapat dihitung dengan persamaan (Theodore.LB & AL, 2011):

$$T(x) = (T_{s,2} - T_{s,1}) \frac{x}{L} + T_{s,1} \dots\dots\dots (2.10)$$

Dengan menggunakan hukum Fourier, maka dapat diperoleh laju perpindahan panas pada bidang dinding yaitu:

$$q_x = -KA \frac{dT}{dx} = \frac{KA}{L} (T_{s,1} - T_{s,2}) \dots\dots\dots (2.11)$$

b. Tahanan Termal

Umumnya sama halnya seperti hambatan listrik yang dikaitkan dengan konduksi listrik, tahanan termal berkaitan dengan konduksi panas. Tahanan termal merupakan rasio potensi pergerakan panas dengan laju perpindahan yang sesuai (Theodore.LB & AL, 2011). tahanan termal dapat dihitung dengan persamaan:

1) Tahanan termal konduksi

$$R_{t,kond} = \frac{T_{s,1} - T_{s,2}}{q} = \frac{L}{KA} \dots\dots\dots (2.12)$$

2) Tahanan termal konveksi

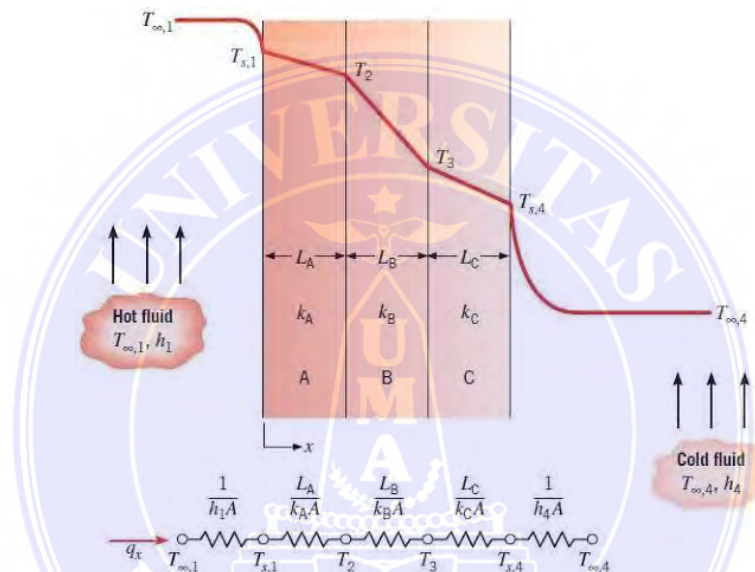
$$R_{t,konv} = \frac{T_s - T_{\infty}}{q} = \frac{L}{hA} \dots\dots\dots (2.13)$$

3) Tahanan termal Radiasi

$$R_{t,rad} = \frac{T_s - T_{sur}}{q_{rad}} = \frac{L}{h_r A} \dots\dots\dots (2.14)$$

q_{rad}

Pada kasus dinding komposit sistem tahanan termal juga digunakan, umumnya dinding komposit melibatkan sejumlah tahanan termal seri dan paralel karena lapisan material yang berbeda (Theodore.LB & AL, 2011). Dilihat pada gambar 2.18 maka laju perpindahan panas dinding komposit dapat dihitung dengan persamaan (2.13).



Gambar 2. 21 Rangkaian Tahanan Termal pada dinding komposit

$$q_x = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 4}}{\left[\left(\frac{1}{h_1 A} \right) + \left(\frac{L_A}{k_A A} \right) + \left(\frac{L_B}{k_B A} \right) + \left(\frac{L_C}{k_C A} \right) + \left(\frac{1}{h_4 A} \right) \right]} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana:

- q = laju perpindahan panas (W)
- T_s = Temperatur permukaan dinding ($^{\circ}C$)
- T_{∞} = Temperatur udara ($^{\circ}C$)
- k = Konduktivitas termal benda ($W/m^{\circ}c$)
- A = Luas Penampang (m^2)
- h = Koefisien perpindahan panas ($W/m^2. ^{\circ}C$)
- L = ketebalan material (m)

2.3 Simulasi

Simulasi merupakan suatu teknik menampilk atau membuat sesuatu dalam bentuk tiruan yang mirip dengan keadaan yang sesungguhnya. Simulasi adalah suatu penggambaran objek atau tahapan dengan tampilan berupa model angka atau statistik untuk mendapatkan sifat suatu objek (KBBI, 2016). Dewasa ini pemakaian *software* simulasi sangat membantu dalam pemecahan masalah di industri. Pada bidang teknik perlu diperhatikan beberapa aspek yang mendukung saat membuat simulasi yaitu *software* permodelan.

2.3.1 *Software* ANSYS

ANSYS merupakan suatu *software* komputer memiliki fungsi untuk mensimulasikan suatu objek yang mengimplementasikan perambatan panas, pengaruh gaya dan tegangan, serta aliran fluida. Ansys menganalisa perpindahan panas yang bekerja pada bagian komponen yang digabungkan ke dalam pengaturan simulasi.

2.3.2 Langkah-langkah melakukan simulasi

Pada kegiatan simulasi permodelan suatu objek perlu diperhatikan beberapa aspek untuk mendapatkan hasil simulasi yang baik, seperti data-data objek yang akan di teliti, perangkat yang digunakan untuk proses simulasi, dan lainnya. Secara umum proses simulasi dengan ANSYS *workbench* terdiri atas beberapa tahapan, yaitu sebagai berikut:

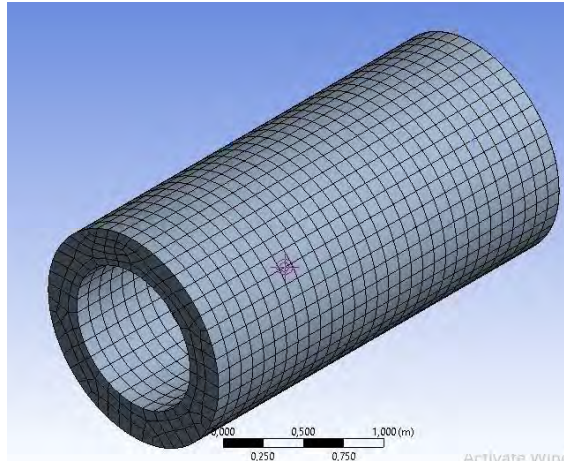
1. Geometri

Geometri merupakan sub-bagian yang digunakan untuk mendesain bentuk geometri objek yang akan dibuat. Gambar yang mampu dibuat berupa gambar 2D ataupun gambar 3D. (Ismail & AL, 2017)

2. *Meshing*

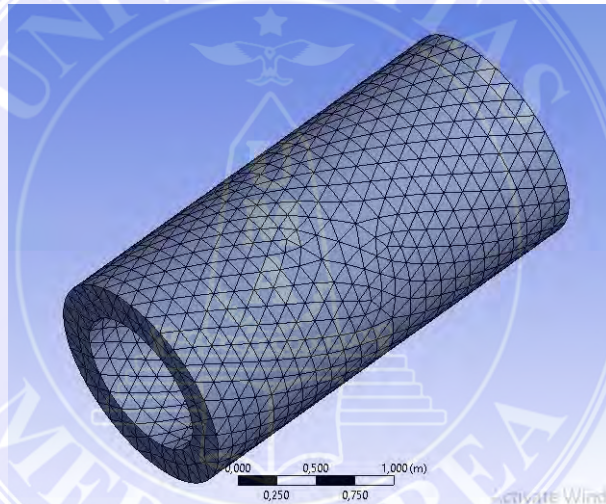
Meshing adalah suatu proses yang digunakan untuk membagi sebuah model menjadi bagian-bagian yang kecil bertujuan agar mendapatkan hasil analisis yang lebih akurat dan detail. (Ismail & AL, 2017) (Wiranata, 2020). Dalam membuat *Meshing* ada beberapa hal yang harus diperhatikan yaitu ketelitian mesh, hardware komputer yang digunakan, serta jenis mesh yang akan digunakan. Ditinjau dari hal tersebut, mesh dibagi menjadi beberapa jenis yaitu:

1) *Hexahedron*



Gambar 2. 22 Mesh jenis *Hexahedron*

2) *Tetrahedron*



Gambar 2. 23 Mesh jenis *Tetrahedron*

Berbicara tentang jenis mesh pasti memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Secara umum mesh jenis *Hexahedron* memiliki keunggulan dalam hal efisien dan pembuatan jumlah sisi dalam satu *Cell* lebih banyak dibandingkan jenis *Tetrahedron*. Pada satu *Cell* mesh jenis *Hexahedron* memiliki Enam buah sisi sedangkan pada jenis *Tetrahedron* hanya terdapat empat buah sisi. Mesh jenis *Hexahedron* memiliki keunggulan lain seperti kecepatan tranfer data, efektif dan visualisasi yang baik. Kekurangan mesh jenis *Hexahedron* adalah sulit dalam membentuk geometri yang rumit. Sedangkan mesh jenis *Tetrahedron* lebih umum dipakai dalam membuat geometri yang rumit. (Wiranata, 2020)

3. Setup & Solution

Solution merupakan tahapan pemberian pembebanan dan perhitungan serta pengolahan data simulasi. Pada tahap ini merupakan pemberian beban berupa temperatur serta koefisien perpindahan panas.

4. Result

Result merupakan tahap akhir dalam simulasi. Tahap ini merupakan hasil dari perhitungan dan pengolahan data yang divisualkan dalam bentuk gambar, animasi, dan kurva.

2.4 Model Matematika Metode Elemen Hingga

Metode Elemen Hingga merupakan suatu metode numerik untuk mendapatkan solusi suatu permasalahan *diferensial*. Metode elemen hingga dapat diaplikasikan ke berbagai permasalahan dibidang teknik seperti mekanika fluida, perpindahan panas, elektromagnetik, getaran, tegangan dan lain sebagainya. (Isworo & Ansyah, 2018) pada penelitian ini model matematika MEH digunakan untuk menghitung distribusi temperatur dan membandingkan hasilnya dengan hasil simulasi dengan software.

1. Matriks kekakuan elemen perpindahan panas (K)

Analisis MEH untuk kasus transfer kalor pada objek rambatan terdiri dari tiga elemen utama yang mempengaruhi, yaitu panjang objek ,luas penampang onjek, serta termal konduktivitas bahan (Zulfikar, 2019). Konstanta kekakuan elemen disusun dengan persamaan 2.14.

$$kC = \frac{A.K_{xx}}{L} \begin{Bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{Bmatrix} \dots\dots\dots (2.16)$$

Jika pada objek terjadi konveksi, maka matriks kekakuan elemennya dipengaruhi oleh konveksi, maka dapat dihitung dengan persamaan 2.15.

$$kh = \frac{h.P.L}{6} \begin{Bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{Bmatrix} \dots\dots\dots (2.17)$$

Apabila pada salah satu ujung elemen mengalami konveksi, maka konstanta kekakuan elemennya ditambah dengan persamaan 2.16.

$$kh_{ujung} = h.A \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{Bmatrix} \dots\dots\dots(2.18)$$

2. Matriks Sumber Panas (f)

Matriks sumber panas pada analisis perpindahan panas dipengaruhi oleh tiga faktor utama, yaitu sumber panas, laju perpindahan panas dan perpindahan panas konveksi (Zulfikar, 2019). Maka matriks sumber panas dapat ditulis dengan persamaan 2.17.

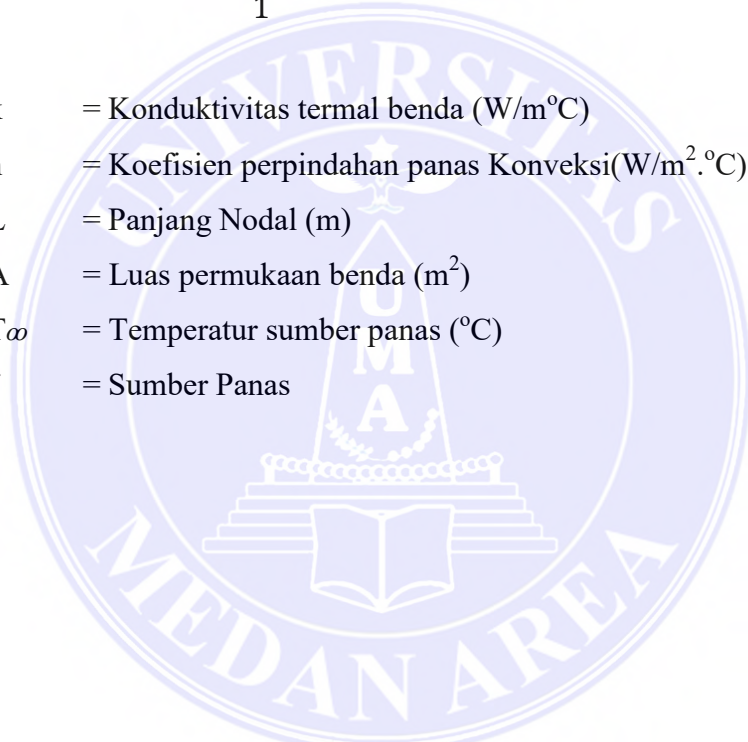
$$f = \frac{(Q.A.L)+(h.T_{\infty}.P.L)+(Q.P.L)}{2} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \end{Bmatrix} \dots\dots\dots(2.19)$$

Demikian juga dengan matriks sumber panas pada bagian ujung elemen, maka dapat ditulis dengan persamaan 2.18.

$$fh_{ujung} = h. A. T_{\infty} \begin{Bmatrix} 0 \\ 1 \end{Bmatrix} \dots\dots\dots(2.20)$$

Dimana:

- k = Konduktivitas termal benda (W/m°C)
- h = Koefisien perpindahan panas Konveksi(W/m².°C)
- L = Panjang Nodal (m)
- A = Luas permukaan benda (m²)
- T_∞ = Temperatur sumber panas (°C)
- f = Sumber Panas



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1 Tempat penelitian

Lokasi penelitian ini dilaksanakan di PT. Socfin Indonesia POM Matapao dengan kapasitas pengolahan kelapa sawit 4 kg/s berlokasi di Jalan Sialang Buah, Desa Matapao, Kecamatan Teluk Mengkudu, Kabupaten Serdang Bedagai. Gambar 3.1 merupakan pabrik PT. Socfin Indonesia kebun Matapao.



Gambar 3. 1 PT. Socfin Indonesia POM Matapao

3.1.2 Waktu penelitian

Penelitian ini dilaksanakan mulai bulan September 2022, dengan detail jadwal penyusunan tugas akhir dapat dilihat pada tabel 3.1 berikut ini:

Tabel 3. 1 Ringkasan Waktu Penelitian

No	Aktifitas Penelitian	Sep (2022)	Nov	Des	Jan (2023)	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu
1	Pengajuan Judul	█									
2	Seminar Proposal		█								
4	Riset dan olah data			█	█	█	█				
6	Seminar Hasil							█	█		
7	Sidang										█

3.2. Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Berikut ini Alat yang digunakan pada penelitian sebagai berikut:

a. Ruang bakar boiler

Objek utama penelitian ini adalah ruang bakar, Gambar 3.2 merupakan Ruang bakar Boiler yang digunakan di PT. Socfin Indonesia POM Matapao.



Gambar 3.2 Ruang Bakar Boiler

Memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 3.2 Spesifikasi Boiler

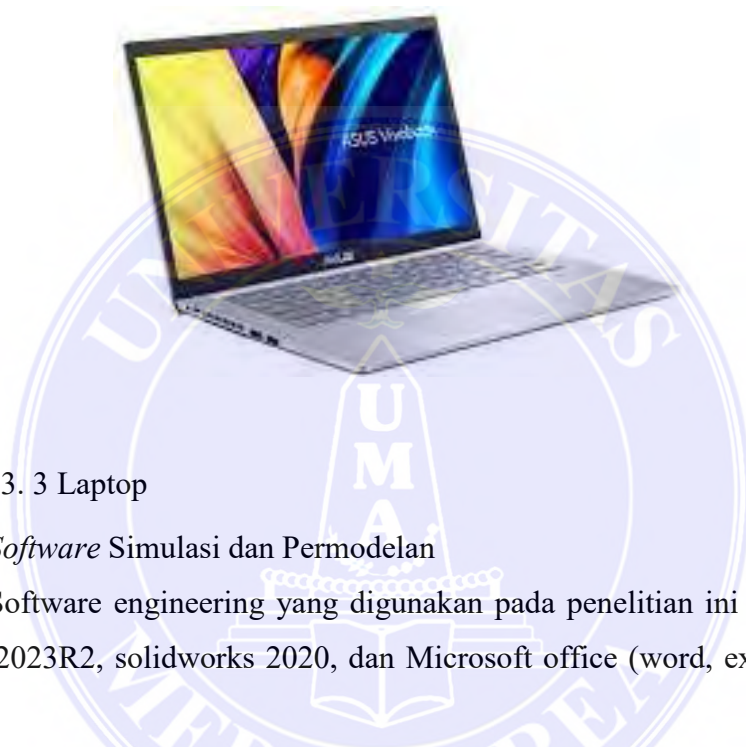
No	Deskripsi	Spesifikasi	Unit
1	Type	SFW BOILER TDR	-
2	Kapasitas uap	2.01	kg/s
3	Tekanan	2.3	Mpa
6	Bahan bakar	Biomassa (fiber+cangkang)	-

b. Laptop

Laptop merupakan perangkat yang digunakan untuk pengolahan data, penyimpanan data, pengoperasian *software* dan lain sebagainya. Pada penelitian ini laptop digunakan untuk mengoperasikan *software* ANSYS 2023/R2

Tabel 3. 3 Spesifikasi Laptop

Item	Spesifikasi
<i>Name</i>	Asus Vivobook 14x
<i>Processor</i>	AMD RYZEN™ 7-5800H
<i>Penyimpanan</i>	SSD 512GB/RAM 16 GB DDR4
<i>Grafis card</i>	AMD Radeon™ vega 7 Graphics



Gambar 3. 3 Laptop

c. *Software* Simulasi dan Permodelan

Software engineering yang digunakan pada penelitian ini adalah ANSYS *student* 2023R2, solidworks 2020, dan Microsoft office (word, excel, dan Power point).



Gambar 3. 4 ANSYS *Workbench* 2023



Gambar 3. 5 Solidworks 2020

d. Termometer Gun Infrared

Termometer infrared adalah alat ukur suhu digital yang memiliki kemampuan mendeteksi temperatur dan perubahan suhu dengan sensor infrared. Pada penelitian ini termometer digunakan untuk mengukur temperatur dalam ruang bakar dan temperatur lingkungan.



Gambar 3. 6 Termometer Gun

Spesifikasi Termometer yang digunakan sebagai berikut pada tabel 3.4 berikut ini.

Tabel 3. 4 Spesifikasi Termometer

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

e. Jangka Sorong

Jangka sorong merupakan alat ukur panjang suatu permukaan benda, diameter benda, pada penelitian ini jangka sorong digunakan untuk mengukur diameter pipa *waterwall* boiler. Gambar 3.6 merupakan jangka sorong.



Gambar 3. 7 Jangka Sorong

Adapun spesifikasi Jangka sorong yang digunakan sebagai berikut pada tabel 3.5.

Tabel 3. 5 Spesifikasi Jangka Sorong

Item	Spesifikasi
Ukuran	0,15 m
Bahan	Stainless Steel
Akurasi	0.05 mm

f. Meteran (*Roll meter*)

Roll meter merupakan alat ukur panjang, memiliki fungsi yang sama dengan alat ukur panjang lainnya namun roll meter memiliki jangkauan yang

lebih jauh yakni 5-10 meter. Pada penelitian ini roll meter digunakan untuk mengukur dimensi dinding ruang bakar boiler yaitu panjang, lebar dan Tinggi. Gambar 3.6 merupakan roll meter.



Gambar 3.8 Meteran Panjang

Tabel 3. 6 Spesifikasi Meteran

Item	Spesifikasi
Rentang Ukuran	5 m
Akurasi	0.5 mm

3.3. Metode Penelitian

Penelitian ini memakai dua jenis data yaitu data *primer* serta data *sekunder*. Adapun metode dan prosedur pada penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan, sebagai berikut:

3.3.1. Studi Literatur

Studi literatur merupakan tahapan pengumpulan referensi (data *sekunder*) yang akan digunakan pada penelitian ini baik dari buku, artikel, dan jurnal sebagai pendukung teori yang akan digunakan pada penulisan penelitian.

3.3.2. Pengumpulan data

Pengumpulan data merupakan tahapan terpenting untuk memperoleh data unit boiler berupa spesifikasi boiler, serta data-data penting yang berkaitan dengan penelitian (data *primer*). Berdasarkan hasil survei dilapangan maka diperoleh data penelitian unit boiler pada tabel 3.4 sebagai berikut:

3.3.3. Pengolahan data

Setelah memperoleh data penelitian yang sesuai dengan penelitian maka selanjutnya penulis melakukan pengolahan data sesuai tujuan penelitian.

3.3.4. Kesimpulan dan sarana

Setelah memperoleh hasil penelitian dengan tepat dan akurat maka dapat menarik kesimpulan dan meminta saran dan masukan pada dosen pembimbing dan penguji kemudian menyampaikan ke perusahaan tempat penelitian.

3.4. Populasi dan sampel

3.4.1. Populasi

Populasi pada penelitian ini adalah unit boiler yang digunakan di PT. Socfin Indonesia POM Matapao, dengan spesifikasi pada tabel 3.7 berikut:

Tabel 3. 7 Spesifikasi Boiler

No	Deskripsi	Spesifikasi	Unit
1	Jenis Boiler	Pipa Air	-
2	Jenis Pembakaran	Fluidized Bed Combustion	-
3	Bahan Bakar	Biomassa(cangkang & fiber)	-
4	Kapasitas uap	2,5	kg/s
5	Tekanan	2.3	Mpa
6	Temperatur uap	-Jenuh 150 -Superheat 300	°C

3.4.2. Sampel

Sampel penelitian ini adalah ruang bakar boiler, dengan spesifikasi pada tabel 3.8 berikut ini:

Tabel 3. 8 Spesifikasi Ruang Bakar

No	Deskripsi	Spesifikasi	Unit
1	Panjang <i>furnace</i>	2.37	m
2	Lebar <i>furnace</i>	2.9	m
3	Tinggi <i>furnace</i>	4.25	m
4	Ketebalan Dinding	0.304	m
5	Material Dinding	Pipa Baja, <i>refractory</i> , glasswool, plat baja	-

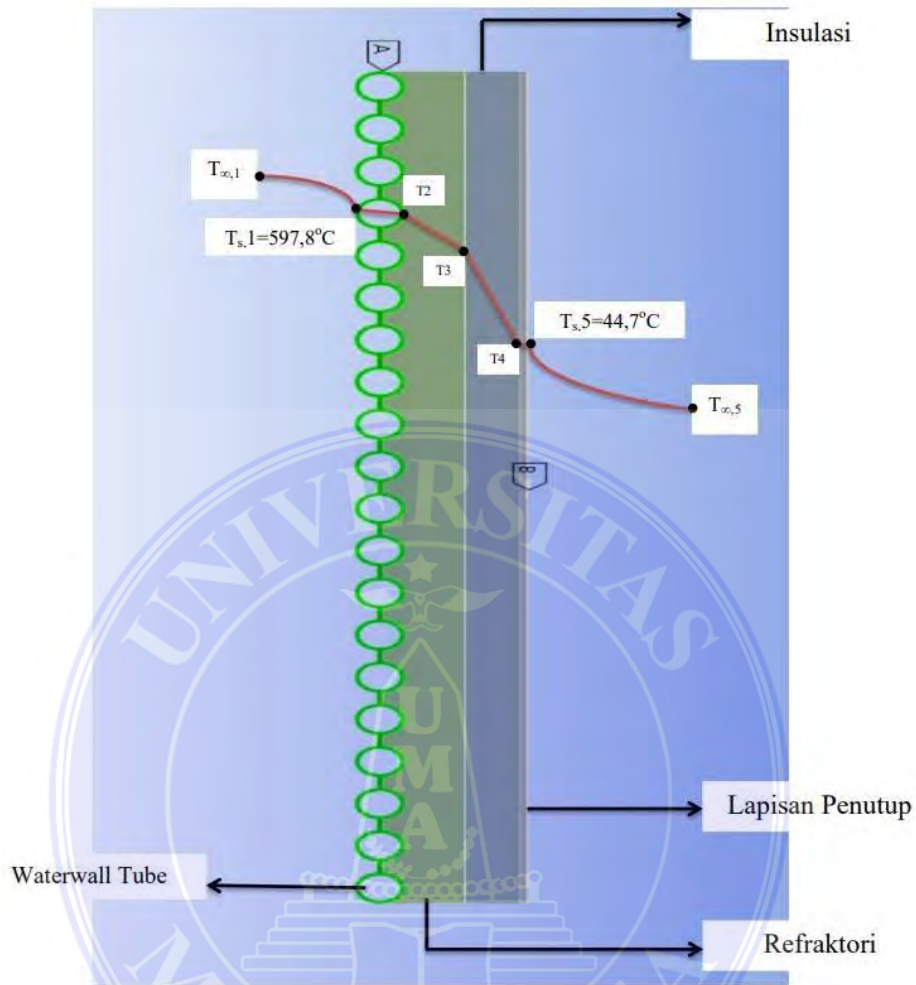
No	Deskripsi	Spesifikasi	Unit
6	Temperatur sisi dalam dinding ruang bakar maksimal ($T_{S.in\ wall}$)	597,8	°C
7	Temperatur sisi luar dinding ruang bakar maksimal ($T_{S.out\ wall}$)	44,7	°C

1. Kondisi Batas Dinding Ruang Bakar.

Penelitian ini fokus pada satu sisi bagian dinding ruang bakar untuk dianalisis. Hasilnya memberikan pemahaman yang sama dengan sisi dinding yang lainnya. Adapaun kondisi batas (*boundry condition*) dari dinding ruang bakar boiler pada penelitian ini akan ditampilkan pada tabel 3.9 dan dapat dilihat pada gambar 3.8 Sebagai berikut:

Tabel 3. 9 Kondisi Batas

No	Kondisi Batas	Kete angan
1	Dinding pipa air	Material : Baja karbon Perpindahan panas : konduksi, & Konveksi $T_{s.in\ wall}$: 597,8°C
2	Refraktori	Material : Bata Api dan Semen Castabel Perpindahan panas : Konduksi
3	Insulasi	Material : Glasswool Perpindahan panas : Konduksi
4	Lapisan penutup	Material : Plat baja Perpindahan panas : Konduksi & Konveksi $T_{s.out\ wall}$: 44.7°C



Gambar 3. 9 Geometri Kondisi Batas Dinding Ruang Bakar

Berdasarkan referensi dan pustaka diperoleh konduktivitas termal setiap material lapisan dinding pada tabel berikut ini:

Tabel 3. 10 Konduktivitas Termal Material dinding Ruang Bakar

No	Material	Konduktivitas termal (K)	Unit
1	Dinding pipa air	43	W/m. $^{\circ}\text{C}$
2	Refraktori	0,72	W/m. $^{\circ}\text{C}$
3	Insulasi glasswool	0,038	W/m. $^{\circ}\text{C}$
4	Lapisan penutup	43	W/m. $^{\circ}\text{C}$

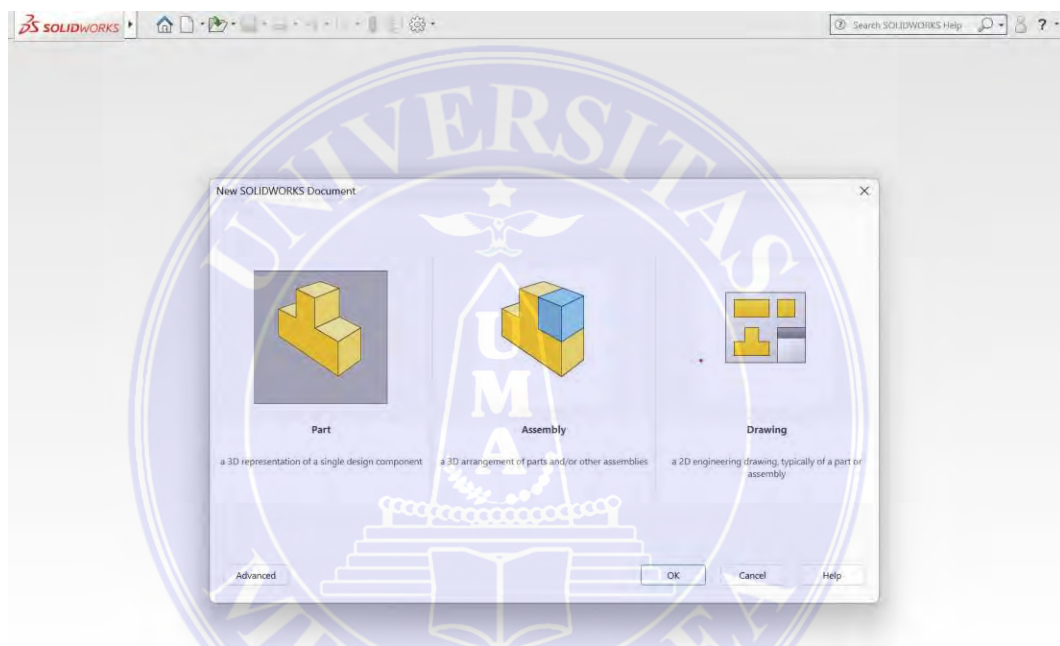
3.5. Prosedur Penelitian

3.5.1. Langkah-langkah menggambar Model

Adapun tahap atau langkah-langkah membuat model dinding ruang bakar dengan menggunakan *solidworks* sebagai berikut:

1) Buka lembar kerja *solidworks*

Langkah awal membuat Model adalah dengan membuka program Solidworks dengan cara Klik **Start - All Program - Solidworks**, maka akan muncul tampilan lembar kerja solidworks seperti pada gambar 3.10 sebagai berikut.

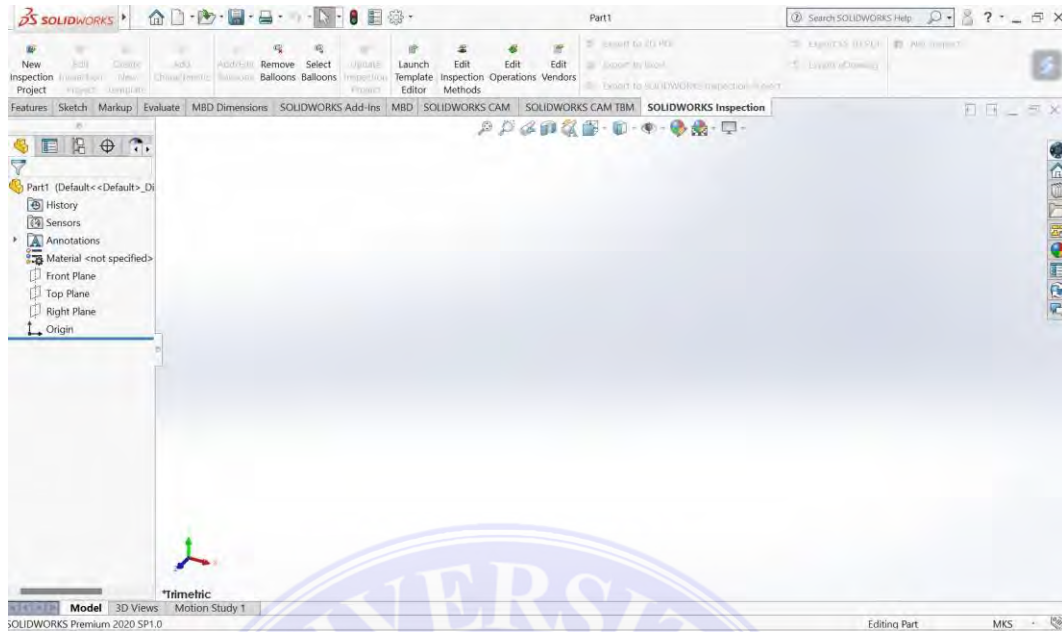


Gambar 3. 10 Tampilan Awal *Solidworks*

2) Tahap membuat Model

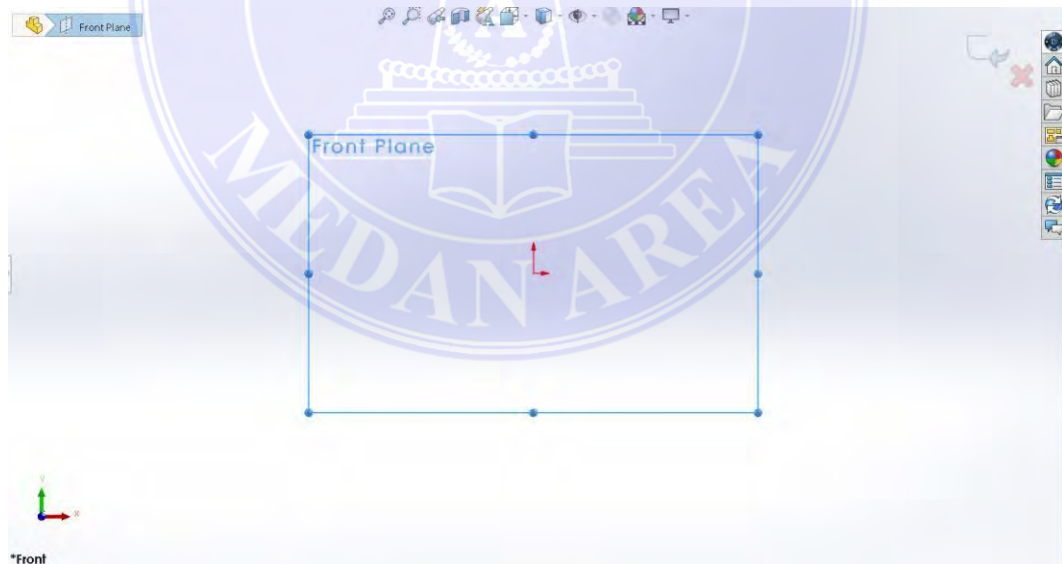
Pada tahapan ini akan dijabarkan secara rinci proses membuat model dinding ruang bakar sebagai berikut

a. Setelah lembar kerja terbuka seperti pada gambar 3.10 kemudian kita memilih menu **Part** lalu klik oke. Maka akan muncul tampilan seperti gambar 3.11 berikut ini.



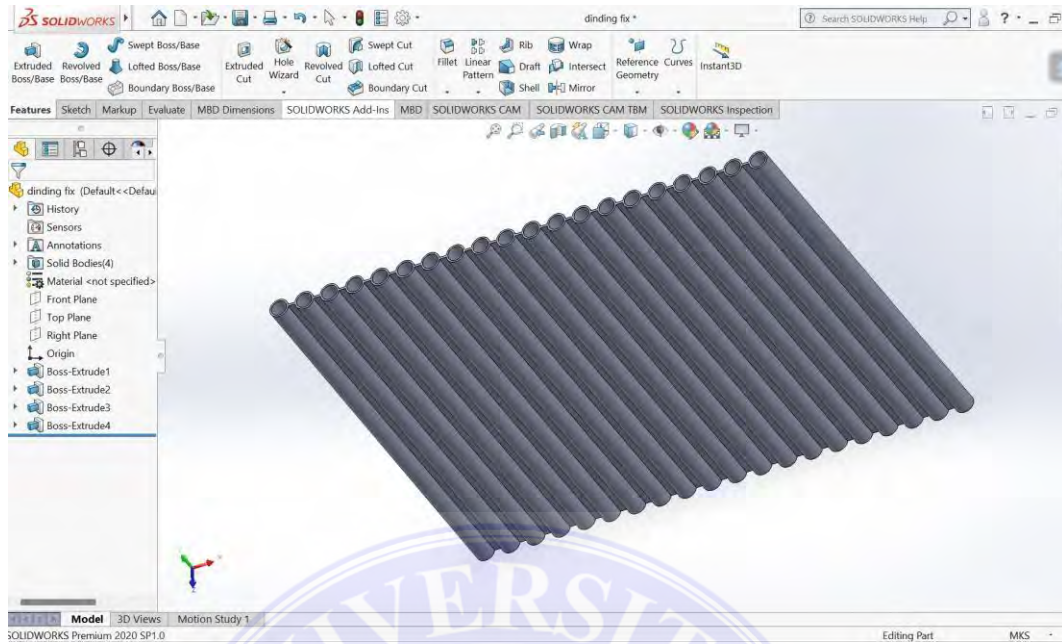
Gambar 3. 11 *Interface Solidworks*

b. Kemudian kita dapat membuat desain, pertama menentukan pandangan gambar pada bagian menu **Featurmanager area** kemudian pilih pandangan gambar **top plane**. maka tampilannya akan menjadi sebagai berikut pada gambar 3.12.



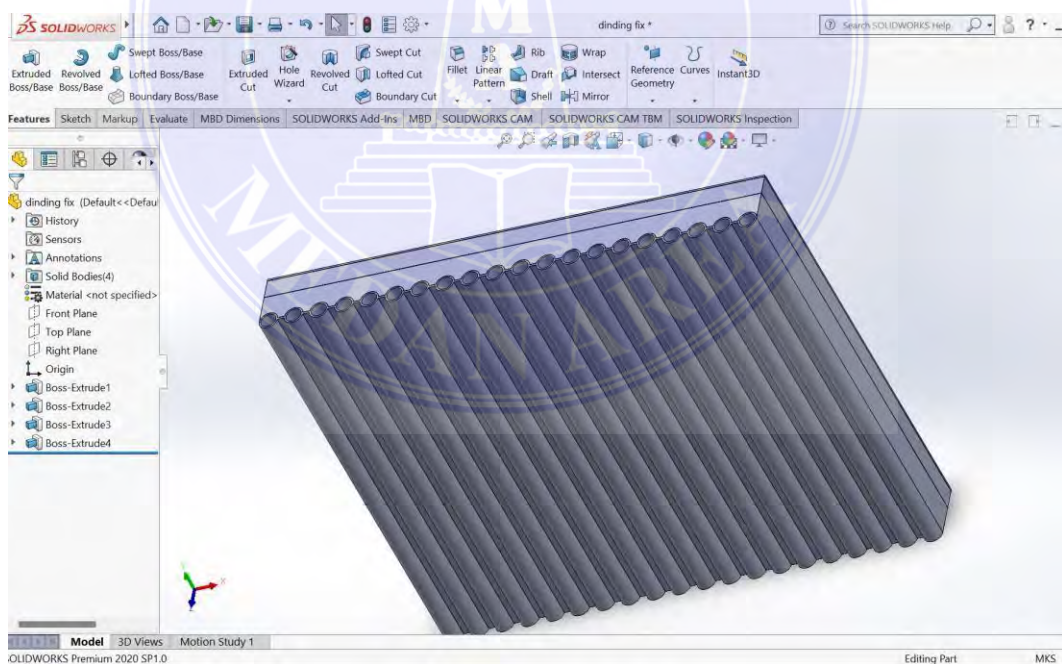
Gambar 3. 12 tampilan *view* gambar

c. Mulai menggambar desain dengan menggunakan fungsi yang ada pada **toolbar area**. Pertama membuat lingkaran untuk desain pipa air. Kemudian atur desain, setelah gambar 2D selesai pilih **Features** kemudia pilih **Exstrude boss/base** untuk menghasilkan gambar 3D seperti pada gambar 3.13 berikut ini



Gambar 3. 13 Desain dinding pipa air

d. Dengan tahapan yang sama pada point c untuk mengambar desain lapisan dinding berikutnya, maka berikut hasil akhir desain dinding ruang bakar pada gambar 3.14 berikut ini.



Gambar 3. 14 Desain akhir dinding ruang bakar

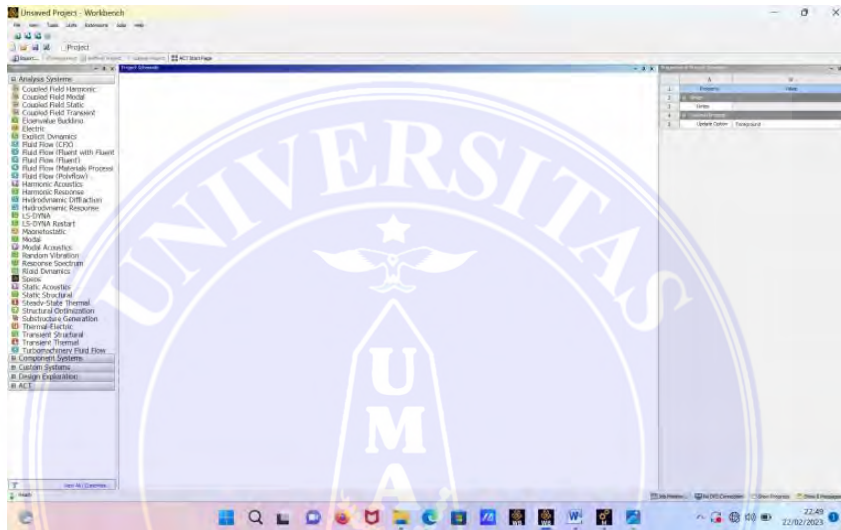
e. Kemudian simpan desain dengan memilih *file – save as*, lalu pilih tipe format file, karena penelitian ini menggunakan ANSYS maka simpan dengan format *IGES (*.igs)*.

3.5.2. Langkah-Langkah Analisis

Adapun Tahapan atau langkah-langkah melakukan analisis dengan Software Ansys sebagai berikut:

1) Buka lembar kerja Aplikasi ANSYS *Workbench*

Langkah awal melakukan simulasi adalah dengan membuka program Ansys dengan cara Klik **Start - All Program – Ansys –Ansys Workbench**, maka akan muncul tampilan lembar kerja Ansys workbench seperti pada gambar 3.9 sebagai berikut.

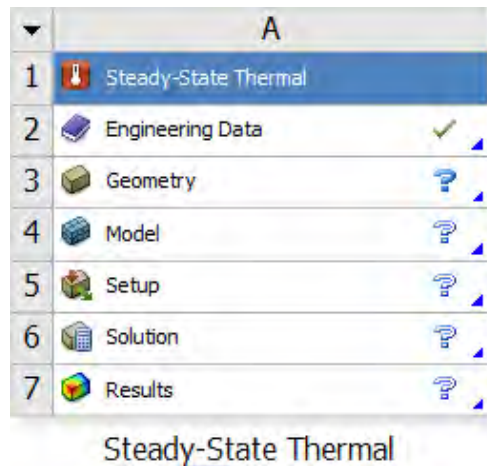


Gambar 3.15 Lembar Kerja ANSYS *Workbench*

2) Proses simulasi Perpindahan Panas dengan Aplikasi ANSYS *Workbench*

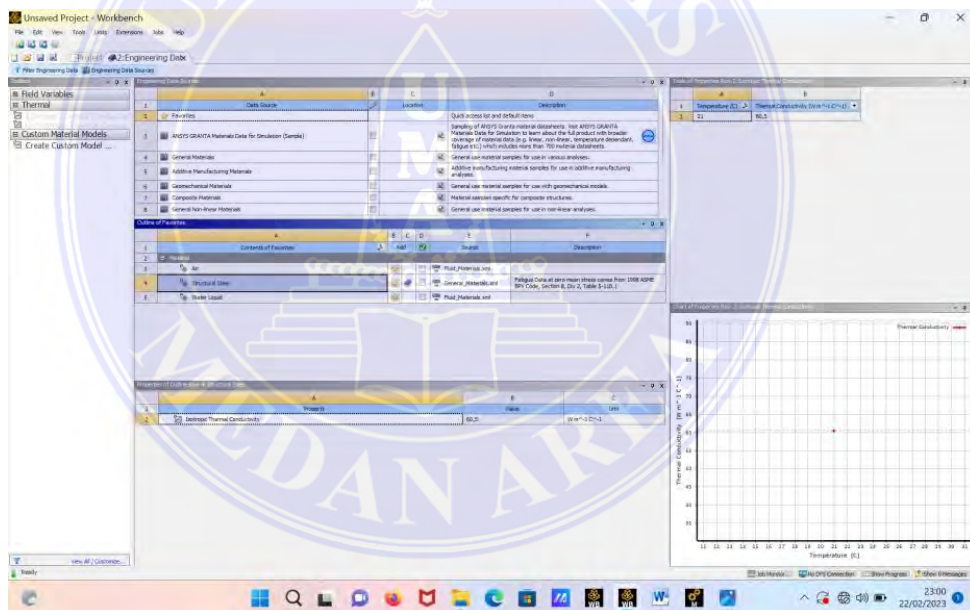
Berikut ini akan dijelaskan detail langkah melakukan simulasi perpindahan panas pada *Software* ANSYS.

a. Setelah membuka aplikasi ANSYS *workbench*. Selanjutnya memilih jenis simulasi yang akan dilakukan melalui menu *Toolbox - Analisis Sistem*, kemudian pilih *Steady state termal*. Lalu seret ke halaman *Project schematic*. Seperti pada gambar 3.10 berikut ini



Gambar 3. 16 Menu Analisis

b. Menentukan material dengan cara klik dua kali pada menu **Engineering data** maka akan muncul seperti Pada gambar 3.11 berikut ini.

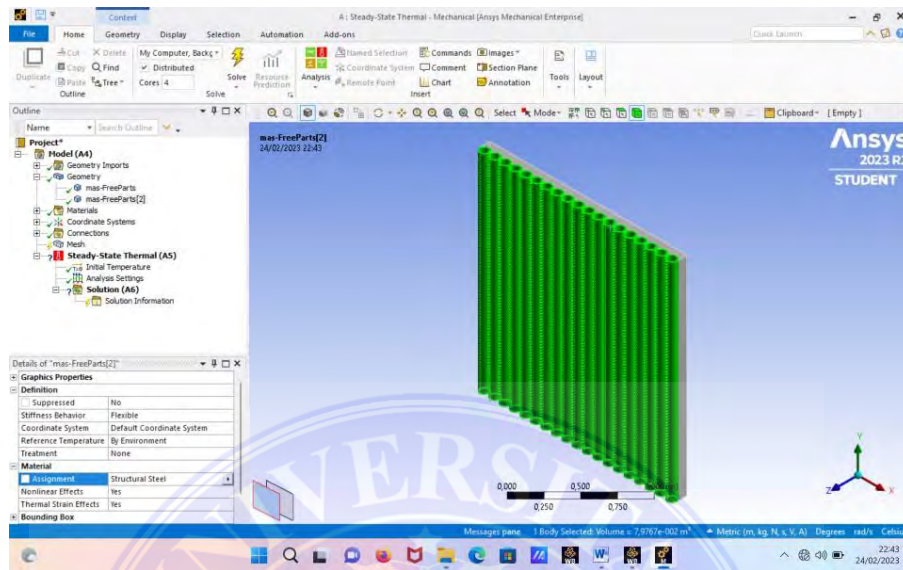


Gambar 3. 17 Elemen tipe Material

c. Setelah selesai menentukan material *part*, selanjutnya membuat geometri atau mengimport geometri yang telah digambar dengan *software* gambar teknik, dengan cara klik kanan *mouse – import geometry – browse – kemudian pilih geometri* yang telah disimpan pada penyimpanan.

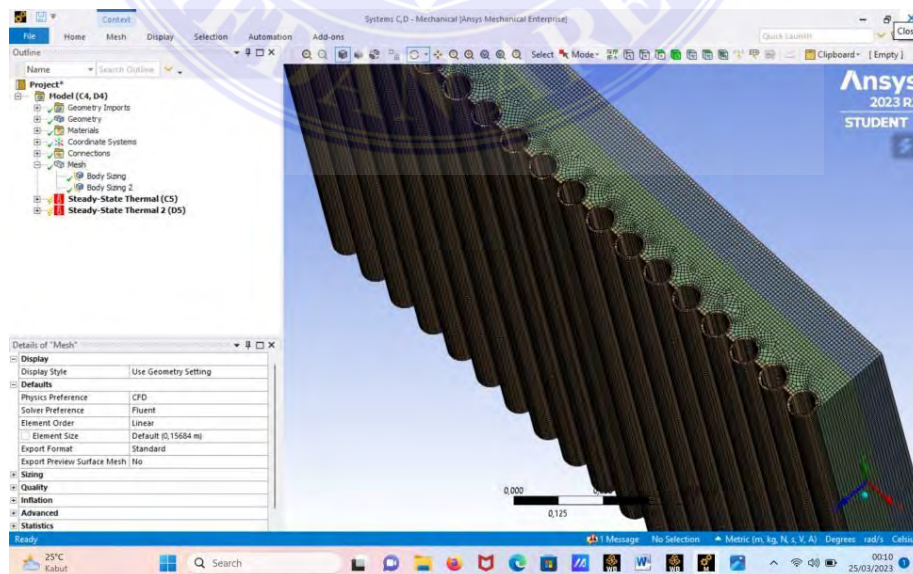
d. Selanjutnya klik pada perintah Model, pilih geometri pada menu project – tentukan material setiap bagian geometri dengan cara *pilih part –pilih material*

properties – material – assignment. Pada penelitian ini jenis materialnya adalah baja karbon, glasswool, dan refraktori. Dapat dilihat pada gambar 3.12 berikut.



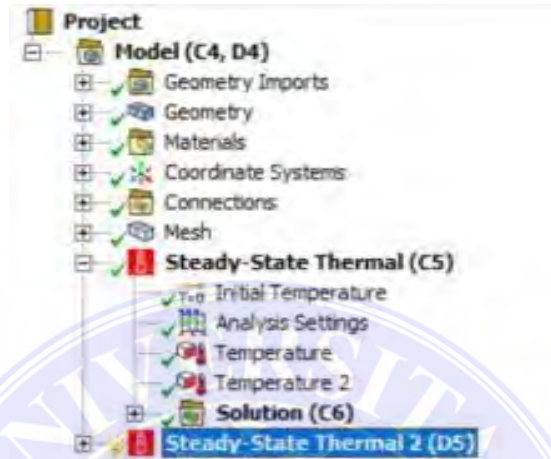
Gambar 3. 18 Pemberian Material *Part* Geometri

e. Setelah menentukan material property, langkah selanjutnya membuat meshing pada geometri dengan cara ***pilih mesh – klik kanan lalu pilih insert – pilih method – select geometri – oke***, pilih kembali ***mesh – klik kanan lalu pilih insert – sizing – pilih geometri – apply – klik elemen size mesh***. Kemudian tunggu sampai proses meshing selesai. Maka akan muncul hasil meshing seperti gambar 3.13.



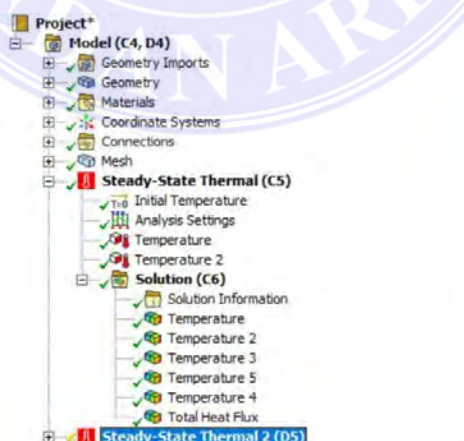
Gambar 3. 19 Tahap *Meshing*

f. Selanjutnya ke tahap *Setup*, pilih *Steady state Termal* klik insert pilih parameter parameter beban yang akan dianalisis kemudian klik kanan lalu klik *solve*. Pada penelitian ini parameter yang digunakan adalah *Temperatur*. Dapat dilihat pada gambar 3.14 berikut.



Gambar 3. 20 Tahap *Setup*

g. Setelah tahap setup berhasil, langkah selanjutnya adalah tahap *Solution* yaitu memilih parameter-parameter yang akan ditampilkan hasil simulasinya selanjutnya klik kanan *solution* pilih *generate* tunggu sampai proses solution selesai. Pada penelitian ini menampilkan *temperatur*, *total heat flux* seperti pada gambar 3.15 berikut ini.

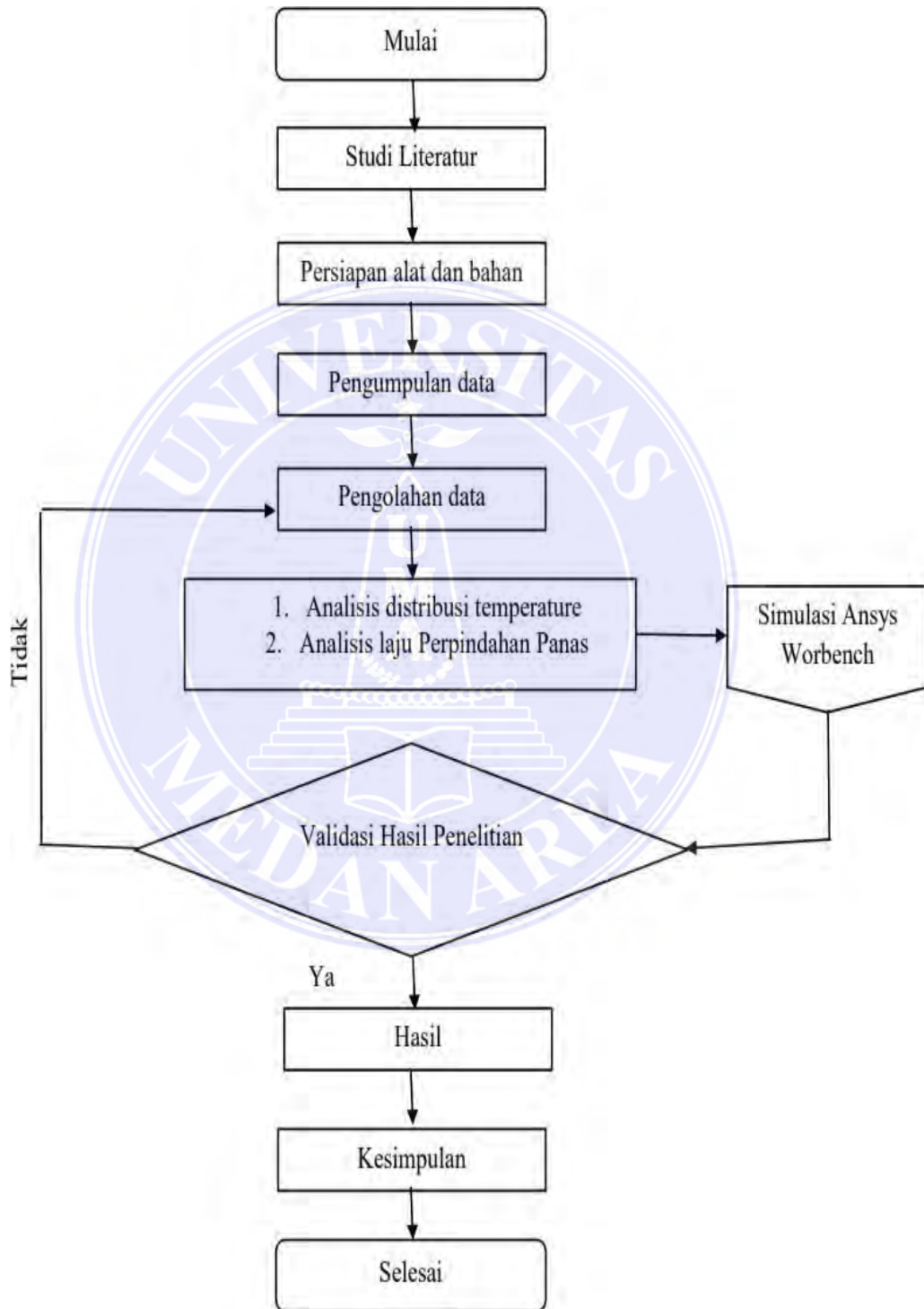


Gambar 3. 21 Tahap *Solution*

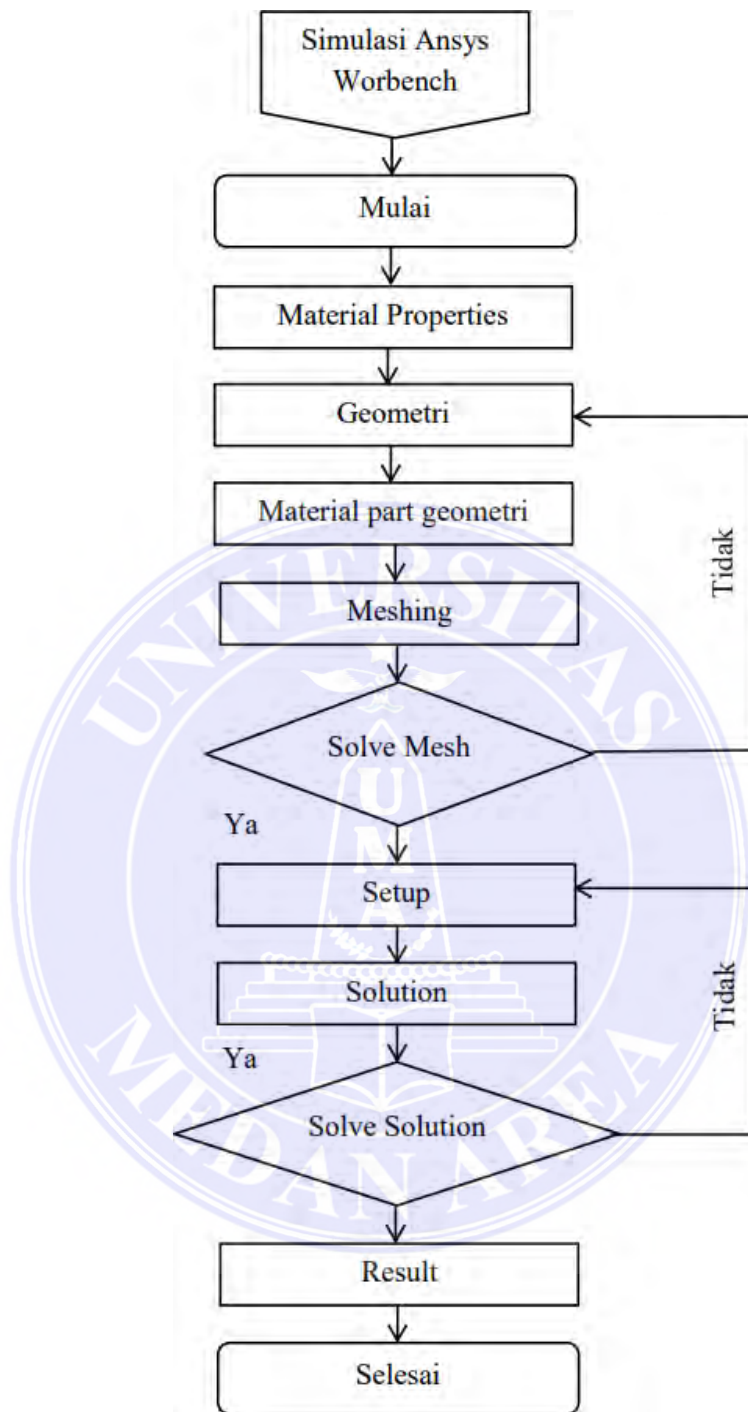
h. Setelah semua tahap simulasi berhasil maka dapat dilihat hasil simulasi perpindahan panas berupa Distribusi temperatur, dan *Heatflux*.

3.5.3. Diagram Alir Penelitian

Diagram alur langkah-langkah penelitian dan simulasi perpindahan panas Software Ansys.



Gambar 3. 22 Diagram Alur Penelitian



Gambar 3. 23 Diagram Alir Simulasi

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan analisis dan simulasi yang dilakukan maka didapatkan kesimpulan untuk penelitian ini sebagai berikut:

1. Berdasarkan perhitungan distribusi temperatur secara teoritis diperoleh hasil $T_{s1}= 597,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_2= 597,317 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_3= 557,24 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_4= 44,745 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{s5}= 44,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$, sedangkan hasil simulasi numerik adalah $T_{s1}= 597,85 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_2= 597,097 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_3= 565,91 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_4= 44,734 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{s5}= 44,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$. berdasarkan hasil perhitungan *error* hasil simulasi dapat diterima, karena nilai galat berada dibawah 10% maka dapat disimpulkan bahwa hasil simulasi akurat.
2. Berdasarkan analisis diperoleh total laju aliran energi panas (*Heat Flux*) pada bidang dinding ruang bakar boiler hasil simulasi adalah $1680,7 \text{ W/m}^2$, dengan laju aliran energi (*Heat flux*) teoritis adalah $1372,18 \text{ W/m}^2$.

5.2 Saran

Adapun saran untuk pengembangan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perlunya diadakan penelitian tentang simulasi aliran api pembakaran dan aliran udara pada ruang bakar boiler serta aliran fluida didalam water wall tube boiler.
2. Penelitian ini dikerjakan pada kondisi temperatur konstan (*steady-state termal*), maka diharapkan untuk penelitian selanjutnya menggunakan kondisi berubah-ubah (*transient termal*) untuk mengetahui pengaruh waktu dan suhu terhadap distribusi temperatur pada ruang bakar.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous. (2000). Standart Termology Relating to Refractories. Dalam M. B. Standart.
- Basu, P. (2006). *Combustion and Gasification in Fluidized Bed*. Francis: CRC Press.
- E.B.Woodruff, H.B.Lammers, & T.B.Lammers. (2004). *Steam Power Operation Eight Edition*. New York: McGraw-Hill.
- H.Homma, H.Homma, & M.Idris. (2014). Numerical Analysis on Wood Pyrolysis in Pre-vacuum Chamber. *Sustainable Bioenergy Systems*(4), 149-160.
- H.Homma, H.Homma, Yusrizal, & M.Idris. (2013). Wood Pyrolysis in Pre-vacuum Chamber. *Journal Sustainable Bioenergy Systems*, 243-249.
- Harun, A. R. (2013). Analisis Kegagalan Material Waterwall Tube Boiler PLTU Ubon Banten 3 Lontar Unit 3. *Jurnal Power Plant*.
- Holman, J. (1981). *Heat Transfer*. New York, United States of America: McGraw-Hill International Book Company.
- Ismail, & AL, E. (2017). Panduan Praktikum Ansys Fluent. Jakarta, Indonesia.
- Isworo, H., & Ansyah, P. R. (2018). Metode Elemen Hingga. Dalam *buku ajaran*. Banjar Masin, Indonesia: Universitas Lambung Mangkurat.
- J.P.Holman. (1986). *Heat Transfer Sixth Edition*. New York: McGraw-Hill Inc.
- Jufrizal. (2011). Simulasi distribusi temperatur pada ruang reaksi kompor gas biomassa DGS2 dengan software Ansys 5,4. *Teknologi dan Rekayasa*.
- KBBI. (2016). *Kamus Besar Bahasa Indonesia*.
- KS, K. N. (2019). Numerical analysis of the transient heat transfer in high temperature chamber furnaces. *Materials Science and Engineering*, 1-8.
- M.Idris, & Novalia, u. (2017). Numerical Approach to Wood Pyrolysis in Considering Heat Transfer in Reactor Chamber. *Material Science and Engineering*.
- Marla DT Engineering. (2019). *Heat Transfer Analysis for A Composite Wall using WELSIM*. Diambil kembali dari <http://www.marladt.com/heat-transfer-analysis-for-a-composite-wall/>
- Mursadi, A., & Subagyo, R. (2016). *Perpindahan Panas 1*. Banjar baru.
- Nasution, A. H., & Napid, S. (2020). Analisa perpindahan Panas pada cerobong asap dengan metode elemen hingga. *SEMNASTEK UISU*.

- Nilesh, M., Ravindra, B., Amit, D., & Amol, P. (2017). Optimization of Wall Thickness for Minimum Heat Losses for Induction Furnace. *Engineering Research and Technology*, 645-653.
- Pfeiffelmann, B., & Diederich, M. (2019). Analysis of combustion, heat and fluid flow in a biomass furnace. *E3S Web Conference*, 5.
- Subagyo, R. (2018). *Sistem pembangkit dan Turbin Uap*. Banjar Baru: Universitas Lambung Mangkurat.
- Suprianto. (2015, Oktober). Pengertian Boiler (ketel uap). *Artikel teknologi*.
- Susastrawan, N. A., & 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, A., Zulfikar, & Hutasuhut, M. I. (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.LB, & AL, e. (2011). *Fundamental Of Heat and Mass Transfer* (seventh edition ed.). 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, C., & Zhou, Y. (2019). Heat transfer simulation and thermal efficiency analysis of new vertical heating furnace. *Thermal Engineering*, 2-7.
- Wiranata, C. (2020). Jenis-Jenis Mesh Pada CFD. *Aeroengineering*.
- Y.A.Cengel. (2002). *Heat Transfer a Practical Approach Second Edition*. New York: McGraw-Hill.
- Zulfikar, S. M. (2019). *Dasar-Dasar Metode Elemen Hingga Untuk Teknik Mesin*. Universitas Medan Area, Medan.

LAMPIRAN

Lampiran 1. 1 Tabel Temperatur Harian Ruang Bakar

Tanggal	Temperatur (C)		
	On-work maksimal	Off-work maksimal	Lingkungan
01-Jan	-	-	-
02-Jan	584	34,1	41,4
03-Jan	593,2	74	43,2
04-Jan	584	72,6	42,4
05-Jan	589,4	74,3	41,3
06-Jan	578,3	68,9	39,8
07-Jan	592	76,2	37,2
08-Jan	-	-	-
09-Jan	592	68,3	43
10Jan	578	73,8	41,5
11Jan	589	74,2	42,4
12Jan	597	76,3	44,2
13Jan	595,6	76,3	41
14Jan	597,8	74,7	38,5
15-Jan	-	-	-
16Jan	592,3	51,6	39,4
17-Jan	596,4	73,2	38,5
18Jan	594,7	74,8	40,8
19-Jan	592,7	73,5	39,2
20Jan	596,3	67,7	43,2
21-Jan	594,8	59,8	37,6
22Jan	-	-	-
23Jan	-	-	-
24Jan	595,7	32,3	44,2
25Jan	596,9	66,7	43,7
26Jan	597,2	64,3	39,7
27Jan	593,8	68,3	39,2
28Jan	594,7	65,6	42,8
29Jan	-	-	-
30Jan	593	45,6	38,3

Lampiran 1. 2 Koefisien Konveksi Fluida (J.P.Holman, 1986)

Conduction heat transfer 13

sometimes called the *film conductance* because of its relation to the conduction process in the thin stationary layer of fluid at the wall surface. From Eq. (1-8) we note that the units of h are in watts per square meter per Celsius degree when the heat flow is in watts.

In view of the foregoing discussion, one may anticipate that convection heat transfer will have a dependence on the viscosity of the fluid in addition to its dependence on the thermal properties of the fluid (thermal conductivity, specific heat, density). This is expected because viscosity influences the velocity profile and, correspondingly, the energy-transfer rate in the region near the wall.

If a heated plate were exposed to ambient room air without an external

Table 1-2 Approximate Values of Convection Heat-Transfer Coefficients

Mode	h	
	$W/m^2 \cdot ^\circ C$	$Btu/h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F$
Free convection, $\Delta T = 30^\circ C$		
Vertical plate 0.3 m [1 ft] high in air	4.5	0.79
Horizontal cylinder, 5-cm diameter, in air	6.5	1.14
Horizontal cylinder, 2-cm diameter, in water	890	157
Forced convection		
Airflow at 2 m/s over 0.2-m square plate	12	2.1
Airflow at 35 m/s over 0.75-m square plate	75	13.2
Air at 2 atm flowing in 2.5-cm-diameter tube at 10 m/s	65	11.4
Water at 0.5 kg/s flowing in 2.5-cm-diameter tube	3500	616
Airflow <i>across</i> 5-cm-diameter cylinder with velocity of 50 m/s	180	32
Boiling water		
In a pool or container	2500–35,000	440–6200
Flowing in a tube	5000–100,000	880–17,600
Condensation of water vapor, 1 atm		
Vertical surfaces	4000–11,300	700–2000
Outside horizontal tubes	9500–25,000	1700–4400

Lampiran 1. 3 Konduktivitas Termal Material (J.P.Holman, 1986)

• Introduction

Table 1-1 Thermal Conductivity of Various Materials at 0°C

<i>Material</i>	<i>Thermal conductivity</i> <i>k</i>	
	W/m · °C	Btu/h · ft · °F
Metals:		
Silver (pure)	410	237
Copper (pure)	385	223
Aluminum (pure)	202	117
Nickel (pure)	93	54
Iron (pure)	73	42
Carbon steel, 1% C	43	25
Lead (pure)	35	20.3
Chrome-nickel steel (18% Cr, 8% Ni)	16.3	9.4
Nonmetallic solids:		
Quartz, parallel to axis	41.6	24
Magnesite	4.15	2.4
Marble	2.08–2.94	1.2–1.7
Sandstone	1.83	1.06
Glass, window	0.78	0.45
Maple or oak	0.17	0.096
Sawdust	0.059	0.034
Glass wool	0.038	0.022
Liquids:		
Mercury	8.21	4.74
Water	0.556	0.327
Ammonia	0.540	0.312
Lubricating oil, SAE 50	0.147	0.085
Freon 12, CCl ₂ F ₂	0.073	0.042
Gases:		
Hydrogen	0.175	0.101
Helium	0.141	0.081
Air	0.024	0.0139
Water vapor (saturated)	0.0206	0.0119
Carbon dioxide	0.0146	0.00844

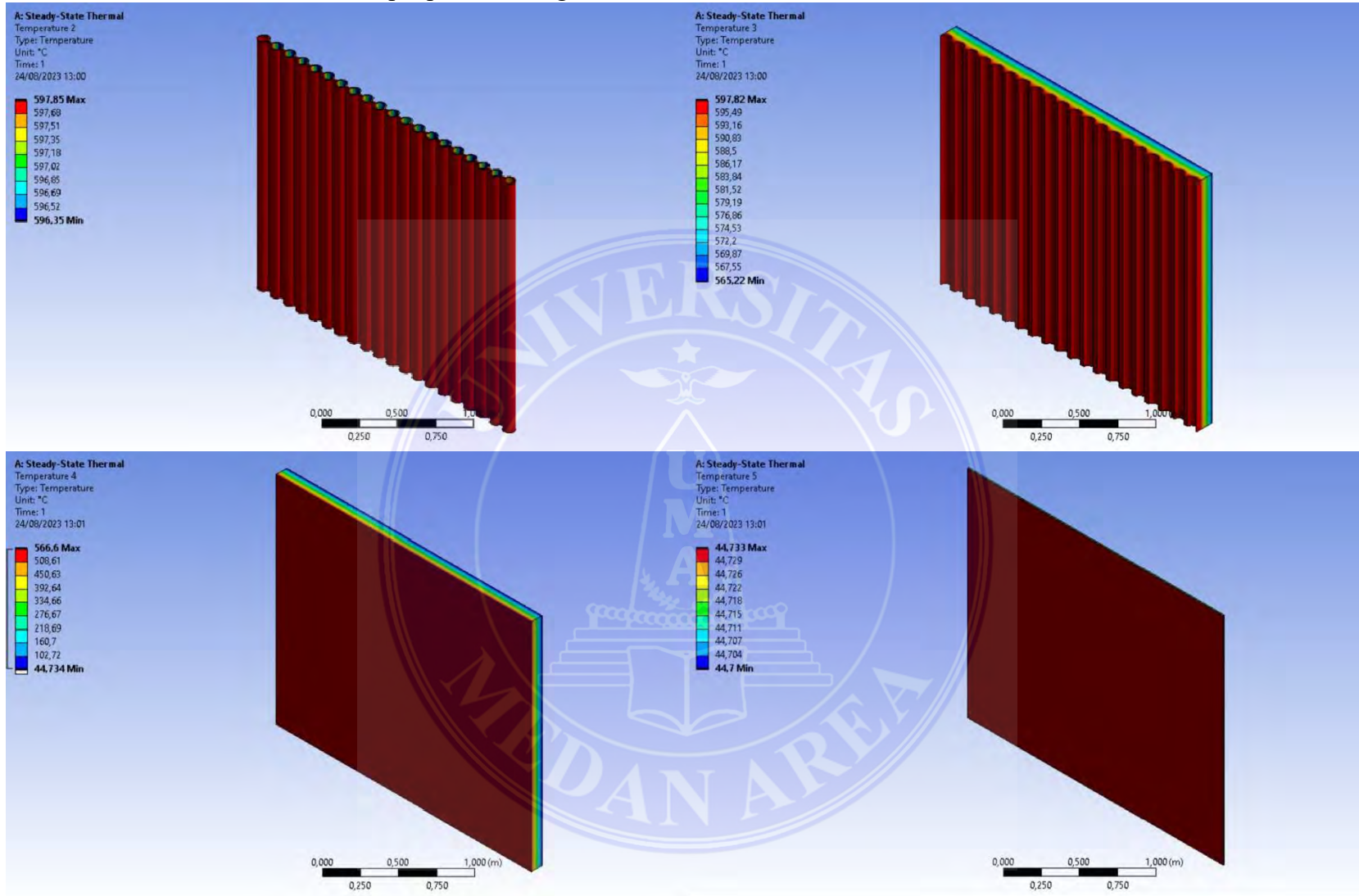
electrical conductors are almost always good heat conductors, viz., copper, aluminum, and silver, and electrical insulators are usually good heat insulators. Thermal conductivities of some typical solids are shown in Fig. 1-6. Other data are given in Appendix A.

The thermal conductivities of various insulating materials are also given in Appendix A. Some typical values are 0.038 W/m · °C for glass wool and 0.78 W/m · °C for window glass. At high temperatures, the energy transfer through

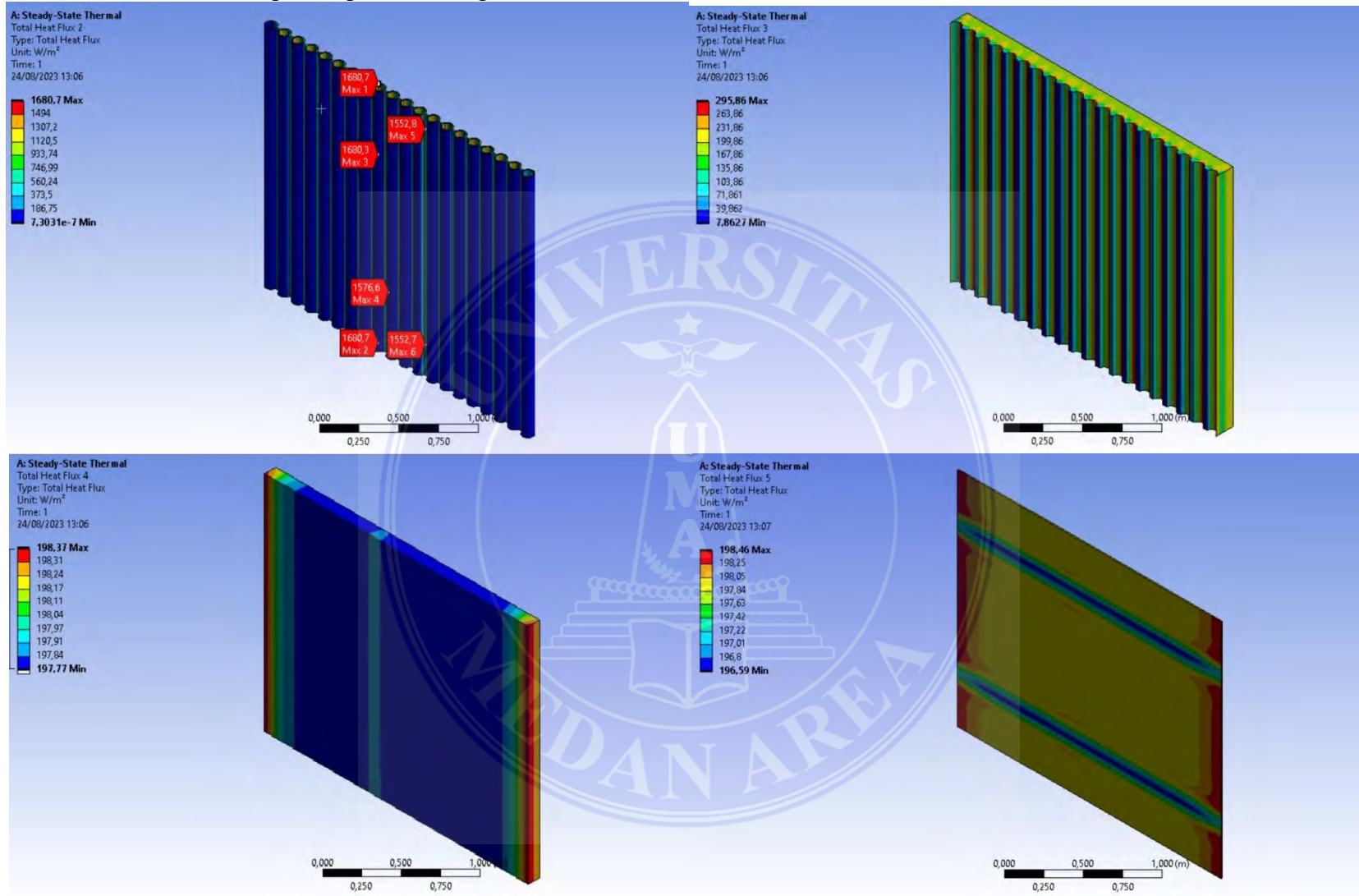
Lampiran 1. 4 Dokumentasi pengambilan data di perusahaan



Lampiran 1. 5 Hasil Simulasi distribusi suhu disetiap lapisan dinding



Lampiran 1. 6 Hasil Simulasi *Heat Flux* pada lapisan dinding



Lampiran 1. 7 Gambar teknik desain dinding ruang bakar

