

**ANALISIS PENGARUH PANAS DAN BEBAN TERHADAP
KERUSAKAN TRAVELING GRATE PADA BOILER DI PLTU
TEMBILAHAN 2×7 MW**

SKRIPSI

**OLEH:
SANDI SAPUTRA
198130109**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2022**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 24/6/22

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

Access From (repository.uma.ac.id)24/6/22

**ANALISIS PENGARUH PANAS DAN BEBAN TERHADAP
KERUSAKAN TRAVELING GRATE PADA BOILER DI PLTU
TEMBILAHAN 2×7 MW**

SKRIPSI

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

Oleh:
SANDI SAPUTRA
198130109

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2022**

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Skripsi : Analisis Pengaruh Panas dan Beban Terhadap
Kerusakan *Traveling Grate* pada Boiler di PLTU
Tembilahan 2×7 MW
Nama Mahasiswa : Sandi Saputra
NIM : 198130109
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik

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

Nama Dosen Pembimbing I : Muhammad Idris, S.T., M.T.
NIDN : 0106058104
Nama Dosen Pembimbing II : M. Yusuf R. Siahaan, S.T., M.T.
NIDN : 0122078003

Medan, Januari 2022

Dosen Pembimbing II,

Dosen Pembimbing I,

(M. Yusuf R. Siahaan, S.T., M.T.)
NIDN. 0122078003

(Muhammad Idris, S.T., M.T.)
NIDN. 0106058104

Diketahui Oleh:

Dekan

(Dr. Rahmad Syah S. Kom., M.Kom.)
NIDN. 0112096601

Ketua Program Studi Teknik Mesin

(Muhammad Idris, S.T., M.T.)
NIDN. 0106058104

HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya tulis sebagai syarat untuk mendapatkan gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri dan dapat dibuktikan keasliannya. Adapun bagian – bagian teori dasar dalam penulisan skripsi ini, saya kutip dari hasil karya tulis penulis lain dengan metode penyebutan sumber secara jelas sesuai dengan etika, norma, dan kaidah penulisan karya tulis ilmiah.

Saya bersedia menerima saksi pencabutan gelar akademik yang diperoleh ataupun sanksi – sanksi lainnya sesuai peraturan berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 31 Januari 2022



Sandi Saputra
NPM: 198130109

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR / SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademik Universitas Medan Area, Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Sandi Saputra
NPM : 198130109
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 Non Eksklusif (*Non-Exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul: Analisis Pengaruh Panas dan Beban Terhadap Kerusakan *Traveling Grate* pada *Boiler* di PLTU Tembilahan 2×7 MW. Dengan Bebas Royalti Non Eksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalih mediakan / formatkan, mengelola dalam bentuk perangkat data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir / skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis / pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta atas tulisan ini.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Medan, Januari 2022
Yang Menyatakan



(Sandi Saputra)
NPM: 198130109

ABSTRAK

Rack grate adalah komponen yang tersusun dari jalinan *rack clip* dan *rack bone* yang berfungsi sebagai media penampang tempat jatuhnya hasil lontaran, dan tempat pembakaran batubara di *boiler*. Sebagai bagian dari komponen utama, *rack grate* bisa dikatakan sebagai salah satu komponen penjamin keberhasilan pembakaran pada *boiler*. Kerusakan pada komponen ini tentunya akan mengganggu kelancaran operasi *boiler*. Selain mengharuskan *boiler* harus padam saat perbaikan, tidak beroperasinya *boiler* membuat proses produksi *steam* di PLTU menjadi tidak mungkin dan akhirnya proses pembangkitan listrik tidak dapat dilakukan seperti biasa. Kerusakan pada komponen *rack grate* memiliki tipe deformasi plastis dengan beban variabel dan panas yang fluktuatif, yang berarti tegangan termal pada sistem telah mencapai titik tegangan leleh. Untuk mengetahui akar penyebab kerusakan komponen ini secara cepat dan tepat, analisis hasil implementasi *software engineering* dalam hal ini *Ansys Workbench*, dan perbandingan data operasi yang sebenarnya, dan desain data adalah pilihan terbaik. Terakhir, dengan mengevaluasi nilai optimum *temperature*, *equivalent stress* dan *strain*, *total deformation*, nilai parameter proses *input* dapat dikontrol hingga nilai yang diinginkan, hasilnya konsentrasi tegangan yang terjadi lebih sedikit, sehingga kerusakan benda kerja dapat dikurangi atau bahkan dihilangkan.

Kata Kunci : *Boiler Stoker, Thermal Stress, Traveling Grate, Ansys Workbench*

ABSTRACT

Rack grate is a component composed of rack clip and rack bone arrangement that serves as a dropping cross section media of coal and as a media of coal burned in boiler. As part of the main component, the rack grate can be regarded as one of the components that ensure the success of combustion in the boiler. Failure to this component will certainly interfere the implementation of boiler operations. In addition to require the boiler to be shut down while repaired, in addition to requiring the boiler to be extinguished during repairs, the inoperability of the boiler makes the steam production process at the PLTU impossible and ultimately the electricity generation process cannot be carried out as usual. Damage to the rack grate component has a type of plastic deformation with variable loads and fluctuating heat, which means that the thermal stress in the system has reached the yield stress point. To find out the root cause of this component damage quickly and accurately, analysis of the results of the implementation of engineering software in this case Ansys Workbench, and comparison of actual operating data, and data design is the best choice. Lastly, by evaluating the optimum values of temperature, equivalent stress and strain, total deformation, input process parameters value can be controlled to the desired values, results in less stress concentration occurs, so that the damage to the workpiece can be reduced or even eliminated.

Keywords : Boiler Stoker, Thermal Stress, Traveling Grate, Ansys Workbench

RIWAYAT HIDUP PENULIS



Penulis bernama Sandi Saputra dilahirkan di Palembang, Sumatera Selatan pada tanggal 16 Agustus 1994 dari ayah yang bernama Daryono Nyariman dan ibu yang bernama Hernellysmawati. Penulis merupakan anak bungsu dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan dimulai dari SD Negeri 08 Palembang, Sumatera Selatan dimana lulus pada tahun 2006, kemudian melanjutkan pendidikan ke SMP Negeri 18 Palembang yang lulus pada tahun 2009. Pada tahun 2012 Lulus dari SMA Negeri 10 Palembang dan di tahun yang sama penulis melanjutkan Pendidikan Diploma III Jurusan Teknik Mesin di Politeknik Negeri Sriwijaya untuk kemudian lulus pada tahun 2015. Setelah menyelesaikan pendidikan di Politeknik Negeri Sriwijaya, Penulis bekerja di PT PLN (Persero) sebagai Junior Engineer Teknik Mekanikal. Pada tahun 2019 penulis baru mendapatkan kesempatan untuk melanjutkan Pendidikan formal ke jenjang sarjana dan terdaftar sebagai Mahasiswa Program Studi Teknik Mesin di Universitas Medan Area.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga skripsi ini berhasil diselesaikan sebagai syarat menyelesaikan program sarjana pada Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area. Adapun judul skripsi ini adalah analisis pengaruh panas dan beban terhadap kerusakan *traveling grate* pada *boiler* di PLTU Tembilahan 2×7 MW.

Selama penulisan skripsi ini penulis banyak menerima bantuan, bimbingan, serta motivasi dari berbagai pihak, untuk itu penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng., M.Sc., selaku Rektor Universitas Medan Area.
2. Ibu Dr. Ir. Dina Maizana, MT., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
3. Bapak Muhammad Idris, ST., MT., selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area.
4. Bapak Muhammad Idris, ST., MT., dan Bapak Yusuf Rahmansyah Siahaan, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak memberikan bantuan, saran, dan masukan.
5. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Mesin serta Bagian Administrasi Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
6. Kedua orang tua saya, kepada Dariyono Nyariman (Alm.), Hernellysmawati, dan seluruh keluarga atas dukungan serta do'a yang tidak henti-hentinya, dan

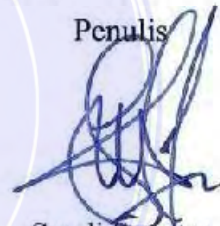
semoga ketika lanjut kuliah kedepannya dapat diberi kelancaran oleh Allah SWT.

7. Rekan-rekan Mahasiswa Teknik Mesin Universitas Medan Area yang solid, khususnya yang telah banyak membantu dalam pengurusan skripsi ini.

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 menjadi saran dan masukan untuk penelitian kedepannya. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih.

Medan, Januari 2022

Penulis



Sandi Saputra
198130109



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR / SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
RIWAYAT HIDUP PENULIS	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
BAB I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Rumusan Masalah.....	4
C. Batasan Masalah	4
D. Tujuan Penelitian	6
E. Manfaat Penelitian	6
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	7
A. Perpindahan Panas	7
1. Konduksi	7
2. Konveksi	10
3. Radiasi.....	12
B. Kerusakan Material.....	13
1. Tegangan	13
2. Regangan.....	14
3. <i>Thermal Stress</i>	15
4. Batas Proporsional	16
C. <i>Boiler</i>	19
1. <i>Boiler Stoker</i>	20
2. Prinsip Kerja <i>Boiler Stoker</i>	25
3. Komponen <i>Traveling Grate</i>	26
D. Konsep Penelitian	33
E. Analisis Simulasi	35
1. <i>Software</i> Permodelan dan Simulasi.....	35
2. Spesifikasi Material dan Sifat Material.....	37
3. Proses <i>Benchmarking</i>	38
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	40
A. Tempat dan Waktu.....	40
1. Tempat.....	40
2. Waktu	40
B. Alat dan Bahan.....	41
1. Alat.....	41
2. Bahan.....	44
C. Metode Penelitian	45

1. Metode Studi Literatur	45
2. Metode Eksperimental	46
D. Prosedur Pelaksanaan	46
1. Pengumpulan Data Sekunder	46
2. Persiapan Peralatan dan Bahan	47
3. Proses Penelitian dan Pengumpulan Data Primer	47
4. Analisis Beban dan <i>Thermal Stress</i>	50
5. Analisis Simulasi <i>Software Ansys</i>	54
6. <i>Benchmarking</i> Kejadian Aktual, Hasil Perhitungan, dan Simulasi	71
E. Diagram Alir	71
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	73
A. Hasil Pengambilan Data Primer dan Sekunder	73
B. Beban dan Perpindahan Panas pada <i>Traveling Grate</i>	74
C. Simulasi Komponen <i>Traveling Grate</i>	106
D. Analisa Penyebab Kerusakan <i>Traveling Grate</i>	127
E. Evaluasi dan Rekomendasi	130
1. Evaluasi Sistem	130
2. Rekomendasi Operasi dan Perbaikan	131
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	134
A. Kesimpulan	134
B. Saran	135
DAFTAR PUSTAKA	137

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Lokasi PLTU Tembilahan 2×7 MW	1
Gambar 1.2.	Diagram gangguan unit	2
Gambar 1.3.	Komponen <i>traveling grate</i> yang rusak	3
Gambar 2.1.	Perpindahan panas	7
Gambar 2.2.	Peristiwa konduksi	8
Gambar 2.3.	Peristiwa konveksi	10
Gambar 2.4.	Radiasi matahari	12
Gambar 2.5.	Jenis – jenis kerusakan	13
Gambar 2.6.	Kurva tegangan – regangan	17
Gambar 2.7.	Pipa air <i>boiler</i>	19
Gambar 2.8.	(a.) Suplai batubara pelontar (b.) Suplai batubara manual	20
Gambar 2.9.	<i>Boiler stoker arrangement</i>	21
Gambar 2.10.	Komponen <i>furnace</i>	22
Gambar 2.11.	Komponen suplai udara	23
Gambar 2.12.	Komponen pembuat uap	24
Gambar 2.13.	Prinsip kerja <i>boiler stoker</i>	25
Gambar 2.14.	Komponen <i>traveling grate</i> (Lampiran 1)	26
Gambar 2.15.	Motor listrik dan <i>gearbox</i>	27
Gambar 2.16.	Poros dan <i>lubrication system</i>	28
Gambar 2.17.	<i>Sprocket</i>	29
Gambar 2.18.	<i>Idler</i> dan <i>chain adjuster</i>	30
Gambar 2.19.	<i>Seal plate</i> dan <i>apron</i>	31
Gambar 2.20.	<i>Rack grate</i> dan <i>drive grate</i>	32
Gambar 2.21.	CAD <i>traveling grate</i>	36
Gambar 3.1.	Lokasi penelitian	40
Gambar 3.2.	<i>Boiler stoker</i>	41
Gambar 3.3.	DCS dan <i>local instrument</i>	42
Gambar 3.4.	<i>Temperature Transmitter</i> dan <i>Pressure Transmitter</i>	42
Gambar 3.5.	<i>Level Transmitter</i>	43
Gambar 3.6.	Laptop	43
Gambar 3.7.	Batubara	44
Gambar 3.8.	Oli dan bahan kimia	45
Gambar 3.9.	Peletakan sensor di <i>boiler</i>	49
Gambar 3.10.	Analisis gaya	52
Gambar 3.11.	Perpindahan panas dan pemuaian komponen	53
Gambar 3.12.	Proses penyimpanan file berformat <i>igs</i>	55
Gambar 3.13.	Pemilihan skema analisis	55
Gambar 3.14.	Pengaturan spesifikasi material	56
Gambar 3.15.	Pemilihan material untuk tiap komponen	57
Gambar 3.16.	Pengaturan kontak antar komponen	58
Gambar 3.17.	Hasil proses <i>meshing</i>	58
Gambar 3.18.	Pengaturan Konveksi	59
Gambar 3.19.	Tampilan pengaturan variabel <i>transient thermal</i>	60
Gambar 3.20.	Tampilan pemilihan fitur hasil simulasi <i>transient thermal</i>	60
Gambar 3.21.	Tampilan <i>generate</i>	61
Gambar 3.22.	Proses penyimpanan file berformat <i>igs</i>	62

Gambar 3.23. Pemilihan skema analisis	62
Gambar 3.24. Pengaturan spesifikasi material	63
Gambar 3.25. Pemilihan material untuk tiap komponen	64
Gambar 3.26. Pengaturan kontak antar komponen	65
Gambar 3.27. Hasil proses <i>meshing</i>	65
Gambar 3.28. Tampilan pengaturan variabel <i>transient thermal</i>	66
Gambar 3.29. Tampilan pemilihan fitur simulasi <i>transient thermal</i>	67
Gambar 3.30. Tampilan <i>generate</i>	67
Gambar 3.31. Fitur – fitur dalam <i>static structural</i>	68
Gambar 3.32. Fitur <i>force</i> pada simulasi	69
Gambar 3.33. Hasil <i>imported load transient thermal</i>	69
Gambar 3.34. <i>Generate Result</i>	70
Gambar 3.35. Diagram alir penelitian	72
Gambar 4.1. Gambar Penampang Balok T	77
Gambar 4.2. Gambar Penampang Balok T	77
Gambar 4.3. Gambar Penampang Balok T	78
Gambar 4.4. Model contoh 2.1 dan 2.5 dari buku karya J.P. Holman	83
Gambar 4.5. Keterangan data	87
Gambar 4.6. Keterangan titik perhitungan perpindahan panas area <i>furnace</i> ..	91
Gambar 4.7. Perpindahan Panas Horizontal	93
Gambar 4.8. Perpindahan Panas Area Peralihan	97
Gambar 4.9. Perpindahan Panas Area Suplai Udara	101
Gambar 4.10. Peta suhu material <i>rack grate</i> bagian atas dan bawah	101
Gambar 4.11. Perpindahan Panas yang menyebabkan thermal stress	105
Gambar 4.12. Simulasi perpindahan panas dengan abu setebal 25,785 mm	107
Gambar 4.13. Penandaan bagian atas <i>rack grate</i> dengan fitur <i>probe</i>	108
Gambar 4.14. Simulasi perpindahan panas dengan abu setebal 35,453 mm	108
Gambar 4.15. Penandaan bagian atas <i>rack grate</i> dengan fitur <i>probe</i>	109
Gambar 4.16. Simulasi perpindahan panas dengan abu setebal 50,592 mm	109
Gambar 4.17. Penandaan bagian atas <i>rack grate</i> dengan fitur <i>probe</i>	110
Gambar 4.18. Simulasi perpindahan panas dengan abu setebal 75 mm	110
Gambar 4.19. Penandaan bagian atas <i>rack grate</i> dengan fitur <i>probe</i>	111
Gambar 4.20. Simulasi perpindahan panas dengan abu setebal 150 mm	111
Gambar 4.21. Penandaan bagian atas <i>rack grate</i> dengan fitur <i>probe</i>	112
Gambar 4.22. Simulasi <i>rack bone</i> 604,5 mm dengan tebal abu 25,785 mm	113
Gambar 4.23. Simulasi <i>rack bone</i> 604,5 mm dengan tebal abu 35,453 mm	114
Gambar 4.24. Simulasi <i>rack bone</i> 604,5 mm dengan tebal abu 50,592 mm	114
Gambar 4.25. Simulasi <i>rack bone</i> 604,5 mm dengan tebal abu 75 mm	115
Gambar 4.26. Simulasi <i>rack bone</i> 604,5 mm dengan tebal abu 150 mm	116
Gambar 4.27. Simulasi <i>rack bone</i> 608,7 mm dengan tebal abu 25,785 mm	117
Gambar 4.28. Simulasi <i>rack bone</i> 608,7 mm dengan tebal abu 35,453 mm	117
Gambar 4.29. Simulasi <i>rack bone</i> 608,7 mm dengan tebal abu 50,592 mm	118
Gambar 4.30. Simulasi <i>rack bone</i> 608,7 mm dengan tebal abu 75 mm	119
Gambar 4.31. Simulasi <i>rack bone</i> 608,7 mm dengan tebal abu 150 mm	120
Gambar 4.32. Simulasi <i>rack bone</i> 613,95 mm dengan tebal abu 25,785 mm ...	121
Gambar 4.33. Simulasi <i>rack bone</i> 613,95 mm dengan tebal abu 35,453 mm ...	121
Gambar 4.34. Simulasi <i>rack bone</i> 613,95 mm dengan tebal abu 50,592 mm ...	122
Gambar 4.35. Simulasi <i>rack bone</i> 613,95 mm dengan tebal abu 75 mm	123

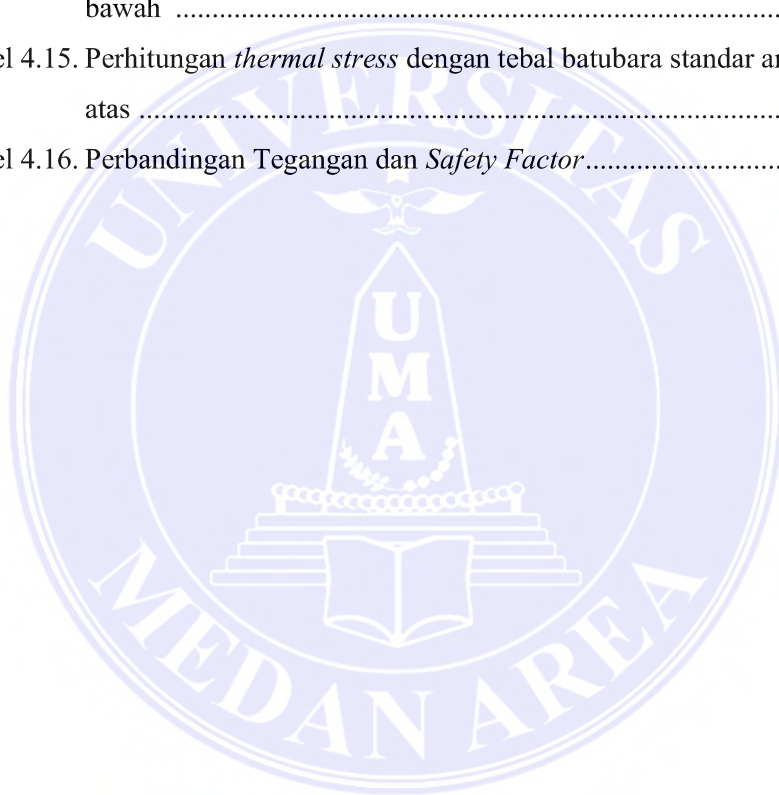
Gambar 4.36. Simulasi <i>rack bone</i> 613,95 mm dengan tebal abu 150 mm	123
Gambar 4.37. Simulasi <i>rack bone</i> 619,2 mm dengan tebal abu 25,785 mm	124
Gambar 4.38. Simulasi <i>rack bone</i> 619,2 mm dengan tebal abu 35,453 mm	125
Gambar 4.39. Simulasi <i>rack bone</i> 619,2 mm dengan tebal abu 50,592 mm	125
Gambar 4.40. Simulasi <i>rack bone</i> 619,2 mm dengan tebal abu 75 mm	126
Gambar 4.41. Simulasi <i>rack bone</i> 619,2 mm dengan tebal abu 150 mm	127
Gambar 4.42. Deformasi tertinggi dengan paparan panas pada <i>rackbone</i>	128
Gambar 4.43. Tegangan maksimum pada <i>rack grate</i>	128
Gambar 4.44. Gambar pemuaian komponen	129
Gambar 4.45. Tumbukan antara <i>rack grate</i> dengan <i>seal plate</i> dan <i>apron</i>	130



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Komponen dan bahan baku	39
Tabel 3.1. Jadwal penelitian	41
Tabel 3.2. Spesifikasi pembangkit	42
Tabel 3.3. Spesifikasi komputer	43
Tabel 4.1. Data primer pengujian	65
Tabel 4.2. Data perhitungan beban abu batubara	67
Tabel 4.3. Kombinasi beban batubara dan <i>ash layer</i>	69
Tabel 4.4. Data perhitungan koefisien konveksi	72
Tabel 4.5. Data perhitungan besar energi yang berpindah dan suhu per titik ...	74
Tabel 4.6. Data hasil perhitungan perpindahan panas	77
Tabel 4.7. Data perhitungan muai panjang <i>seal plate</i> dan <i>apron</i>	79
Tabel 4.8. Data untuk perhitungan muai panjang	82
Tabel 4.9. Hasil perhitungan muai panjang dan <i>thermal stress</i> horizontal	83
Tabel 4.10. Hasil simulasi keseluruhan pada panjang <i>rack bone</i> 604,5 mm	105
Tabel 4.11. Hasil simulasi keseluruhan pada panjang <i>rack bone</i> 608,7 mm	105
Tabel 4.12. Hasil simulasi keseluruhan pada panjang <i>rack bone</i> 613,95 mm	106
Tabel 4.13. Hasil simulasi keseluruhan pada panjang <i>rack bone</i> 619,2 mm	106
Tabel 2.1. Komponen dan bahan baku	38
Tabel 3.1. Jadwal penelitian	40
Tabel 3.2. Spesifikasi <i>boiler</i>	41
Tabel 3.3. Spesifikasi Komputer	43
Tabel 4.1. Data primer pengujian	73
Tabel 4.2. Tabel Perbandingan Tegangan dan <i>Safety Factor</i>	82
Tabel 4.3. Data perhitungan koefisien konveksi	83
Tabel 4.4. Data hasil perhitungan koefisien konveksi	85
Tabel 4.5. Data perhitungan besar energi yang berpindah dan suhu per titik ..	86
Tabel 4.6. Data hasil perhitungan perpindahan panas area <i>furnace</i>	90
Tabel 4.7. Data perhitungan besar energi yang berpindah dan suhu per titik ..	92
Tabel 4.8. Data perhitungan besar energi yang berpindah dan suhu per titik ..	93
Tabel 4.9. Data perhitungan besar energi yang berpindah dan suhu per titik ..	97

Tabel 4.10. Data perhitungan besar energi yang berpindah dan suhu per titik ..	102
Tabel 4.11. Perhitungan <i>thermal stress</i> dengan tebal batubara rata – rata terrendah	104
Tabel 4.12. Perhitungan <i>thermal stress</i> dengan tebal batubara rata – rata menengah	104
Tabel 4.13. Perhitungan <i>thermal stress</i> dengan tebal batubara rata – rata tertinggi	104
Tabel 4.14. Perhitungan <i>thermal stress</i> dengan tebal batubara standar angka bawah	105
Tabel 4.15. Perhitungan <i>thermal stress</i> dengan tebal batubara standar angka atas	105
Tabel 4.16. Perbandingan Tegangan dan <i>Safety Factor</i>	106



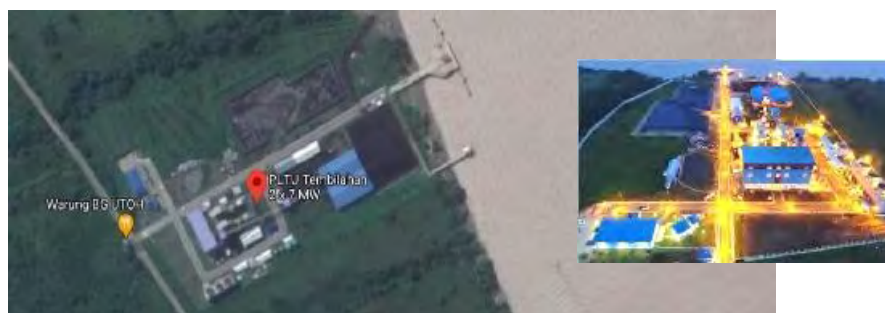
BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

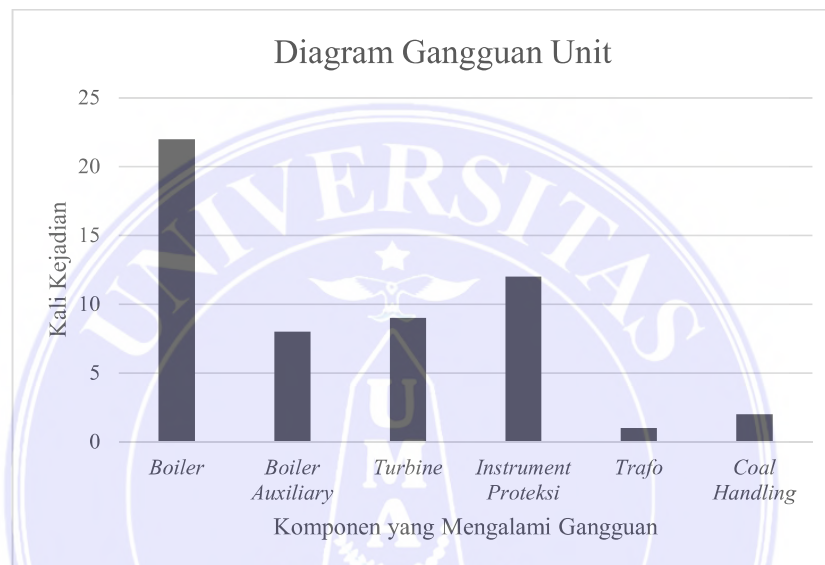
Perusahaan Listrik Negara (PLN) yang menjadi direksi pekerjaan program kelistrikan pemerintah Indonesia dalam Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (Persero) 2010 – 2019, telah melakukan percepatan elektrifikasi daerah – daerah pelosok ataupun terisolir, agar pemerataan distribusi listrik tidak hanya dapat dinikmati oleh masyarakat perkotaan. Banyak cara yang dilakukan demi mencapai tujuan tersebut mulai dari, memperbanyak jaringan distribusi 20 kV, membangun *tower* transmisi dan gardu induk, hingga yang paling menjadi perdebatan adalah membangun pembangkit skala kecil tersebar.

Program PLTU batubara skala kecil tersebar merupakan contoh implementasi programnya, pembangkit ini tersebar di 70 lokasi Indonesia dengan tujuan untuk mengatasi krisis kelistrikan, untuk menurunkan biaya pokok penyediaan listrik dari pembangkit BBM, dan untuk membuat subsistem ketenagalistrikan menjadi semakin andal. Salah satu pembangkit yang dibangun adalah PLTU Tembilahan yang berkapasitas 2×7 MW yang terletak di Kota Tembilahan, Kabupaten Indragiri Hilir, Provinsi Riau, seperti yang tampak pada gambar 1.1.



Gambar 1.1. Lokasi PLTU Tembilahan 2×7 MW

Proyek ini dalam proses konstruksi dan komisioningnya mengalami banyak gangguan. Salah satu diantara yang paling sering adalah pada komponen *boiler*. Sehingga uap yang digunakan sebagai penggerak turbin tidak dapat diproduksi, dan akhirnya unit harus dimatikan dan mengalami perawatan dengan waktu yang cukup lama. Jumlah gangguan yang terjadi dapat dilihat dalam grafik dalam gambar 1.2.



Gambar 1.2. Diagram gangguan unit

Grafik diatas menjelaskan bahwa gangguan yang sering terjadi adalah di bagian *boiler* dengan jumlah sebanyak 22 kali gangguan. Dengan detail gangguan sebanyak 18 kali dari gangguan *boiler* tersebut dialami oleh komponen *traveling grate*, sementara gangguan lainnya dialami oleh pipa *boiler*, instrumen *boiler*, dan *ash cooler*. Dalam berbagai penyelesaian masalah yang terdapat dari grafik tersebut hanya gangguan *coal handling* dan *turbine auxiliary* saja yang pernah diangkat menjadi bahan tulisan, tulisan dengan format penyelesaian masalah tersebut dinarasikan dalam bentuk karya ilmiah dan dipublikasikan secara internal di lingkungan PT PLN (Persero). Sementara untuk permasalahan yang lain belum pernah dipublikasikan.

Komponen *traveling grate* yang mengalami kerusakan mempunyai ciri – ciri kerusakan yang serupa dalam tiap kali kejadian gangguan, yaitu adanya bekas tarikan yang membuat material *rack grate* menjadi bengkok. Dari kerusakan yang ada, dicurigai adanya pengaruh panas yang tidak normal dan terimplikasi dengan gaya secara berulang, yang menyebabkan perubahkan bentuk dari komponen seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.3. Dalam kejadian lainnya juga ditemui bahwa lubang yang tersedia untuk baut, yang digunakan untuk mengikat *rack grate* ke *driving grate* mengalami putus (*fracture*) dengan jenis patahan *ductile fracture*.



Gambar 1.3. Komponen *traveling grate* yang rusak

Masalah ini juga dialami oleh PLTU dengan *boiler* setipe, tepatnya di PLTU Tanjung Balai Karimun di Kepulauan Riau, PLTU Tidore di Maluku Utara, dan PLTU Ende di Nusa Tenggara Timur. Ketiga PLTU ini telah mengalami masalah yang serupa namun dalam penyelesaiannya hanya dilakukan penggantian terhadap komponen tanpa mengetahui apa akar masalah yang utama.

Gangguan terjadi baik pada komponen *traveling grate* maupun gangguan yang ada grafik pada gambar 1.2 tersebut mempengaruhi jam operasi dari unit pembangkit dengan efek domino lanjutan mengakibatkan kerugian yang luas, mulai dari tidak beroperasinya unit yang berarti fasilitas/aset yang ada tidak dapat digunakan, penyewaan mesin diesel (PLTD) milik perusahaan swasta dengan nilai

sewa yang tinggi untuk menutupi kekurangan pasokan listrik yang ada di daerah tersebut, hingga biaya tambahan untuk pembelian bahan bakar diesel untuk menghidupkan mesin diesel (PLTD) yang telah disewa.

Mempertimbangkan belum adanya usaha untuk menemukan akar masalah untuk kejadian ini dan melihat kerusakan *traveling grate* ini juga terjadi tidak hanya di PLTU Tembilahan, namun juga terjadi di PLTU lainnya yang menggunakan *Boiler* jenis *stoker*, serta belum adanya yang melakukan penelitian dan evaluasi lanjutan terhadap usaha penyelesaian masalah ini, penulis tertarik untuk mengangkat judul analisis pengaruh panas dan beban terhadap kerusakan *traveling grate* pada *boiler* di PLTU Tembilahan 2×7 MW.

B. Rumusan Masalah

Perumusan masalah terhadap analisis pengaruh perpindahan panas dan beban kerusakan *traveling grate* pada *boiler stoker* adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kondisi eksisting penerapan metode operasi *traveling grate*?
2. Bagaimana mengurangi resiko kerusakan *traveling grate*?
3. Apa penyebab terjadinya kerusakan *traveling grate*?
4. Apa rekomendasi terbaik dari penyelesaian masalah kerusakan *traveling grate*?

C. Batasan Masalah

Batasan masalah yang akan menjadi pedoman dalam melaksanakan penelitian dan pedoman pengamatan terhadap analisis pengaruh perpindahan panas dan beban kerusakan *traveling grate* pada *boiler stoker* akan dijabarkan sebagai berikut:

1. Lokasi Penelitian akan dilakukan pada unit PLTU Tembilahan 2×7 MW dan *boiler* yang dipakai adalah *boiler* DEN tipe BS-40 yang juga digunakan di PLTU Tanjung Balai Karimun 2×7 MW, PLTU Ropa 2×7 MW, PLTU Tidore 2×7 MW.
2. Dalam penelitian ini penulis hanya akan melakukan analisis komponen terhadap pengaruh panas dan beban, cara operasi, dan proses konstruksi saja. Bentuk dari komponen secara keseluruhan tidak akan dilakukan analisis.
3. Analisis kerusakan *traveling grate* akan difokuskan ke komponen *rack grate*, karena telah dilakukannya penelitian terhadap *traveling grate* secara keseluruhan oleh pihak *engineering* manufaktur dan hasilnya kerusakan diakibatkan oleh gaya dan panas yang dialami oleh komponen ini. Penelitian sebelumnya hanya dilakukan untuk mendapatkan info tentang komponen apa yang bermasalah namun tidak ada penelitian lanjutan.
4. *Boiler* yang digunakan adalah *boiler stoker* bertipe udara dengan kevakuman normal dari -130 mmHg – 0 mmHg, sehingga rambatan panas yang telah menyentuh bagian permukaan komponen tidak mendapat percepatan ataupun perlambatan rambat panas dari aliran udara pembakaran.
5. Parameter menjadi patokan *traveling grate* rusak saat terjadi operasi adalah *torque guard* mulai bekerja atau adanya *rack grate* yang tidak tertutup dengan sempurna.
6. Abu batubara dihitung sebagai bahan yang menghambat perambatan panas dari udara bakar ke komponen dan variasi ketebalan abu akan dihitung pengaruhnya ke beban dari komponen.

7. Analisis perhitungan beban diperlukan adanya data pengujian kuat tarik sebagai pembanding, data pengujian ini telah ada dalam bentuk data sekunder di PT PLN (Persero).
8. Perhitungan rambat panas akan dilakukan analisis dengan cara membandingkan dengan simulasi yang akan dibuat dengan *software ansys*.

D. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang ingin dicapai dalam tulisan analisis kerusakan *traveling grate* pada *boiler stoker* adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh panas dan beban terhadap kerusakan *traveling grate*.
2. Mengelaborasi hasil perhitungan data pengaruh panas dan beban ke *software ansys* untuk mendapat visualisasi area kritis kerusakan pada *traveling grate*.
3. Menganalisis hasil simulasi pengaruh panas dan beban pada *traveling grate*.
4. Mengevaluasi penyebab kerusakan pada *traveling grate*.
5. Merekomendasikan langkah perbaikan dan metode yang dapat dipakai untuk menanggulangi kerusakan *traveling grate*.

E. Manfaat Penelitian

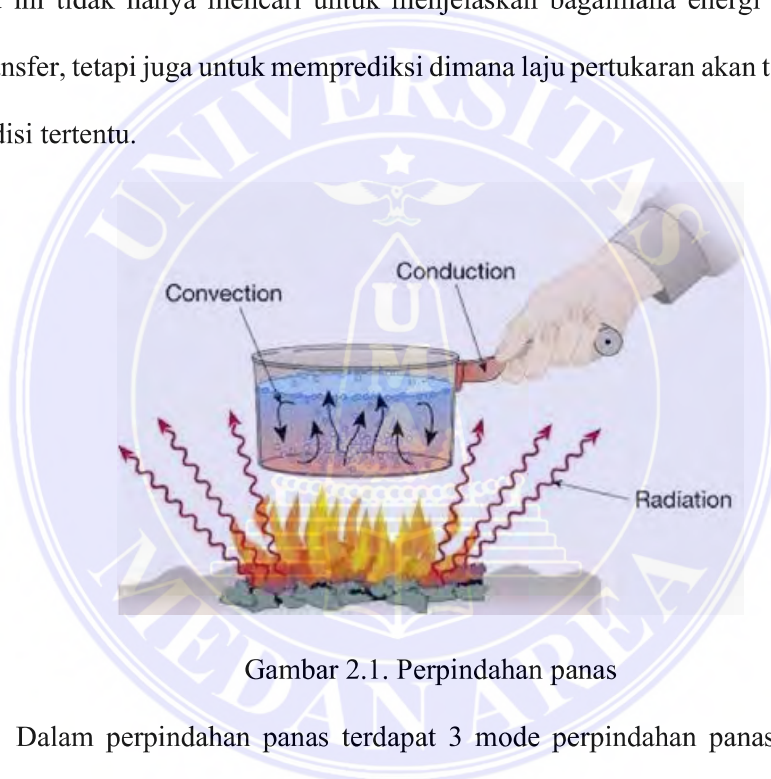
Manfaat penelitian yang ingin dicapai adalah diketahuinya penyebab utama kerusakan yang terjadi pada komponen *traveling grate* sehingga dapat diputuskan solusi terbaik dalam perbaikan agar tidak terjadi pengulangan masalah yang berkelanjutan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Perpindahan Panas

Perpindahan panas merupakan ilmu untuk menentukan perpindahan energi yang terjadi antar benda atau material sebagai akibat dari perbedaan suhu [1] [2]. Ilmu ini tidak hanya mencari untuk menjelaskan bagaimana energi panas dapat ditransfer, tetapi juga untuk memprediksi dimana laju pertukaran akan terjadi dalam kondisi tertentu.



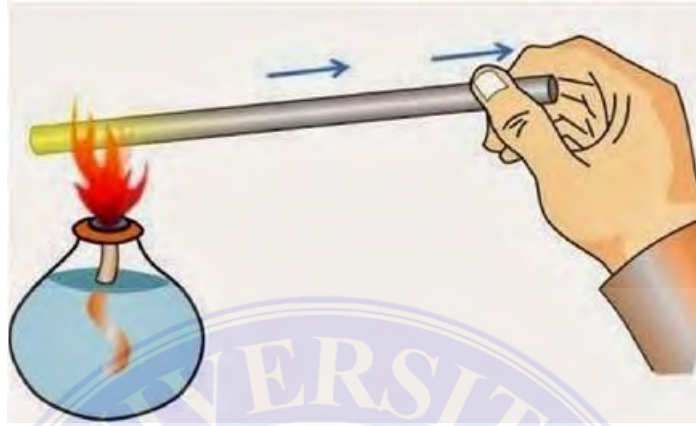
Gambar 2.1. Perpindahan panas

Dalam perpindahan panas terdapat 3 mode perpindahan panas yang telah dipelajari di dalam ilmu fisika, yaitu; konduksi, konveksi, dan radiasi seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.1. tentang perpindahan panas [2]. Penjelasan 3 mode tersebut akan dijabarkan sebagai berikut;

1. Konduksi

Konduksi sering kali dipahami dengan peristiwa transfer energi dari suatu partikel yang memiliki temperatur tinggi ke partikel yang memiliki temperatur yang

rendah dengan media perpindahan energi berupa benda padat [1] [2], yang dapat dideskripsikan pada gambar 2.2. yaitu proses pemanasan benda berikut ini.



Gambar 2.2. Peristiwa konduksi

Konsep pertama yang ditemukan saat ditemukannya temperatur di dalam tubuh manusia yang kemudian divisualisasikan menjadi gradien panas tubuh [1]. terdapat perbedaan jenis panas di berbagai bagian yang akhirnya diartikan sebagai laju perpindahan panas persatuan luas. Hal tersebut dirumuskan dalam buku *Heat Transfer* karya J.P. Holman dengan formula sebagai berikut;

$$q_x = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \dots \dots \dots (2.1)$$

dimana :

q_x = Kalor yang Dipindahkan (kJ/s atau W)

k = Konduktivitas Termal (W/m.K)

A = Luas Penampang Benda (m²)

T = Temperatur (K)

x = Tebal Benda (m)

Selain mengalirkan panas lewat benda padat peristiwa ini juga membawa dampak lain terhadap benda yang dialiri panas, dampak lain yang dimaksudkan

adalah pemuaian. Karena suhu di suatu benda meningkat, benda tersebut biasanya mengembang [3]. Muai panas adalah kecenderungan materi untuk berubah bentuk, volume, dan luas sebagai respons terhadap perubahan suhu [4]. Setelah kita melihat cara menghitung perpindahan panas melalui satu jenis material, berikut ini adalah rumus untuk menghitung beberapa jenis material sesuai penjelasan pada *handbook* J.P. Holman.

$$q = \frac{\Delta T}{\frac{\Delta x_A}{k_A A} + \frac{\Delta x_B}{k_B A} + \frac{\Delta x_C}{k_C A}} \dots \dots \dots (2.2)$$

dimana :

- q = Kalor yang Dipindahkan (kJ/s atau W)
- k_x = Konduktivitas Termal pada Sebuah Material (W/m.K)
- A = Luas Penampang Benda (m²)
- ΔT = Perbedaan Temperatur (K)
- Δx_x = Tebal Benda (m)

Dalam buku *Physics for scientists and engineers* edisi keenam karangan Paul

A. Tipler muai panjang dirumuskan dengan;

$$\frac{\Delta L}{L_o} = \alpha \Delta T \dots \dots \dots (2.3)$$

dimana:

- ΔL = Perubahan Panjang (m)
- L_o = Panjang Awal (m)
- α = Koefisien Muai *Linear* (/K)
- ΔT = Perubahan Temperatur (K)

2. Konveksi

Konveksi dapat dipahami sebagai suatu kejadian perpindahan energi yang terjadi dari partikel bertemperatur tinggi ke partikel bertemperatur lebih rendah yang melibatkan komponen padatan yang melalui media cair atau gas [1] [2]. Adapun contoh konveksi yang jarang ditemui adalah balon udara pada gambar 2.3. atau proses memasak air saat panas pindah dari komponen besi.



Gambar 2.3. Peristiwa konveksi

Sebagai contoh dapat dimisalkan dengan sebuah besi panas yang diletakkan diwadiah yang berisi air, maka lama kelamaan besi tersebut mengalami temperatur dan air akan mengalami kenaikan temperatur. Hal tersebut dirumuskan dalam buku *Heat Transfer* karya J.P. Holman dengan formula sebagai berikut;

$$q = hA(T_w - T_\infty) \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana :

q = Kalor yang Dipindahkan (W)

h = Koefisien Perpindahan Panas Konveksi (W/m².K)

A = Luas Penampang Benda (m²)

T_w = Temperatur Permukaan Dinding (K)

T_∞ = Temperatur Lingkungan (K)

Selain mengalirkan panas lewat benda cair peristiwa ini juga membawa dampak lain terhadap benda yang dialiri panas, dampak lain yang dimaksudkan adalah penguapan. Namun karena yang dibahas dalam tulisan ini adalah komponen *boiler* yang memiliki wujud padat, maka penguapan akan diabaikan. Sedangkan untuk menghitung perpindahan panas sebuah di material yang disekitar material tersebut udaranya menjadi variabel yang diperhitungkan.

$$q = \frac{\Delta T}{\frac{1}{h_1 A} + \frac{\Delta x}{k A} + \frac{1}{h_2 A}} \dots\dots\dots (2.5)$$

Nilai h sendiri dapat dicari dengan cara,

$$h = 0,664 \times \frac{k}{L} Re_L^{0,5} Pr^{0,333} \dots\dots\dots (2.6)$$

dengan Re sebagai berikut;

$$Re = \frac{v_{ID\ FAN} \times L}{\mu} \dots\dots\dots (2.7)$$

dimana :

q = Kalor yang Dipindahkan (W)

h_1 = Koefisien Perpindahan Panas Konveksi Diposisi udara pertama (W/m².K)

h_2 = Koefisien Perpindahan Panas Konveksi Diposisi udara kedua (W/m².K)

Δx = Tebal Benda (m)

ΔT = Perbedaan Temperatur (K)

A = Luas Penampang Benda (m²)

k = Konduktivitas Termal pada Sebuah Material (W/m.K)

L = Panjang Sampel (m)

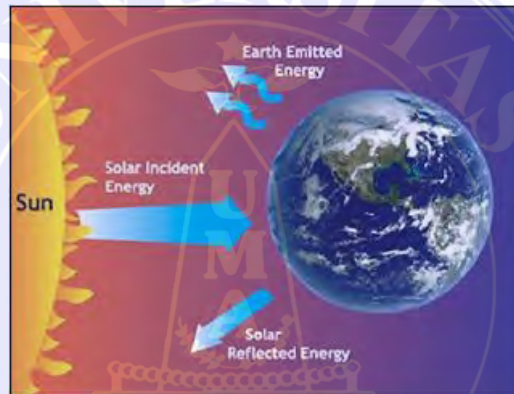
μ = Viskositas Kinematik (Ns/m²)

v = Kecepatan Udara *ID Fan* (m/s)

Pr = Angka Prandtl

3. Radiasi

Jika konduksi dan konveksi terjadinya perpindahan energi melalui media padat dan media cair, maka Radiasi adalah pemancaran energi dalam bentuk materi gelombang elektromagnetik melalui tempat vakum [1] [2]. Contoh dari radiasi adalah perpindahan panas matahari ke bumi melalui ruang hampa sesuai dengan gambar 2.4. berikut ini.



Gambar 2.4. Radiasi matahari

Mekanisme perpindahannya adalah radiasi elektromagnetik. Formula yang paling umum digunakan adalah dari referensi buku *Heat Transfer* karya J.P. Holman dengan formula sebagai berikut;

$$q_{emitted} = \sigma AT^4 \dots\dots\dots (2.8)$$

dimana :

$q_{emitted}$ = Laju Radiasi yang dipancarkan (W)

σ = Konstanta Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$)

A = Luas Permukaan Benda (m^2)

T = Temperatur (K)

B. Kerusakan Material

Kerusakan adalah ketidakmampuan suatu komponen untuk dapat berfungsi sebagaimana mestinya, Kerusakan juga dapat dikatakan sebagai *loss of function* atau *loss of service life* [5]. Kerusakan merupakan hal yang tidak diharapkan dalam suatu proses konstruksi, operasi, dan perawatan. Karena, hal ini akan mengganggu fungsi baik secara komponen maupun sistem secara keseluruhan. Dalam pengklasifikasian secara umum, kerusakan terbagi atas beberapa jenis, yaitu; *surface damage*, *elastic – plastic deformation*, dan *fracture* [6]. Seperti pada gambar 2.5. [7] [8][14] berikut ini;



Gambar 2.5. Jenis – jenis kerusakan

Dalam proses terjadinya kerusakan ada beberapa jenis – jenis gaya yang menjadi penyebab kerusakan ini terjadi. Beberapa gaya tersebut mengakibatkan beberapa kejadian yang langsung berpengaruh terhadap kekuatan bahan pada material yang dikenai gaya. Kejadian – kejadian tersebut adalah tegangan dan regangan dan batas proporsional. Hal tersebut akan dideskripsikan sebagai berikut;

1. Tegangan

Elastisitas sebuah material akan diketahui ketika dikenai oleh sebuah gaya atau lebih, lewat adanya perubahan panjang atau bentuk yang disebut deformasi [9] [10]. Tegangan dapat dirumuskan dengan perbandingan antara gaya tarik yang

dikenakan pada material atau benda terhadap luas penampang benda tersebut seperti pada rumus 2.9 [10] [11] sebagai berikut;

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (2.9)$$

dimana :

σ = Tegangan (Pa = N/m²)

F = Gaya (N)

A = Luas Permukaan Benda (m²)

Tegangan menunjukkan kekuatan gaya yang menyebabkan benda berubah bentuk. Tegangan dibedakan menjadi tiga macam yaitu regangan, mampatan, dan geseran. Dalam penelitian ini akan dipakai sebuah rumus yang disebutkan pada buku *Mechanics of Material* karangan James M. Gere dan Stephen P. Timoshenko. Dengan rumus sebagai berikut.

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \dots\dots\dots (2.10)$$

dimana :

σ = Tegangan (MPa = N/m²)

M = Momen Lentur (Nm)

c = Jarak titik sumbu x ke titik pusat (m)

I = Momen Inersia (m⁴)

2. Regangan

Regangan merupakan perubahan ukuran atau bentuk suatu material atau benda yang mengalami tegangan [9] [10]. Sesuai dengan rumusnya, regangan dapat diformulasikan sebagai perbandingan antara penambahan panjang material terhadap panjang material awal yang dapat dilihat di rumus 2.11 [10] [11]. Selain itu,

regangan menjadi pedoman sejauh apa benda tersebut mengalami perubahan bentuk.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_o} \dots\dots\dots (2.11)$$

dimana :

ε = Regangan (%)

ΔL = Pertambahan panjang (m)

L_o = Panjang mula – mula (m)

Ketika tegangan dan regangan telah dipahami, maka efek tegangan dan regangan terhadap bahan akan langsung terlihat saat kita mempelajari hubungan antara keduanya. Berdasarkan buku *Manufacturing Processes* karya H.N. Gupta hubungan tegangan dan regangan dapat dilihat secara langsung pada rumus modulus elastisitas seperti ditunjukkan pada rumus 2.12. Modulus elastisitas perbandingan antara tegangan dengan regangan yang dialami bahan [11].

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots\dots\dots (2.12)$$

dimana :

E = Modulus *Young* / Modulus Elastisitas (Pa = N/m²)

σ = Tegangan (Pa = N/m²)

ε = Regangan (m/m atau lebih sering dinyatakan dengan %)

3. *Thermal Stress*

Thermal stress adalah sebuah fenomena dimana material yang dikenai gaya, mengalami penurunan kekuatan yang signifikan dikarenakan adanya pemuaian material yang diakibatkan oleh sumber panas [5] [12]. Hal ini membuat material menjadi lebih lemah dari sifat dasarnya. Dalam buku *Design for Thermal Stress*

karya Randall F. Barron dan Brian R. Barron. Fenomena ini dapat dirumuskan lewat penjabaran rumus muai panjang dan tegangan, dimulai dengan penyederhanaan antara rumus 2.3 dan 2.11 yang dapat diformulasikan sebagai berikut.

$$\frac{\Delta L}{L_o} = \alpha \Delta T \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_o} \dots\dots\dots (2.11)$$

$$\varepsilon = \alpha \Delta T \dots\dots\dots (2.13)$$

Kemudian rumus 2.13 disubstitusikan ke dalam rumus 2.12,

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots\dots\dots (2.12)$$

Hasil substitusinya pada rumus (2.12) dapat dijabarkan sebagai berikut.

$$E = \frac{\sigma}{\alpha \Delta T} \dots\dots\dots (2.14)$$

Yang kemudian dapat ditulis seperti di bawah ini,

$$\sigma = E \alpha \Delta T \dots\dots\dots (2.15)$$

dimana :

E = Modulus *Young* / Modulus Elastisitas (Pa = N/m²)

σ = Tegangan (Pa = N/m²)

ε = Regangan (m/m atau lebih sering dinyatakan dengan %)

L_o = Panjang Awal (m)

α = Koefisien Muai *Linear* (/K)

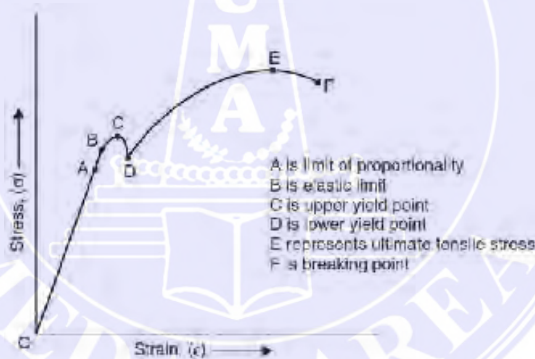
ΔT = Perubahan Temperatur (K)

4. Batas Proporsional

Dalam pembahasan lanjutan terdapat istilah batas proporsional, batas proporsional adalah yaitu tegangan maksimum yang terjadi selama material

diberikan beban, sehingga tegangan merupakan fungsi linier dari regangan. Hal ini menyatakan adanya hubungan antara tegangan dan regangan. Hubungan tegangan dan regangan ini dibahas oleh Sir Robert Hooke pada 1678, pembahasannya terfokus pada hubungan linear antara perpanjangan dan gaya aksial yang selanjutnya disebut dengan Hukum *Hooke*. Hukum *Hooke* berbunyi “Jika gaya tarik yang diberikan pada sebuah pegas tidak melampaui batas elastis bahan maka pertambahan panjang pegas berbanding lurus atau sebanding dengan gaya tariknya”. Dengan kata lain hukum ini berpendapat bahwa semakin besar gaya yang diberikan kepada suatu atau pegas, maka pegas juga akan semakin panjang.

Batas proporsional juga sering dideskripsikan dengan kurva tegangan – regangan ($\sigma - \epsilon$ curve) seperti pada gambar 2.6. berikut ini [11],



Gambar 2.6. Kurva tegangan – regangan

Pada gambar 2.6, konstanta proporsionalitas adalah Modulus Elastisitas (E) atau *Modulus Young*, dengan garis linear pada diagram tegangan – regangan dari O ke A dengan nilai tegangan semakin besar secara proporsional dengan nilai regangan ikut meningkat atau dilambangkan dengan $\sigma \propto \epsilon$. Pada rentang kedua titik ini hukum *Hooke* berlaku [11]. Atau sesuai rumus 2.9.

Pada area titik A hingga ke titik B, bahan masih pada kondisi elastis, dengan kata lain bahan dapat kembali ke bentuk asalnya ketika semua gaya atau beban yang

bekerja bahan tersebut dihilangkan, hal ini sering disebut dengan deformasi elastis. Jika material diberikan gaya melebihi titik B, maka pada kondisi ini akan terjadi perubahan bentuk secara permanen, material berada pada daerah deformasi plastis. Pada daerah deformasi plastis, regangan tidak dapat sepenuhnya hilang walaupun gaya yang bekerja telah dihilangkan. Jika gaya yang diberikan meningkat lebih jauh hingga mencapai titik C, dimana pada kondisi tersebut terjadi regangan meskipun tegangan tidak meningkat. Titik ini disebut *Yield point*. Secara aktual, terdapat dua titik *yield point* yaitu titik C dan D yang masing-masing disebut sebagai *Upper yield point* dan *Lower yield point* [11].

Regangan yang lebih lanjut, efek dari fenomena tersebut dikenal dengan *strain hardening* (Pengerasan regangan) atau *Work hardening* (pengerasan kerja). Material uji pada kondisi ini mampu menerima tegangan lebih besar. Jika gaya yang diberikan pada material semakin meningkat hingga mencapai titik E. Dimana titik E ini adalah titik tertinggi dalam kurva tegangan-regangan dan menggambarkan batas nilai tegangan maksimum yang diterima oleh material, kondisi ini sering disebut *Ultimate Tensile Strength* (UTS). Nilai *Ultimate Tensile Strength* (UTS) ini sama dengan gaya maksimum yang diberikan dibagi dengan luas penampang awal (A_0) dari spesimen uji [11]. Setelah titik E *Ultimate Tensile Strength* (UTS), terjadi pengurangan signifikan pada luas penampang material dan akan terbentuk bagian pengecilan permukaan. Jika pengurangan luas penampang material diperhitungkan, pada aktualnya nilai tegangan putus jauh lebih tinggi daripada UTS [11].

Ultimate Tensile Strength (UTS) adalah ukuran kekuatan suatu material atau tegangan yang terjadi pada titik E. Namun, pada pemilihan material untuk perancangan, titik luluh (*Yield point*) adalah hal yang menjadi pedoman, karena

material yang dipilih harus dipastikan kuat menahan gaya tanpa terjadi deformasi plastis/luluh. Kekuatan luluh material atau sering disebut tegangan luluh terletak pada titik D sering dikonversikan menjadi dua pertiga dari nilai *Ultimate Tensile Strength* (UTS). Dalam perlakuan simulasi nantinya, baik batas proporsional yang diwakili oleh angka titik luluh dan titik leleh akan diproses melalui *software ansys*.

C. Boiler

Boiler atau yang sering disebut penghasil uap (*steam generator*) adalah komponen utama dari banyak sistem yang menyusun pembangkit listrik tenaga uap [13]. Secara garis besar *boiler* tersusun atas pipa – pipa dan tabung (*drum*) yang digunakan untuk memanaskan air secara bertingkat untuk memproduksi uap dengan temperatur dan tekanan tinggi.



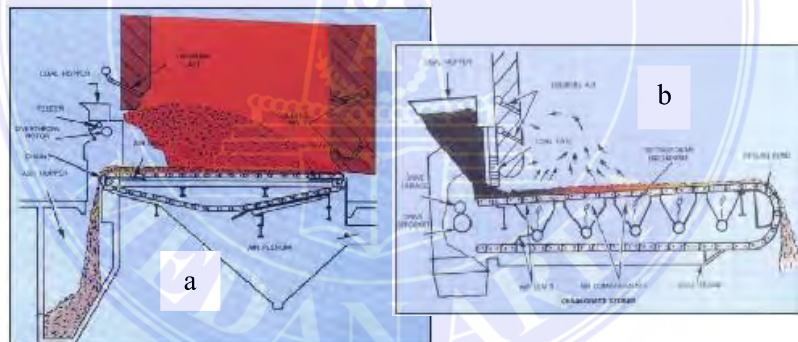
Gambar 2.7. Pipa air boiler

Berdasarkan jenis *furnace*-nya, *boiler* dibedakan menjadi 3 jenis, mulai dari *Boiler Pulverized Coal* yang dikenal sebagai *boiler* yang menghaluskan batubara hingga berukuran halus untuk langsung diinjeksikan ke dalam ruang bakar bersama udara secara *turbulen*, kemudian *Boiler Circulating Fluidize Bed* yang melakukan sirkulasi batubara didalam ruang bakar saat proses pembakaran, dan *Boiler Stoker*, jenis *boiler* paling konvensional yang masih menggunakan media *traveling grate* sebagai tempat menumpuknya batubara yang dibakar. Karena dalam tulisan ini

yang dibahas adalah komponen *traveling grate* yang merupakan komponen dari *boiler stoker*, maka penulis hanya akan memaparkan *boiler stoker* beserta komponen-komponennya.

1. Boiler Stoker

Boiler stoker adalah salah satu teknologi tertua yang telah digunakan sejak awal abad kedua puluh [14]. Revolusi industri 1.0 ditandai dengan penggunaan ketel jenis ini. *Boiler* jenis ini terbilang paling konvensional dengan batubara sebagai bahan bakar utama. Namun, tidak hanya terbatas pada batubara, *boiler* ini juga dapat menggunakan bahan bakar biomassa, seperti kayu, cangkang kelapa, dan jenis bahan biomassa lainnya. Ada beberapa macam *boiler stoker* yang sering dioperasikan, namun secara umum *boiler stoker* pasti mempunyai *traveling grate*, yang berfungsi sebagai tempat pembakaran batubara.

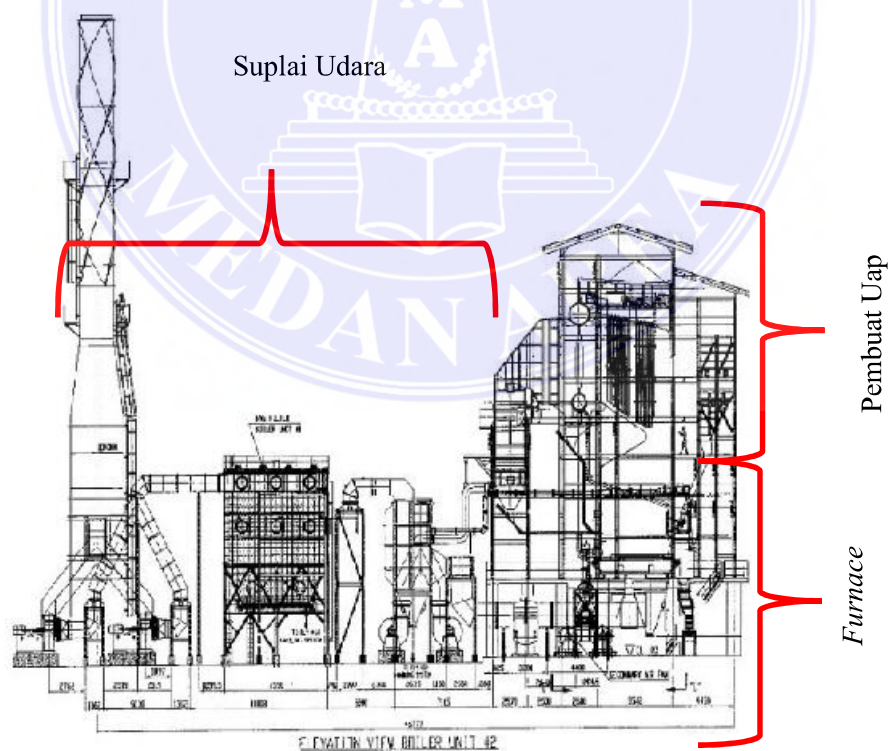


Gambar 2.8. (a.) Suplai batubara pelontar (b.) Suplai batubara manual

Untuk suplai batubara sendiri biasanya *boiler stoker* mempunyai dua jenis alat, yang pertama adalah suplai batubara manual yang memanfaatkan gravitasi dan bukaan katup ataupun *coal gate* sebagai jalan masuk bahan bakar ke ruang bakar, dan yang kedua menggunakan pelontar batubara secara mekanis atau yang sering disebut dengan *mechanical spreader*, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.8. [15].

Keuntungan suplai manual adalah lebih sedikitnya listrik yang dipakai untuk menghidupkan peralatan operasional, sedangkan keuntungan suplai melalui pelontar adalah suplai yang lebih merata ke segala sisi, dan akselerasi pembuatan uap lebih cepat tercapai.

Menurut fungsinya, komponen pada *boiler* dapat diklasifikasikan menjadi 3 jenis, yaitu komponen *furnace* yang digunakan sebagai peralatan pembakaran batubara, komponen suplai udara yang digunakan untuk mengatur udara bakar, membuat turbulensi udara, dan pembuangan *fly ash*, dan komponen pembuat uap yang berguna untuk mengubah fase fluida cair menjadi fluida bertekanan dengan panas dan tahapan tertentu [15] [16], seperti yang bisa dilihat pada gambar 2.9. tentang susunan peralatan *boiler*. adapun detail dari klasifikasi komponen – komponen tersebut dapat dideskripsikan secara detail sebagai berikut.

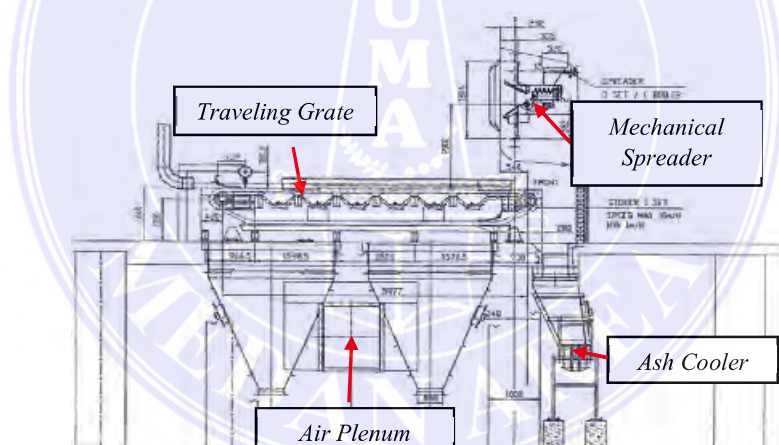


Gambar 2.9. *Boiler stoker arrangement*

a. Komponen *Furnace*

Komponen *furnace* adalah susunan peralatan penyusun ruang bakar dengan fungsi sebagai tempat pembakaran batubara [15] [16]. Adapun hasil pembakaran ini adalah udara panas yang akan dialirkan untuk memanaskan air dan mengubah fasanya menjadi uap bertekanan. Adanya kendala di komponen *furnace* dapat menjadikan unit menambah jam *outage*-nya. Karena perbaikan tidak bisa dilakukan saat unit sedang beroperasi. Hal ini akan membuat bagian *furnace* menjadi salah satu fokus utama.

Komponen komponen penyusun *furnace* ini adalah *traveling grate*, *air plenum*, *ash cooler*, *mechanical spreader*, dan *damper traveling grate* sesuai gambar 2.10. yang ada dibawah ini.



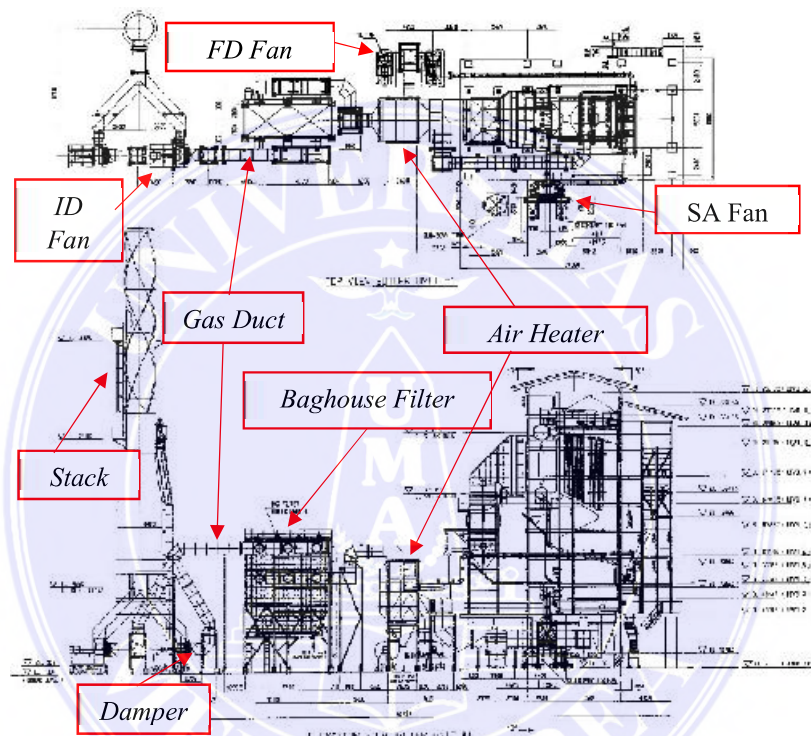
Gambar 2.10. Komponen *furnace*

b. Komponen Suplai Udara

Komponen suplai udara adalah susunan peralatan yang berfungsi sebagai pengkondisian udara di dalam ruang bakar [15] [16]. Adapun produk hasil kerja susunan peralatan ini adalah mengatur udara masuk dan udara keluar yang ada didalam ruang bakar dan menciptakan keadaan vakum dari -130 mmHg (maksimal)

hingga 0 mmHg (*initial start up*). Komponen ini memegang peran penting bagi proses pembakaran.

Komponen – komponen suplai udara ini adalah *ID Fan*, *SA Fan*, *FD Fan*, *Air Ducting*, *Instrument Damper*, *Flue Gas Duct*, *Air Heater*, *Baghouse Filter*, dan *Stack* sesuai gambar 2.11. berikut ini.



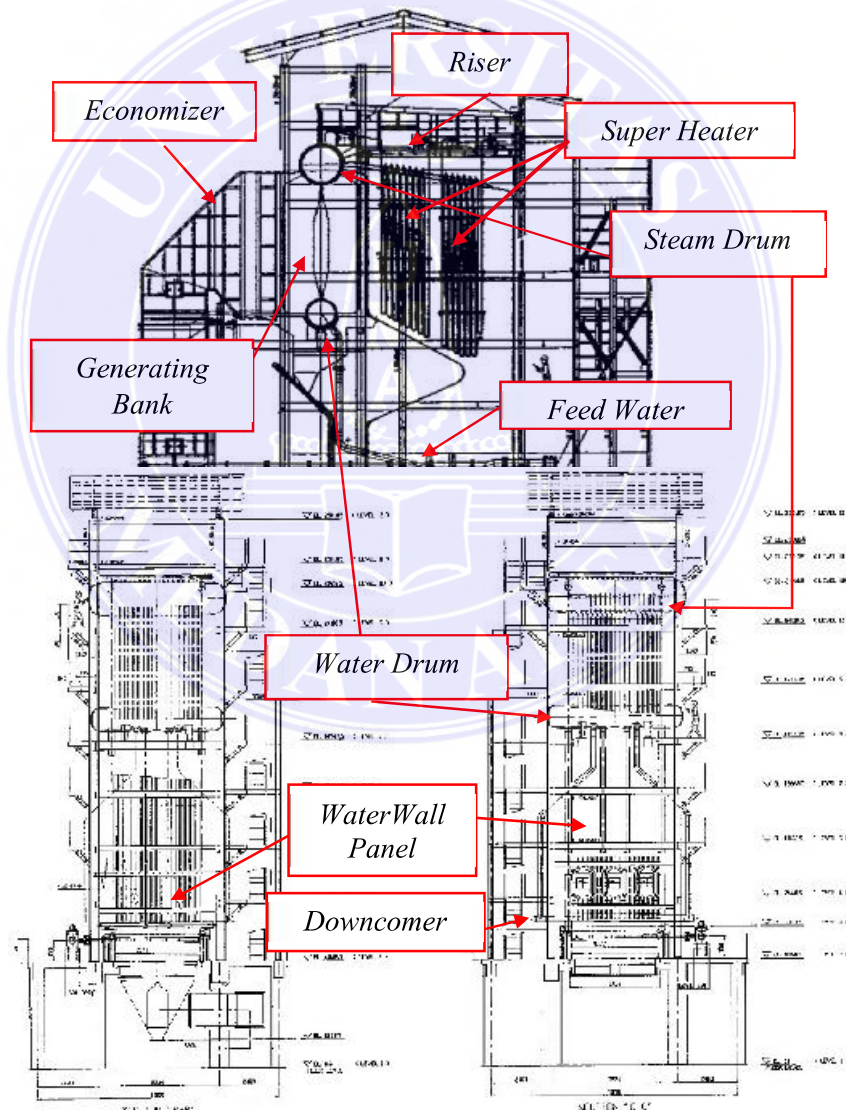
Gambar 2.11. Komponen suplai udara

c. Komponen Pembuat Uap

Komponen pembuat uap adalah susunan pipa – pipa yang berfungsi sebagai tempat media penampung air dan tempat berubahnya fasa air menjadi uap bertekanan ketika dipanaskan dengan udara panas dari *furnace* [15] [16]. Adapun produk hasil kerja susunan peralatan ini adalah uap *superheated* dengan tekanan 53 bar dan temperatur 520°C. Karena bagian komponen ini mendapat paparan

langsung dari udara panas, maka untuk menunjang alasan *safety*, setiap kendala utama bagian ini sebagian besar harus diperbaiki saat unit padam.

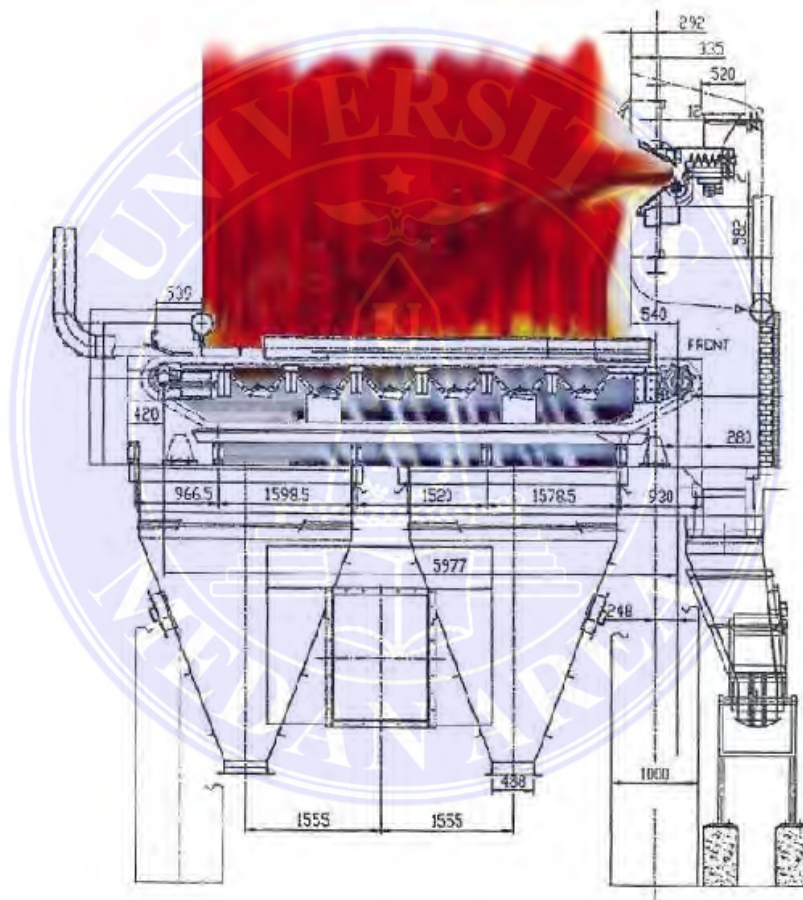
Komponen – komponen suplai udara ini adalah *Feed Water Line*, *MOV inlet*, *Steam Drum*, *Water Drum*, *Generating Bank*, *Downcomer*, *Header*, *Water Wall Panel*, *Riser*, *Superheater dual stage*, *Mechanical Safety Valve*, *Venting*, *MOV Mainsteam*, dan *Mainsteam Pipe furnace* [15], seperti yang dapat ditunjukkan gambar 2.12. berikut ini.



Gambar 2.12. Komponen pembuat uap

2. Prinsip Kerja *Boiler Stoker*

Sistem pembakaran di *boiler* ini sangat sederhana, yaitu dengan melontarkan batubara ke ruang bakar lalu membakarnya di *travelling grate* yang berputar sangat pelan, putaran yang lama ini mempunyai tujuan agar batubara telah terbakar dengan sempurna saat batubara berada di ujung dari *travelling grate* seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut 2.13. berikut ini.



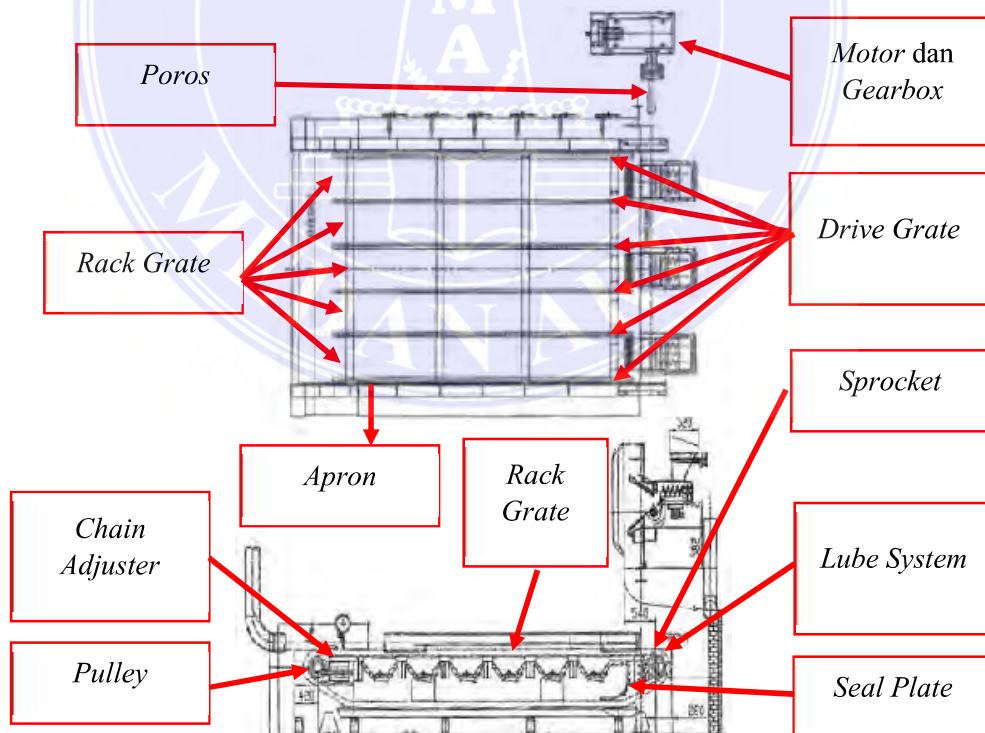
Gambar 2.13. Prinsip kerja *boiler stoker*

Pembakaran batubara di bantu oleh tiga buah jenis kipas, kipas pertama adalah *force draft fan*, berfungsi untuk mengalirkan udara bakar dari luar ke dalam ruang bakar. Kipas kedua adalah *secondary air fan* yang berfungsi untuk memberikan turbulensi pada udara panas yang ada di ruang bakar, agar udara panas

yang ada di dalam *boiler* dapat didistribusikan ke pipa – pipa air di *boiler*. Kipas yang ketiga adalah *induced draft fan*, kipas ini berfungsi untuk membuat ruang bakar vakum dan menarik seluruh gas buang ke cerobong serta mengarahkan udara panas ke arah pipa – pipa air di *boiler*. Pada pipa – pipa *boiler* inilah nantinya air akan dirubah menjadi uap bertekanan tinggi dengan pemanasan bertahap. Uap yang telah diproduksi akan didistribusikan ke *turbine* lewat *steam pipe* yang dilengkapi *valve electric*, *valve manual* dan *safety valve* [15] [17].

3. Komponen *Traveling Grate*

Sesuai dengan permasalahan yang ingin diangkat oleh judul maka penulis ingin mendeskripsikan komponen yang bermasalah yaitu *traveling grate*. *Traveling grate* adalah suatu komponen vital yang terpasang di dalam *furnace*, item ini berfungsi sebagai media tapak tempat pembakaran batubara.

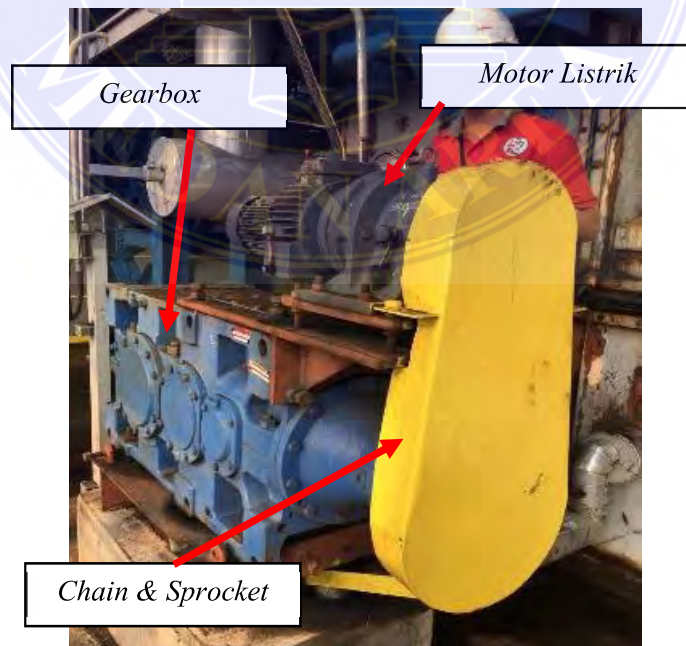


Gambar 2.14. Komponen *traveling grate* (Lampiran 1)

Komponen ini digerakkan oleh sebuah motor yang dibantu oleh *gearbox* yang mengkonversikan putaran *traveling grate* menjadi 1 meter dalam satu jam pada putaran paling cepat dan 10 meter dalam 1 jam. Adapun fungsi dari lamanya putaran ini adalah agar pembakaran batubara yang dilakukan diatas *traveling grate* tercapai sempurna sebelum batubara masuk ke *ash cooler*. *Traveling grate* tersusun atas beberapa komponen, diantara adalah Motor, *Gearbox*, Poros, *Lubrication system*, *Sprocket & Pulley*, *Seal Plate*, *Chain Adjuster*, *Apron*, *Rack Grate*, dan *Driving Grate* seperti yang terlihat di gambar 2.14. dihalaman sebelumnya. Adapun detail rinci fungsi komponen – komponen *traveling grate* adalah sebagai berikut;

a. Motor Listrik

Motor listrik adalah alat penggerak yang yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Dalam operasionalnya, motor listrik akan dihubungkan dengan *gearbox* dengan seperangkat alat pemindah daya berjenis *chain & sprocket* seperti pada gambar 2.15.



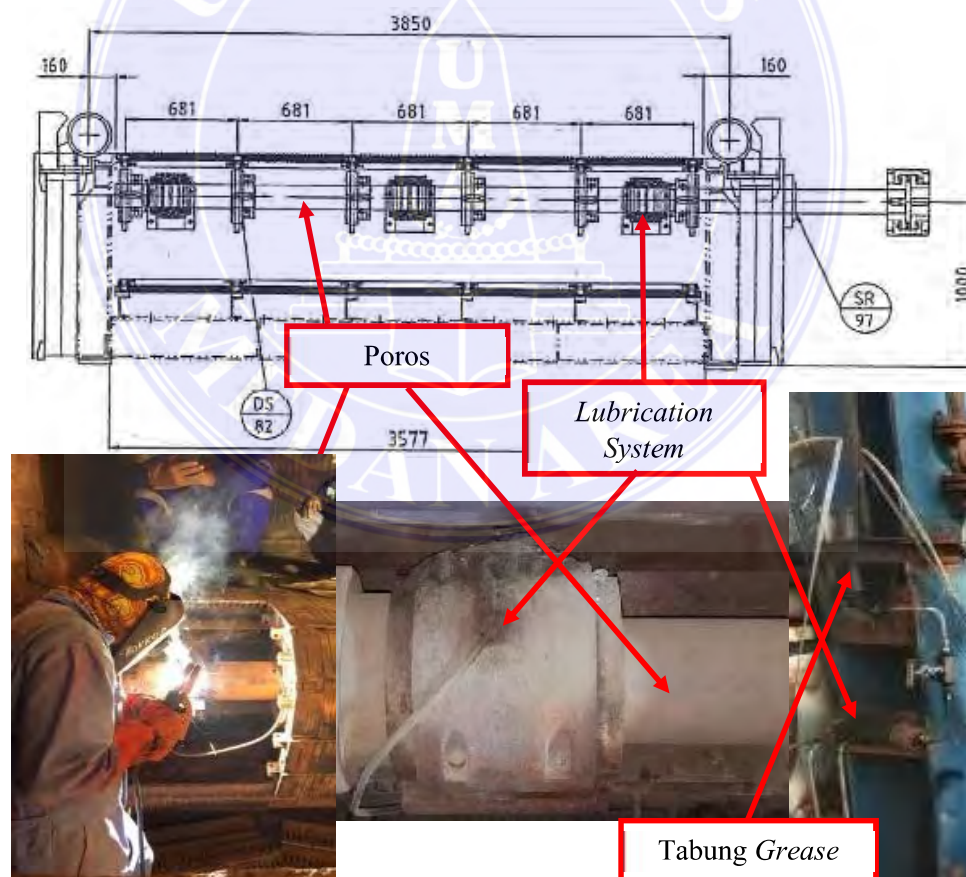
Gambar 2.15. Motor listrik dan *gearbox*

b. Gearbox

Gearbox adalah suatu komponen yang tersusun dari kumpulan roda gigi yang berfungsi sebagai alat pemindah tenaga. Selain dari memindahkan tenaga komponen ini juga difungsikan sebagai alat untuk mengurangi dan mempercepat putaran dari *traveling grate*. Gambar *gearbox* dapat dilihat pada gambar 2.15.

c. Poros

Poros adalah mesin yang berbentuk batang dan umumnya berpenampang lingkaran, berfungsi untuk memindahkan putaran atau mendukung sesuatu beban dengan atau tanpa meneruskan daya. Poros pada *traveling grate* dapat dilihat di gambar 2.16.



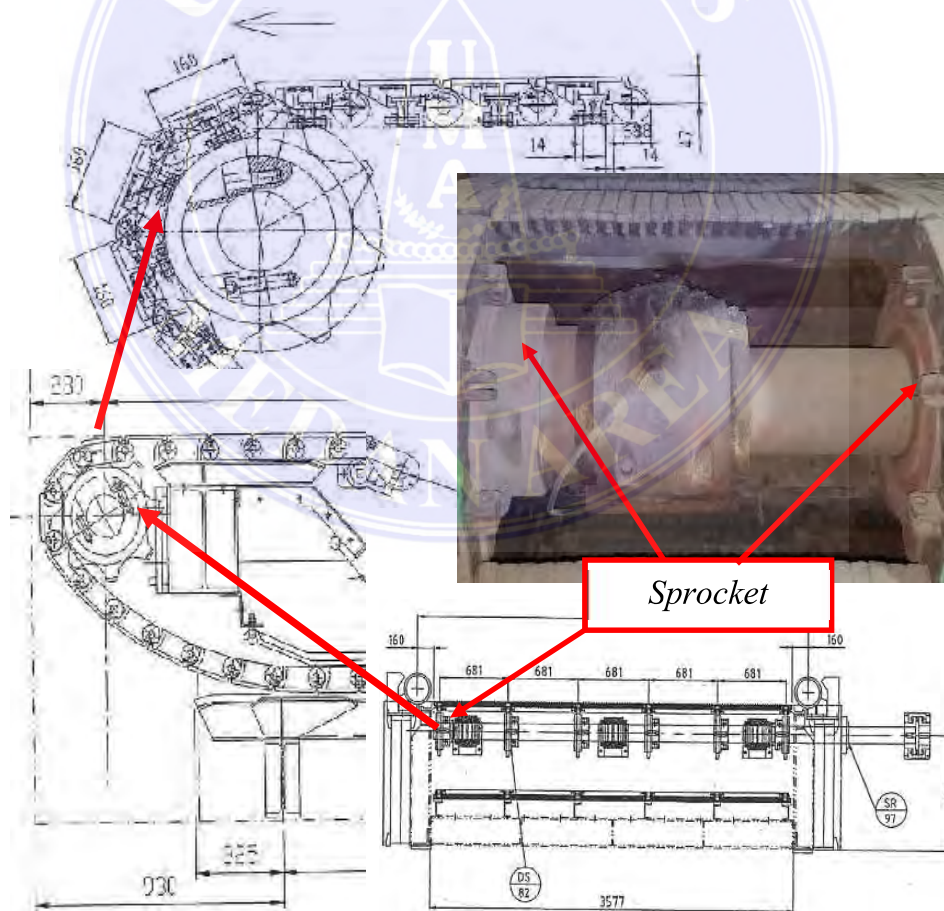
Gambar 2.16. Poros dan *lubrication system*

d. *Lubrication System*

Lubrication system adalah komponen pada *boiler* yang berfungsi sebagai alat yang memberi perlindungan komponen *bearing* dalam bentuk pelumasan. Jenis pelumas yang dipakai di sistem ini adalah *grease* seperti yang terlihat di gambar 2.16.

e. *Sprocket*

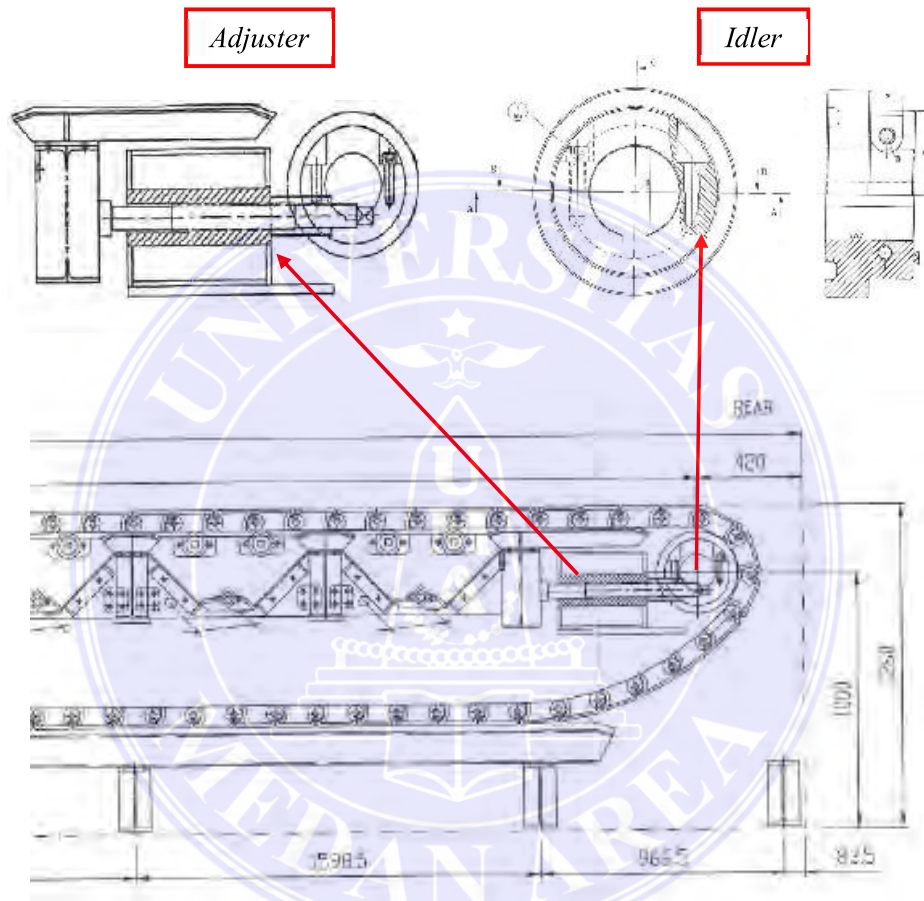
Sprocket adalah komponen pada *boiler* yang berfungsi sebagai alat pemindah tenaga. Berbentuk lingkaran pipih dan mempunyai gigi dan terhubung dengan *drive rack*. Dalam sebuah sistem *traveling grate* terpasang 6 buah *sprocket* seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.17. berikut ini.



Gambar 2.17. *Sprocket*

f. *Idler*

Idler adalah komponen pada *boiler* yang berfungsi sebagai alat pemindah tenaga dari *drive rack* ke poros belakang *traveling grate*. Komponen idler dapat dilihat di gambar 2.18. berikut ini.



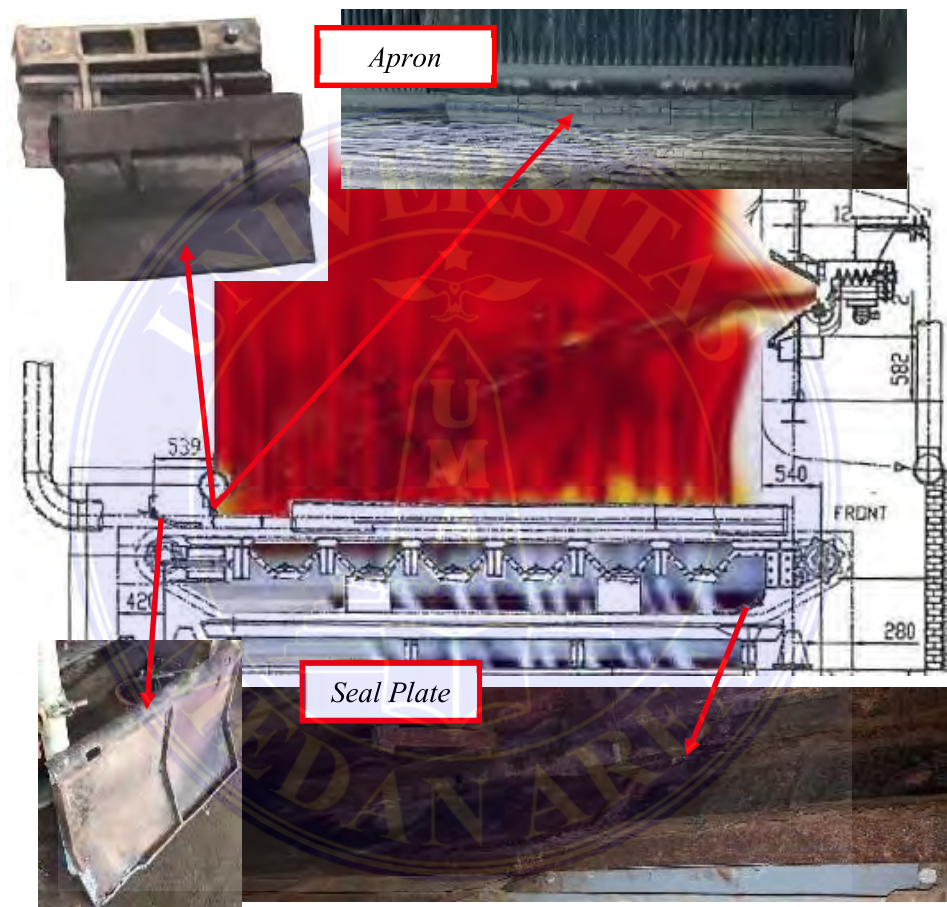
Gambar 2.18. *Idler* dan *chain adjuster*

g. *Chain Adjuster*

Chain adjuster adalah alat yang berfungsi untuk mengatur tingkat kekencangan *traveling grate*. Benda ini akan selalu digunakan saat perawatan dilakukan. Letak benda ini adalah di belakang *traveling grate* di dekat *idler* dan dilengkapi dengan *frame* baja yang akan menarik dan mengendurkan untai *rack grate* ketika ulirnya diputar seperti yang ditunjukkan di gambar 2.18.

h. *Seal Plate*

Seal plate adalah alat untuk menjaga udara agar tetap terfokus dengan arahnya agar *heat-loss* dapat diminimalisir, selain itu komponen ini juga berfungsi sebagai alat pengatur kerataan *rack grate* saat posisi *rack grate* terbuka atau tidak rata. Posisi *seal plate* dapat dilihat pada gambar 2.19.

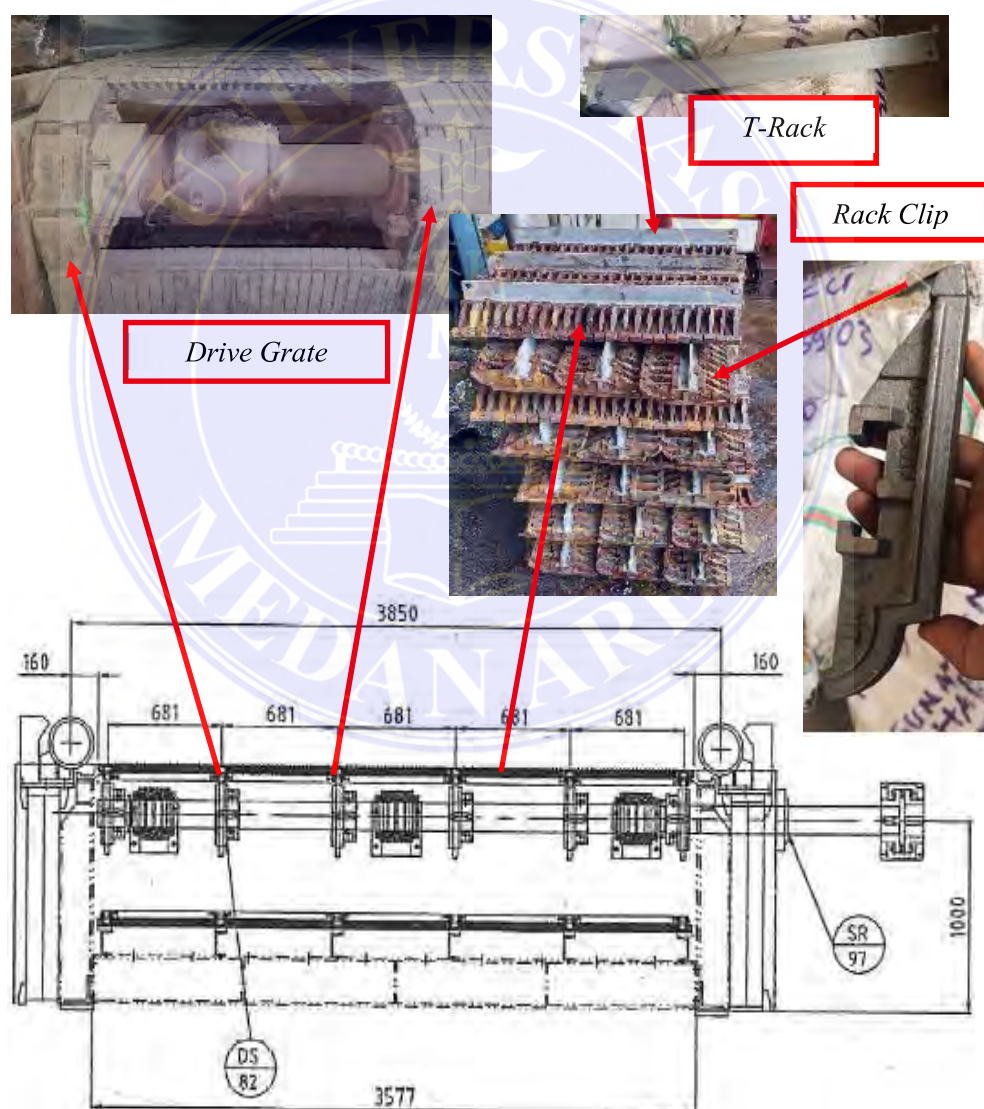
Gambar 2.19. *Seal plate* dan *apron*i. *Apron*

Apron adalah komponen ini juga berfungsi sebagai alat pengatur kerataan *rack grate* saat posisi *rack grate* terbuka atau tidak rata. Alat ini juga digunakan sebagai pengarah udara agar tetap terfokus dengan arahnya, lebih lanjut untuk meminimalisir kejadian *heat-loss* pada *boiler*. Selain itu komponen ini juga

berfungsi sebagai tameng agar batubara tidak lolos ke arah belakang *boiler* sesuai dengan posisinya yang berhadapan langsung dengan lontaran batubara, posisi benda ini dapat dilihat digambar 2.19.

j. *Drive Grate*

Drive grate adalah bagian di dalam *boiler* yang berfungsi sebagai penghubung jalinan *rack grate* dan sebagai penerus tenaga dari *sprocket* ke *pulley*. Posisi benda dapat dilihat di gambar 2.20.



Gambar 2.20. *Rack grate* dan *drive grate*

k. *Rack Grate*

Rack grate adalah komponen yang tersusun dari jalinan *rack clip* dan *t-rack* yang berfungsi sebagai media penampang tempat jatuhnya hasil pelontaran batubara, dan tempat dibakarnya batubara dalam *furnace* sesuai dengan gambar 2.20.

D. Konsep Penelitian

Penelitian ini diharapkan akan menjadi tolak ukur dari penelitian yang akan datang. Maka, untuk menambah dan sarana khazanah dalam referensi penulisan, hasil penelitian dan perlakuan pada metode pelaksanaan penelitian akan diadaptasi beberapa jurnal sejenis yang telah mendapat label jurnal *quartile* satu. Seperti pada *list* jurnal berikut ini;

1. *Analysis of composite leaf spring using ANSYS software*, jurnal tahun 2020, karya K. S. ashraff ali, D. joseph manuel, M. balamurugan, dan M. sangili murugan, tentang analisis gaya dan tegangan pada pegas daun yang umumnya ditemukan di kendaraan mobil, menggunakan bahan pegas material komposit yang diperkuat polimer dengan spesifikasi titik luluh 900 MPa [18].
2. *Fatigue fracture analysis of the semi-auto shotgun mechanism by using finite element analysis and experimental setup*, jurnal tahun 2020, karya Yasar sen, tentang analisis *fatigue fracture* pada komponen *locking block* di senjata *shotgun* semi-otomatis yang menggunakan bahan AISI 4340 *steel* [19].
3. *Fatigue and thermal stress analysis of submerged steel pipes using ANSYS software*, jurnal tahun 2019, karya Eyad raafat, Ahmed nassef, Medhat el-hadek, dan Abba el-megharbel, tentang analisis *fatigue* dan *thermal stress* pada pipa laut

dengan 3 lapis bahan yaitu lapisan dalam memakai bahan X70 *steel*, lapisan tengah memakai bahan 3-Layer *Polypropylene* (3LPP), dan lapisan terluar memakai bahan beton [12].

4. *Modeling and stress analysis of aluminium alloy based composite pressure vessel through ANSYS software*, jurnal tahun 2020, karya V. mohanaivel, S. prasath, M. arunkumar, G. M. pradeep, S. surendra babu, tentang analisis tegangan di bejana tekan dengan bahan *Aluminium Alloy* Al 6082 [20].
5. *Thermomechanical Analysis of Composite Plates Curing Process Using ANSYS Composite Cure Simulation*, jurnal tahun 2019, karya Ameya S. patil, Reza moheimani, dan Hamid dalir, tentang analisis termomekanik dengan material komposit tipe *Hexcel* AS4-8552 [21].
6. *Deformation and fracture of cylindrical tubes under detonation loading: A review of numerical and experimental analyses*, jurnal tahun 2019, karya Mohammad Malekan, Ali Khosravi, dan Carlos A. Cimini Jr., tentang deformasi dan patahan pada pipa, dan beberapa jurnal lain yang tidak menyebutkan material yang digunakan saat simulasi.

Beberapa jurnal diatas akan menjadi patokan kami dalam membuat simulasi dan dalam melakukan analisis. Penelitian ini menggunakan beberapa formulasi perhitungan yaitu menggunakan rumus 2.2, 2.5, dan 2.18, setelah itu akan dibandingkan dengan hasil simulasi *software*. Dalam proses simulasi material yaitu *Autodesk Inventor* 2019 dan *Ansys Workbench* untuk membuat gambar CAD dan melakukan simulasi pengaruh panas, pengaruh beban, dan kombinasi pengaruh panas dan beban. Dari simulasi ini akan dilihat titik kritis dan penyebab terjadinya kerusakan pada komponen.

E. Analisis Simulasi

Dalam membuat simulasi ada beberapa aspek yang perlu diperhatikan, sebut saja *software* permodelan dalam hal ini yang kami pakai adalah *Autodesk Inventor*, *software* simulasi yaitu *Ansys Workbench*, pencarian data material lengkap dengan sifat materialnya, dan proses *benchmarking*. Aspek – aspek ini perlu diketahui fitur, fungsi, cara penggunaan untuk aspek *software*. Dimana mencari info material yang dipakai pada komponen beserta sifatnya yang diperlukan untuk simulasi. Serta proses membandingkan hasil perhitungan secara empiris, hasil simulasi, dan kerusakan aktual yang terjadi dilapangan. Beberapa aspek tersebut akan dibahas sebagai berikut.

1. *Software* Permodelan dan Simulasi

a. *Autodesk Inventor*

Autodesk Inventor versi 2019 dengan *student license* adalah *software* kami gunakan untuk membuat permodelan *solid* dari *rack grate* dan *drive grate*. *Software* ini sendiri mempunyai fitur parametrik, yaitu fitur yang memungkinkan operator memodifikasi semua bagian antar geometri tanpa harus menggambar dari awal. Kami gunakan *software* ini karena *software* ini salah satu permodelan yang paling dasar yang diajarkan di seluruh perguruan tinggi di Indonesia dan fiturnya sangat memudahkan saat proses *modeling* serta tidak memerlukan spesifikasi komputer yang tinggi dalam operasinya dengan hasil kapasitas *file* format penyimpanan yang relatif kecil diantara pesaingnya.

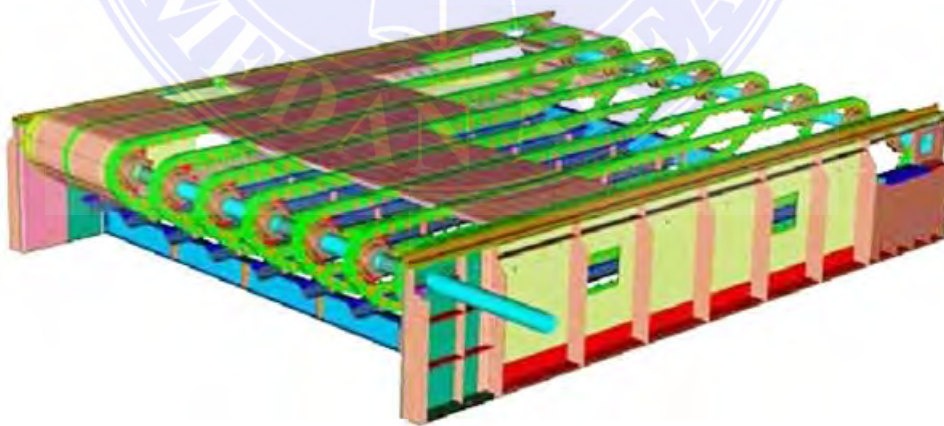
Selanjutnya yang menjadi pertimbangan *software* ini adalah adanya dukungan integrasi untuk melakukan simulasi hasil permodelan dari *Inventor* ke

software Ansys WorkBench dengan parameter simulasi yang cukup lengkap. Dengan tetap ketika satu *part* diubah, maka semua *file* akan ter-update.

b. *Ansys Workbench*

Ansys dengan *student license* adalah *software* yang kami gunakan untuk melakukan simulasi yang dapat mengimplementasikan perambatan panas dan pengaruh gaya. Simulasi akan dilakukan ke model CAD yang telah dibuat dengan *software Autodesk Inventor* dengan menambahkan parameter – parameter yang diperlukan dari analisis gaya dan analisis perpindahan panas yang telah dilakukan sebelumnya pada bab ini. Hasilnya adalah gambar simulasi yang telah dilengkapi dengan sebaran warna *finite element analysis* di tiap ukuran panjang.

Untuk mendapatkan sifat material yang tepat dan presisi akan dilakukan proses ekstraksi dari *file* CAD yang dibuat menggunakan *Autodesk Inventor* seperti yang ada di gambar 2.21., yang kemudian diimpor ke *platform Ansys WorkBench* untuk membuat dan mendapat jenis bahan yang tepat dalam membuat model *mesh solid* [21].



Gambar 2.21. CAD *traveling grate*

Pembuatan *mesh* merupakan langkah penting dalam simulasi elemen hingga apapun. Dalam analisis tegangan dan perpindahan panas elemen hingga mengetahui

apakah *key-stresses* telah terpusat dan memeriksa apakah mereka terintegrasi dengan tingkat presisi yang masuk akal sangatlah penting. Ukuran *mesh* yang sesuai harus digunakan dengan memperhatikan bentuk dan ukuran elemen untuk mendapatkan hasil yang konsisten saat menggunakan *Finite Element Method* (FEM) [21] [19]. *Ansys Workbench* menganalisis gaya yang bekerja dan perpindahan panas pada bagian komponen yang digabungkan ke dalam pengaturan simulasi. Data material dan data variabel pendukung yang diperlukan untuk simulasi dimasukkan ke dalam *engineering data unit*. Data termal dan pengeringan kemudian dimasukkan ke dalam *structural data unit*, dengan asumsi distribusi suhu yang merata. Solusi cepat ini dapat diterapkan pada tahap desain awal untuk penilaian cepat parameter proses [21] [12].

2. Spesifikasi Material dan Sifat Material

Melihat dari jenis kerusakan yang ada, yaitu kerusakan terjadi pada bagian *rack grate* maka dikonsepsikan bahwa simulasi yang akan dilakukan di bagian komponen yang langsung berinteraksi langsung dengan komponen *rack grate*. Untuk memastikan hasil simulasi konvergen dan sesuai dengan actual maka, sumber data spesifikasi material beserta sifat materialnya adalah hal yang dianggap perlu, berikut ini akan dijelaskan sumber pengambilan data tersebut.

a. Spesifikasi Material

Komponen yang ingin diteliti kerusakannya adalah sebuah *traveling grate* yang digunakan untuk *boiler* dengan kapasitas produksi uap bersih 38,100 Ton/Jam yang bisa membangkitkan listrik pada dengan turbin hingga 10 MW. Untuk melakukan penelitian tentang kerusakan komponen diperlukan data untuk setiap komponen yang berkontak langsung dengan komponen yang rusak. Selain itu juga

akan diperhitungkan untuk ketebalan isolasi panas alami dari sistem yaitu *ash layer*, yang mempunyai standar ketebalan 75 mm – 150 mm. Data material yang dipakai dapat dilihat sebagai berikut;

Tabel 2.1. Komponen dan bahan baku

No.	Komponen	Bahan
1.	<i>Driving Grate</i>	FCD 45
2.	<i>Bolts & Nut Driving Grate</i>	FCD 45
3.	<i>Grate Clip</i>	FCD 45
4.	<i>Grate Rack</i>	SS 400
5.	<i>Bolts & Nut Grate Rack</i>	S 35 C
6.	<i>Pin Grate Rack</i>	SS 400
7.	<i>Apron</i>	SCH 11
8.	<i>Apron Bracket</i>	SCH 11
9.	<i>Bolts, Nut, & Washer Apron</i>	SUS 304
10.	<i>Seal Plate</i>	FC 25
11.	<i>Seal Plate Spindle</i>	SS 400
12.	<i>Seal Plate Pin</i>	SS 400

Sumber: *Manufacture Drawing*

Spesifikasi komponen tersebut kami dapatkan pada *material data record*, *material data sheet*, dan *manufacture drawing*.

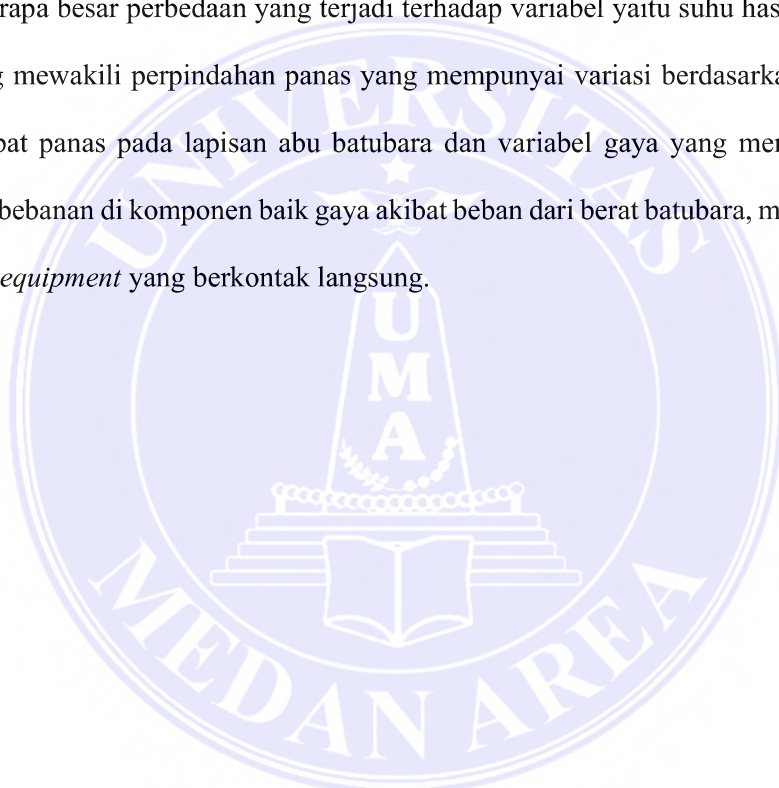
b. Sifat Material

Material yang menjadi bahan baku komponen pasti mempunyai sifat yang selaras dengan tujuan pembuatan komponen, misalkan tahan dalam temperatur tertentu ataupun kuat menahan gaya tarik sangat tinggi [19] [21]. Untuk itu penulis berusaha mengumpulkan data mengenai material yang menjadi bahan baku pembuatan komponen agar proses analisis lanjutan bisa presisi, detail sifat material dapat dilihat pada Lampiran II pada tulisan ini. Data tersebut diambil dari tabel material dan *handbook* yang memuat tentang sifat material.

3. Proses *Benchmarking*

Proses *benchmarking* merupakan proses yang sangat penting karena kita akan mengetahui letak perbedaan antara yang signifikan dan yang tidak signifikan di

kerja sistem dengan metode ataupun komponen yang berbeda. *Benchmarking* atau suatu upaya perbandingan sangat penting dalam memverifikasi hasil, mengkomparasi masalah, dan memfiltrasi penyebab yang ada secara teoritis dan praktis [19]. Dalam penelitian ini, variabel yang akan dibandingkan adalah komponen dengan ukuran gambar dan ukuran aktual terpasang baik ukuran terkecil, terbesar, maupun rata – rata dari keseluruhan ukuran. Selanjutnya akan dilihat seberapa besar perbedaan yang terjadi terhadap variabel yaitu suhu hasil rambatan yang mewakili perpindahan panas yang mempunyai variasi berdasarkan hitungan rambat panas pada lapisan abu batubara dan variabel gaya yang mempengaruhi pembebanan di komponen baik gaya akibat beban dari berat batubara, maupun gaya dari *equipment* yang berkontak langsung.



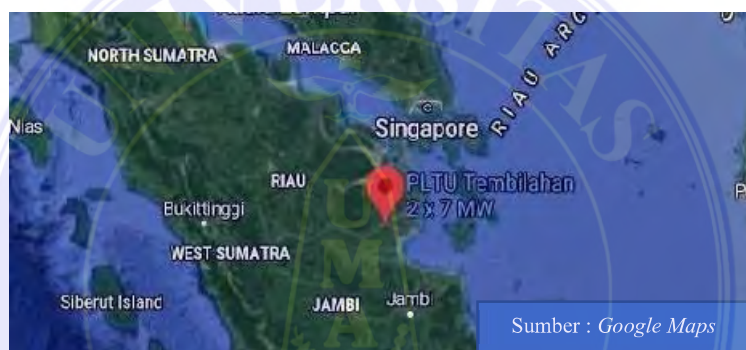
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu

1. Tempat

Penelitian ini dilaksanakan di PLTU Tembilahan 2x7 MW yang berlokasi di alamat Jalan Terusan Mas Parit 23, Kota Tembilahan, Kabupaten Indragiri Hilir, Provinsi Riau seperti terlihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Lokasi penelitian

2. Waktu

Penelitian ini mulai dilaksanakan pada bulan Maret 2021, dengan detail jadwal tugas akhir dapat dilihat dalam data tabel 3.1. sebagai berikut:

Tabel 3.1. Jadwal penelitian

Aktifitas	2020		2021						
	Des	Jan-Feb	Mar-Apr	Mei-Jun	Jul-Agu	Sept	Okt	Nov	
Pengajuan Judul									
Penyelesaian Proposal									
Seminar Proposal									
Pengumpulan Data									
Analisis data									
Seminar Hasil									
Sidang Sarjana									

B. Alat dan Bahan

1. Alat

Berikut ini adalah alat yang digunakan dalam penelitian;

a. Unit *Boiler* Stoker

Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian adalah unit *Boiler*, dan fokus penelitian akan didetailkan pada komponen *traveling grate* di ruang bakar serta komponen penunjang kerja ruang bakar secara umum, seperti *mechanical spreader*, *apron*, dan *seal plate*. Perlu di ingat bahwa boiler ini mempunyai jenis ruang bakar yang sama dengan *boiler* pada PLTU Maluku Utara, PLTU Tanjung Balai Karimun, dan PLTU Ropa dengan gambar dan statement yang ditampilkan pada lampiran.



Gambar 3.2. *Boiler stoker*

Unit ini digunakan untuk melakukan proses pembakaran batubara untuk proses pemanasan air yang akan menghasilkan uap bertekanan. Spesifikasi *boiler* yang digunakan dalam penelitian ini adalah;

Tabel 3.2. Spesifikasi *boiler*

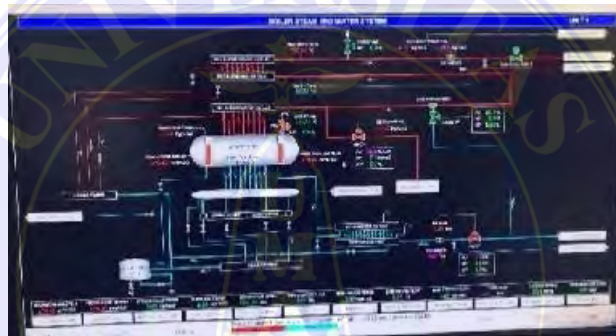
No	Komponen	Nilai
1.	Kapasitas Produksi Uap pada <i>Boiler</i>	38,100 T/h
2.	Penyuplai Bahan Bakar	3 <i>Spreader</i>
3.	Temperatur Uap	375°C
4.	Tekanan Uap	53 Bar
5.	Kapasitas Bersih Produksi Listrik	7630 kW
6.	Kapasitas Minimal Produksi Listrik	3920 kW

Sumber : *Contract Book* PLTU Tembilahan 2×7 MW

Dengan spesifikasi *traveling grate boiler* akan ditampilkan di bagian lampiran.

b. Instrumentasi Pembangkit (*Honeywell Software*)

Instrumentasi pembangkit adalah serangkaian alat yang digunakan untuk mengukur parameter yang diperlukan dalam pengawasan dan kontrol operasi pembangkit. dalam proses pengambilan data primer, instrumentasi yang digunakan adalah instrumentasi digital yang ditampilkan di ruang *central control room* lewat sebuah *software* yang mempermudah pembacaan seluruh parameter di pembangkit, *software* yang dipakai adalah *Distributed Control System* dengan *Honeywell* sebagai *developer software* tersebut.



Gambar 3.3. DCS dan local instrument

c. Temperatur Transmitter dan Pressure Transmitter

Temperatur transmitter digunakan untuk mengukur suhu di *furnace*, *compartment boiler*, area suplai udara, dan area peralihan. Sedangkan *pressure transmitter* digunakan untuk mengukur tekanan udara setelah ruang bakar dan daerah suplai udara.



Gambar 3.4. Temperature Transmitter dan Pressure Transmitter

d. Level Transmitter

Level Transmitter akan digunakan sebagai pengukur ketebalan batubara.



Gambar 3.5. *Level Transmitter*

e. Komputer

Komputer yang digunakan dalam proses penelitian ini adalah jenis komputer jinjing atau yang sering disebut laptop, ini dimaksudkan untuk memudahkan proses pencatatan data, hemat daya, dan bisa digunakan saat ada gangguan listrik. Adapun spesifikasi komputer tersebut adalah sebagai berikut;

Tabel 3.3. Spesifikasi Komputer

Item	Spesifikasi
<i>Processor</i>	Intel(R) Core (TM) i5-4200M CPU @ 2.50GHz
<i>Graphic Card</i>	-. NVIDIA GeForce 2 GB GDDR5 -. Intel® HD Graphics 4200
RAM	16 GB DDR3L
Monitor	Dell 60 Hz 72 NTSC



Gambar 3.6. Laptop

f. *Software* Permodelan dan Simulasi

Software engineering yang dipakai dalam penelitian ini adalah *Autodesk Inventor 2019* dengan *student license* untuk permodelan, dan *Ansys Workbench 2021 R1 Academic* untuk simulasi. Hal ini disebabkan oleh fitur yang ada dalam kedua *software* tersebut sangat banyak untuk berbagai simulasi dari mulai struktur hingga aliran fluida dan *interface* yang sangat mudah dipelajari serta digunakan.

2. Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini dibedakan menjadi dua macam yaitu bahan yang dipakai operasi pembangkit untuk pengambilan data primer dan bahan literatur untuk pengambilan data sekunder, dengan detail sebagai berikut;

a. Batubara

Batubara merupakan bahan bakar yang akan digunakan untuk operasi pembangkit listrik tenaga uap. Untuk detailnya kalori bahan bakar yang dipakai untuk operasi untuk pembangkit adalah $3800 \text{ kcal} - 4200 \text{ kcal}$ [16], dapat dikatakan sebagai batubara *low rank*.



Gambar 3.7. Batubara

b. Bahan Pendukung

Bahan pendukung merupakan bahan yang digunakan untuk produksi dan operasi pembangkit yaitu seperti oli, bahan kimia, bensin, kayu, dan lain – lain. Bahan ini digunakan untuk efektifitas dan kelangsungan operasi unit dan komponen.



Gambar 3.8. Oli dan bahan kimia

C. Metode Penelitian

Metode penelitian yang dipakai dalam pelaksanaan pengambilan data adalah metode studi literatur dan metode observasi langsung dengan rincian sebagai berikut;

1. Metode Studi Literatur

Studi literatur dipakai untuk mendapatkan data tinjauan literatur dan data – data penelitian sekunder. Data tinjauan literatur yang bersifat fundamental seperti definisi menurut para ahli, rumus – rumus baku, data *engineering*, ataupun jurnal yang berisi tentang penelitian sejenis dengan material berbeda akan dijadikan

pedoman dan panduan dasar. Sedangkan, data – data penelitian sekunder, seperti halnya ukuran komponen, material yang dipakai oleh komponen, serta prosedur pengoperasian unit yang berisi tentang data – data penunjang akan digunakan untuk pengolahan data pada penelitian ini. Data manufaktur seperti *material data record*, *material data sheet*, serta *manufacture drawing* juga bisa disebut dengan literatur sebagai penunjang data penelitian yang paling spesifik.

2. Metode Eksperimental

Observasi langsung dipakai untuk mendapatkan data parameter fisik seperti ukuran aktual komponen, temperatur sumber panas, dan kevakuman material. Parameter tersebut yang diukur menggunakan alat ukur manual ataupun alat ukur lokal ataupun dengan bantuan *software* instrumentasi pembangkit (DCS). Pencatatan data dilakukan saat daya keluaran pembangkit stabil setelah sinkron ke *grid* hingga mencapai kapasitas maksimum. Pencatatan semua parameter dilaksanakan dengan frekuensi pencatatan setiap satu jam. Untuk parameter yang diukur langsung ke dimensi komponen dilakukan secara *random sampling* dengan jumlah ganjil saat unit sedang diinspeksi atau saat terjadi kerusakan.

D. Prosedur Pelaksanaan

Prosedur pelaksanaan yang diterapkan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan, yaitu; pengumpulan data sekunder, persiapan, pengambilan data, dan pengolahan data dengan rincian sebagai berikut;

1. Pengumpulan Data Sekunder

Pengumpulan data sekunder yang digunakan untuk mengetahui spesifikasi yang diterapkan oleh manufaktur, bentuk dan ukuran alat, catatan masalah operasi

dan perbaikan, serta metode yang digunakan. Literatur yang didapat dalam penelitian ini adalah *design book*, *maintenance book*, *manual book for operation*, *historical book of maintenance*, dan *log-book of operation*. Bahan – bahan ini didapat dari PT PLN (Persero) Unit Induk Pembangkitan Sumatera Bagian Utara (UIKSBU) melalui direksi pekerjaan jasa *operation & maintenance* (O&M) yaitu PT PJB Services yang mengoperasikan dan merawat unit pembangkit PLTU Tembilahan 2×7 MW.

2. Persiapan Peralatan dan Bahan

Persiapan peralatan adalah bagian dari proses pra-pelaksanaan yang dimaksudkan untuk menjamin kelancaran pengambilan data dengan meminimalisir gangguan yang terjadi, seperti memeriksa kelengkapan peralatan yang akan digunakan dengan *checklist*, mengkalibrasi peralatan instrumentasi yang pembacaannya tidak sesuai standar, memeriksa kinerja peralatan yang akan dipakai, melakukan *setting* peralatan, dan yang paling penting mempersiapkan stok bahan – bahan yang diperlukan untuk operasional pembangkit.

3. Proses Penelitian dan Pengumpulan Data Primer

Ada tiga tahap pelaksanaan pengambilan data yaitu pengambilan data untuk membandingkan metode operasi, pengambilan data untuk pemeriksaan pemasangan (konstruksi) peralatan, dan pengambilan data untuk pemeriksaan desain. Implementasinya akan dilaksanakan dengan cara sebagai berikut.

a. Pengambilan Data Desain

Pemeriksaan ini dilakukan untuk melihat apakah detail komponen *boiler* yang telah dioperasikan, secara desain memang telah dibuat dan disimulasikan dengan memperhatikan parameter – parameter penting untuk sebuah *boiler*, seperti suhu

ruang bakar, tekanan, gaya – gaya yang bekerja pada komponen. Detail pemeriksaannya adalah dengan melakukan pemeriksaan ke ukuran komponen dari *manufacture drawing*.

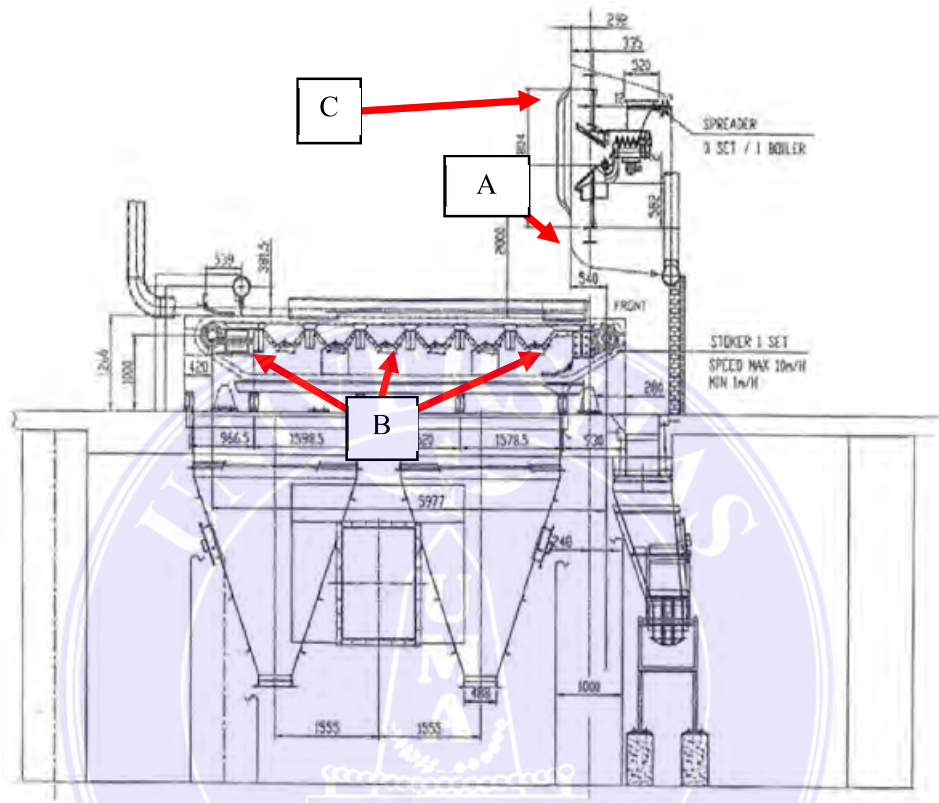
b. Pengambilan Data Metode Operasi

Pengambilan ini dilakukan untuk melihat apakah operator sebagai pengguna *boiler* telah melakukan kegiatan operasional sesuai dengan standar operasional prosedur yang telah diberikan oleh manufaktur. Inti dari pengambilan data ini adalah mendapatkan data temperatur dan ketebalan bahan yang berfungsi sebagai isolator panas yang akan memperlambat laju panas ke material. Variabel yang akan divariasikan adalah ketebalan abu, dengan ketebalan abu rata-rata saat operasi, uji ketebalan abu batas bawah sesuai dan ketebalan abu batas atas *ASME sec. VII*. Berat yang diakibatkan oleh ketebalan abu ini juga akan dihitung sebagai beban yang mempengaruhi sistem. Detailnya adalah sebelum unit operasi kita akan mencatat parameter fisik komponen, lalu dilakukan operasi pada kondisi normal dengan memperhatikan parameter perjam dalam *list* berikut;

- 1). Temperatur *compartment traveling grate* (°C)
- 2). Temperatur ruang bakar (°C)
- 3). Ketebalan Abu Batubara (m)

Dengan adanya materi yang dimonitor langsung saat unit beroperasi, maka dipastikan ada sensor yang menjadi patokan dalam pengukuran parameter tersebut, untuk itu penulis akan menekankan penempatan sensor seperti yang ada pada gambar 3.9. Dalam gambar tersebut dapat menjelaskan bahwa sensor “A” digunakan untuk mengukur temperatur ruang bakar, sensor “B” digunakan untuk

mengukur temperatur hasil rambat panas, serta sensor “C” untuk mengukur kevakuman udara di *Boiler*.



Gambar 3.9. Peletakan sensor di boiler

Setiap adanya keanehan dan perubahan tiba-tiba akan dibuat catatan, Kemudian ketika unit harus dipadamkan, maka kita harus memperhatikan parameter fisik komponen yaitu;

- 1). Lengkungan *rack grate* (m)
- 2). Ukuran *rack grate* (m)
- 3). Ukuran *grate clip* (m)

Hingga beberapa kali, hal ini juga bisa dilihat dengan menggunakan catatan mekanik perawatan ataupun *logbook* kerusakan komponen karena apabila harus menunggu unit padam maka proses penelitian akan memakan waktu yang lama.

c. Pengambilan Data untuk Pemeriksaan Pemasangan Komponen (Konstruksi)

Pemeriksaan ini dilakukan untuk melihat apakah detail komponen *boiler* yang telah dioperasikan sama dan setipe dengan yang ada pada *approval drawing* dan dipasang dengan pemasangan sesuai standar *boiler* yang telah berlaku. Metode detailnya adalah saat unit padam dilakukan pemeriksaan dan pengukuran terhadap parameter fisik komponen dan letak *centerline traveling grate* sebelum unit operasi.

Jika ditakutkan adanya perubahan bentuk dan ukuran pada beberapa komponen tertentu yang langsung terkena paparan panas dan tekanan setelah operasi, bisa dilakukan pengukuran pada *mandatory spare part* yang tersimpan digudang. Setelah mendapat ukuran aktual terpasang atau sesuai material yang datang dan setelah data – data yang dibutuhkan terkumpul yang akan dilanjutkan dengan perhitungan terhadap parameter sebagai berikut:

- 1). Laju aliran panas dari ruang bakar ke permukaan *grate clip* (W/m.K)
- 2). Laju aliran panas dari *grate clip* ke permukaan *rack grate* (W/m.K)
- 3). Muai panjang (m)

Langkah tersebut terus diulang hingga ditemukan deformasi yang mengubah kinerja *traveling grate* secara signifikan.

4. Analisis Beban dan *Thermal Stress*

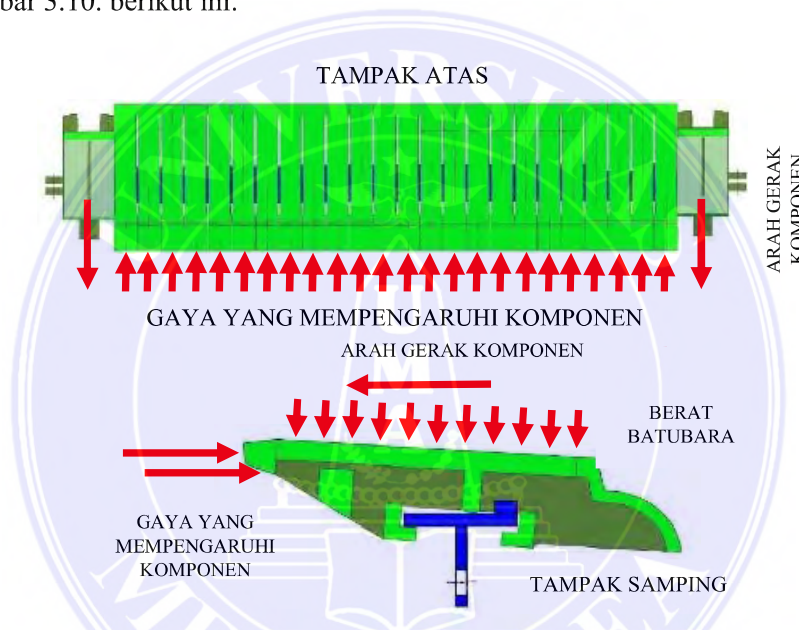
Perhitungan *thermal stress* dan perpindahan panas akan dilakukan ketika pengambilan data telah lengkap, dan akan dihitung sesuai dengan bagian pengambilan data. Perhitungan ini akan divariasikan dengan perubahan berat batubara yang dimelapisi *traveling grate*, dan sesuai dengan ukuran material yang ditemukan dilapangan. Sehingga terjadi perbedaan beban dan perbedaan rambat panas yang terjadi pada *grate* saat operasional berlangsung.

Perhitungan dimulai dengan menghitung volume dari batubara berdasarkan variasi ketebalan abu dan batubara diruang bakar. Volume ini nantinya akan dikalikan dengan massa jenis abu dan massa jenis batubara sehingga didapat angka berat variabel, dan akhirnya angka gaya dapat dicari dengan mengalikan berat dan percepatan gravitasi. Karena beban ini diasumsikan rata ke seluruh bagian *rack clip* maka hasil perhitungan gaya akibat batubara dan abu akan dibagi ke jumlah *rack clip* yang ada kemudian hitungan ini akan dibandingkan dengan spesifikasi material. Langkah selanjutnya adalah perhitungan perpindahan panas dari ruang bakar ke *rack bone*. Perhitungan dimulai dengan menghitung koefisien konveksi menggunakan rumus 2.6 dan 2.7. Setelah didapat, dihitunglah nilai kalor yang dipindahkan dengan rumus 2.5. akhirnya dapat dihitung temperatur pertitik dengan rumus 2.2 dan 2.4.

Lanjut ke bagian yang dicurigai mengalami pemuaian panjang. Sehingga dalam aktual kerja komponen memberikan beban tak terduga. Perhitungan akan mulai menghitung pertambahan panjang dengan menggunakan rumus 2.3, yang setelah diketahui hasilnya akan diperhitungkan beban maksimal yang berpotensi dibebankan ke komponen yang rusak, dengan cara mengalikan berat komponen yang memuai dengan percepatan gravitasi bumi. Kemudian hasilnya akan dibagi keseluruhan jumlah *rack clip* yang ada dan hitungan ini akan dibandingkan dengan spesifikasi material. Terakhir adalah perhitungan *thermal stress* yang terjadi akibat beda temperatur. Dengan menggunakan rumus 2.15. yang hasilnya akan dibandingkan langsung dengan spesifikasi material. Lebih lengkap lagi, variabel yang mempengaruhi komponen akan dijelaskan sebagai berikut,

a. Analisis Gaya – Gaya yang Bekerja

Gaya adalah suatu penyebab interaksi benda bermassa yang menyebabkan benda bergerak [22]. Di subbab sebelumnya kita telah membahas bahan baku komponen, dan sifat material dari bahan tersebut maka selanjutnya. Kita akan menganalisis gaya-gaya yang bekerja pada sistem instalasi *rack grate* yang menjadi fokus kerusakan pada komponen *traveling grate*. Analisisnya dapat dilihat di gambar 3.10. berikut ini.



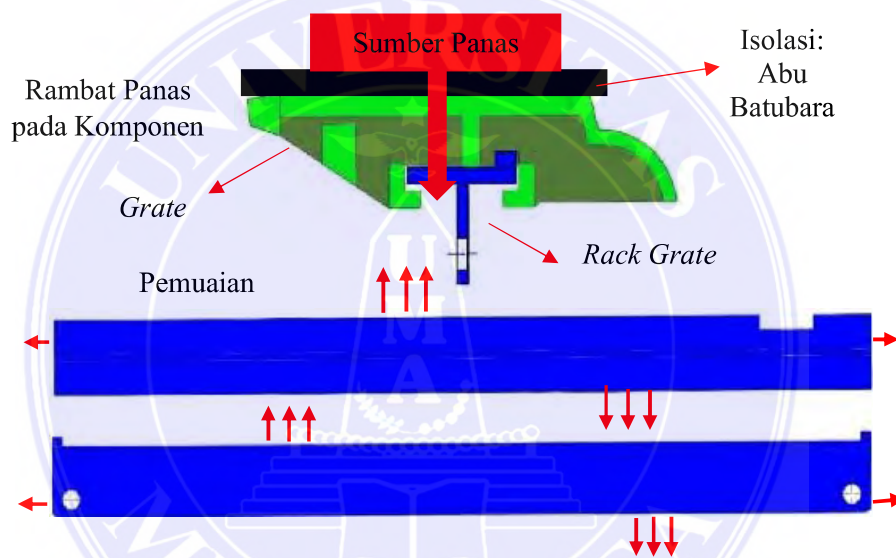
Gambar 3.10. Analisis gaya

Rack grate terpasang secara sudut kunci dan ditutup dengan *rack clip* yang dikunci dengan sebuah pin serta diikat dengan sambungan baut ke *drive grate*. Komponen yang terpasang ini digerakkan oleh sebuah jenis pemindah daya berbentuk *drive sprocket* dan *idler* dan berjalan sesuai arah gerak komponen di gambar 3.10. Kecurigaan kami saat bergerak jalinan *rack grate* dan *drive grate* ini tertahan oleh gaya yang diakibatkan oleh gerak *apron* dan *seal plate* yang berfungsi merapikan *rack grate*, dengan arah gaya juga terlihat pada gambar 3.10. tampak bahwa arah gaya dan arah gerak komponen yang berlawanan langsung

mempengaruhi *rack grate* hingga bagian “T” dan ke sambungan baut. Dengan analisis inilah nantinya akan dihitung dampak gaya yang bekerja terhadap komponen.

b. Analisis Sumber Panas, Isolasi Panas, dan Panas Terhadap Komponen

Bahan baku, sifat material, dan analisa gaya telah diketahui, selanjutnya diperlukan analisa perpindahan panas dari sistem rangkaian *rack grate*. Adapun analisa perpindahan panas dapat dilihat pada gambar 3.11. berikut ini.



Gambar 3.11. Perpindahan panas dan pemuai komponen

Pada gambar 3.11. bagian atas dapat dilihat bahwa sumber panas hasil dari pembakaran batubara masuk kedalam susunan isolasi dan komponen. Dalam kasus perpindahan panas, peristiwa rambat panas ini dapat dikatakan bahwa panas merambat melewati tiga dinding, dinding yang pertama adalah abu batubara, dinding yang kedua adalah *rack clip* dan dinding yang ketiga adalah *rack grate*. Artinya kita harus menemukan angka dari konduktivitas termal dari batubara, bahan *rack clip*, bahan *rack grate*, dan suhu pada bagian bawah *rack grate*.

Sedangkan pada gambar 3.11. bagian bawah dapat dilihat bahwa komponen *rack grate* yang tipis yang sangat rentan mengalami kelelahan bahan, juga mengalami muai terhadap ukuran komponen. Dari beberapa kejadian inilah nantinya akan dicari dampaknya kepada komponen.

5. Analisis Simulasi *Software Ansys*

Setelah mendapatkan hasil perhitungan *thermal stress* dan rambat panas, kami akan membuat gambar CAD, yang kemudian akan disimulasi dengan *Ansys Workbench*. Pada simulasi ini penulis melakukan proses simulasi pada satu set *rack grate* dengan empat buah variasi panjang *rack bone* yang ditemukan saat pengukuran. Selain itu simulasi ini juga akan dilakukan dengan menggunakan tiga buah variasi ketebalan batubara, yang ditemukan saat pengumpulan data. Adapun ketebalan batubara tersebut adalah rata – rata terendah, rata – rata nilai tengah, dan rata – rata tertinggi. Hasil aktual ini juga akan dibandingkan dengan simulasi ketebalan sesuai standar operasional *boiler* yaitu 75 mm dan 150 mm sesuai yang tertulis pada ASME Book Sec. VII tentang operasional dan perawatan *boiler*.

Karena proses permodelan CAD telah diketahui karena menjadi suatu mata kuliah yang wajib diikuti. Maka pada bagian ini kami hanya akan menjelaskan tentang langkah – Langkah dan tata cara melakukan simulasi dengan *software Ansys Workbench*. Berikut langkah – langkahnya,

a. Simulasi Tahap 1 Analisis Perpindahan Panas (Isolasi Material Ketebalan Abu & Batubara)

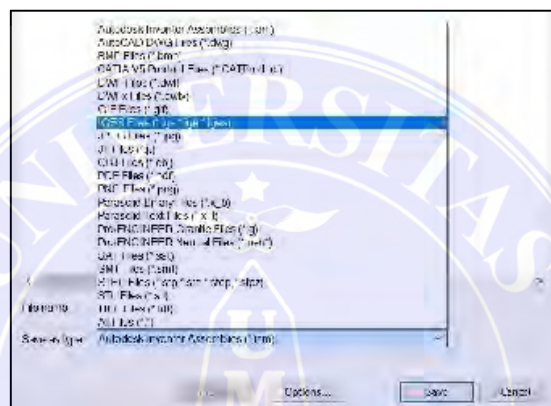
Simulasi tahap pertama ini dilakukan untuk mengakomodir agar diketahui hasil suhu yang ada di titik pertemuan batubara dan *grate clip*. Karena data primer yang didapatkan hanya suhu konveksi dari bagian *furnace* dan pada bagian

compartment boiler secara aktual dengan variabel ketebalan batubara sebagai salah satu material yang berperan sebagai bahan penghambat aliran panas.

1). Mengkonversi format file CAD menjadi IGS, IGE, IGES

Tidak dipakainya *Ansys* sebagai *software* pembuatan CAD membuat proses pengkonversian *file* berformat iam menjadi *file* berformat igs harus dilakukan.

Karena *file* berformat iam tidak dapat diolah di *Ansys Workbench*.



Gambar 3.12. Proses penyimpanan *file* berformat igs

1). Pemilihan *analysis system*

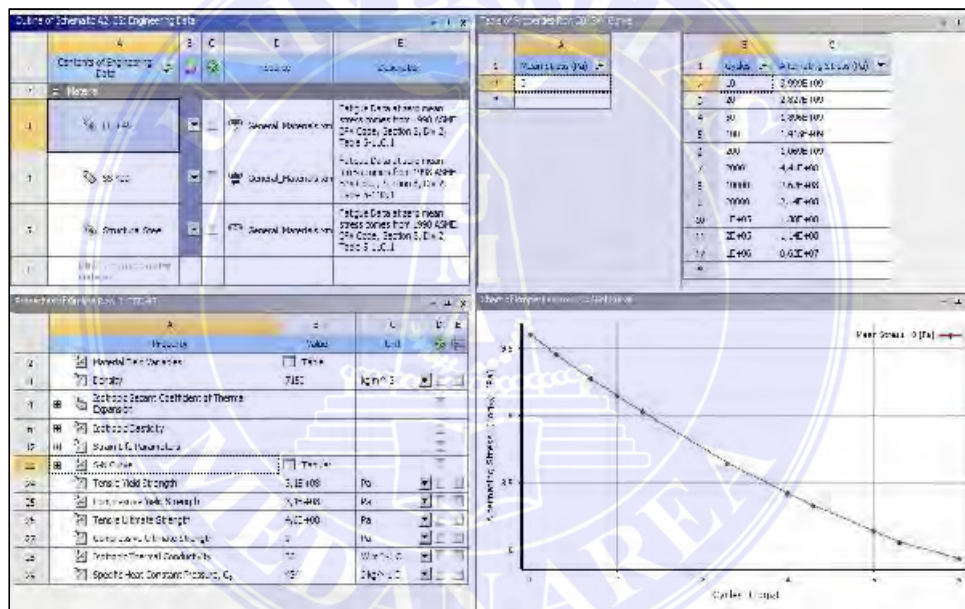
Setelah *Ansys Workbench* dibuka, terdapat banyak pilihan skema analisis. Pada penelitian ini dapat dibuat dengan memilih kombinasi skema analisis *transient thermal*. Hal ini dapat dilakukan dengan cara klik – drag item *transient thermal*. Tampilan *item* akan terlihat seperti pada gambar 3.13. berikut ini;



Gambar 3.13. Pemilihan skema analisis

2). Pembuatan *database* material

Ketika skema simulasi telah dipilih, masukan dan ubah spesifikasi data material di bagian *engineering data* sesuai dengan material material yang akan digunakan. Lengkapi data material tersebut mulai dari massa jenis, tegangan luluh, tegangan tarik, konduktivitas termal, *poison ratio*, hingga *thermal expansion coefficient*. Hal ini bisa dilakukan dengan menyalin data yang sudah ada dan mengganti nama serta spesifikasi dari data yang tersalin tersebut. Tampilan *engineering data* tersebut dapat dilihat pada gambar 3.14. berikut ini.



Gambar 3.14. Pengaturan spesifikasi material

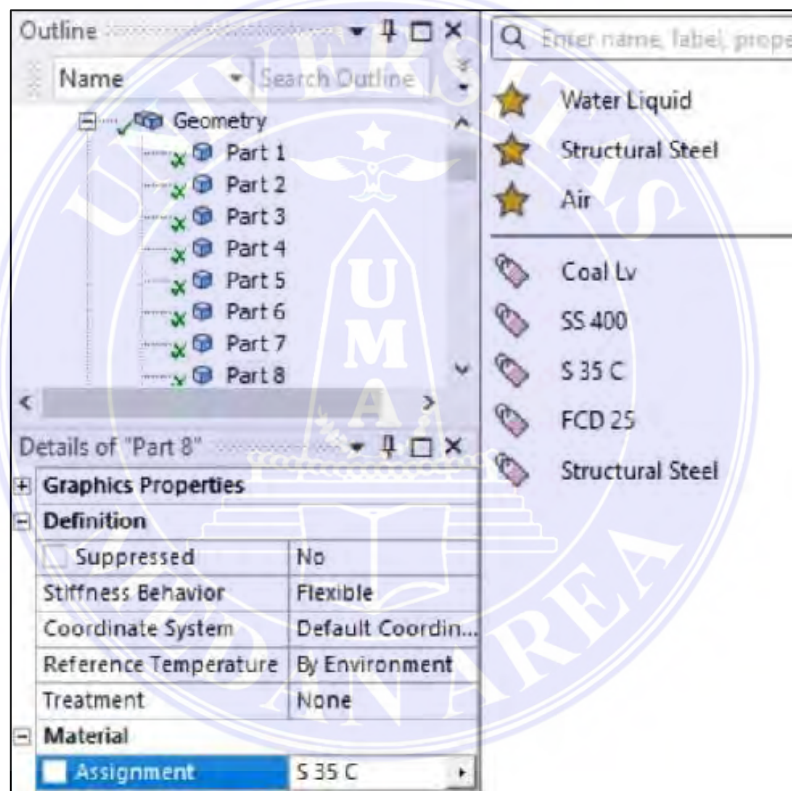
3). Buka *file* CAD yang telah dikonversi

Pada gambar 3.11. terdapat pilihan *geometry* atau *model*, pada bagian ini kita akan memilih gambar CAD yang telah kita gambar dan ubah ke format *file* igs. Dengan cara melakukan klik kanan pada *geometry* lalu pilih *import geometry* dan pilih *browse*, kemudian cari *file* yang telah kita konversi. Hingga pada bagian *geometry* muncul tanda centang hijau dan *model* muncul lambang dua tanda panah

yang membentuk lingkaran. Langkah selanjutnya adalah melakukan klik kanan pada bagian *model* lalu pilih *edit*.

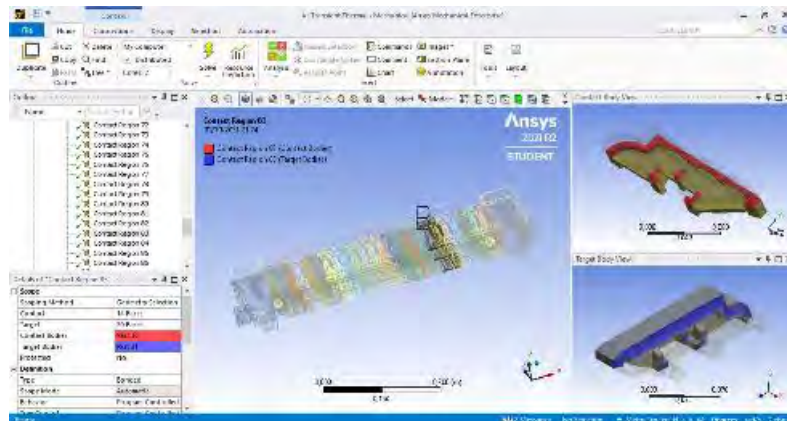
4). Melakukan implementasi material dan mengatur kontak antar komponen

Proses selanjutnya adalah memilih material yang akan digunakan pada komponen. Pemilihan ini dapat dilakukan dengan melakukan klik kiri pada *outline* di sebelah kiri bagian *software*, pilih *geometry*, pilih komponen yang akan disesuaikan materialnya. Pada bagian detail komponen – material pilih material yang akan digunakan. Berikut ini tampilan pada *interface software*nya.



Gambar 3.15. Pemilihan material untuk tiap komponen

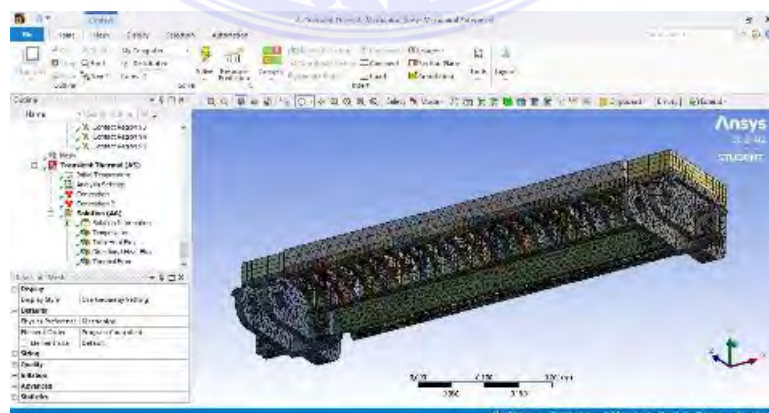
Setelah material dipilih, pengaturan kontak adalah salah satu hal yang paling utama dikarenakan akan mempengaruhi efek gaya – gaya yang bekerja secara keseluruhan. Hal ini dapat dilakukan dengan memilih *connection* pada *outline*, lalu pilih *contact*. Atur lah bagian yang berkontak dan dan target kontak nya dengan memperhatikan *detail of "Contact Region"* seperti di gambar 3.16. berikut ini.



Gambar 3.16. Pengaturan kontak antar komponen

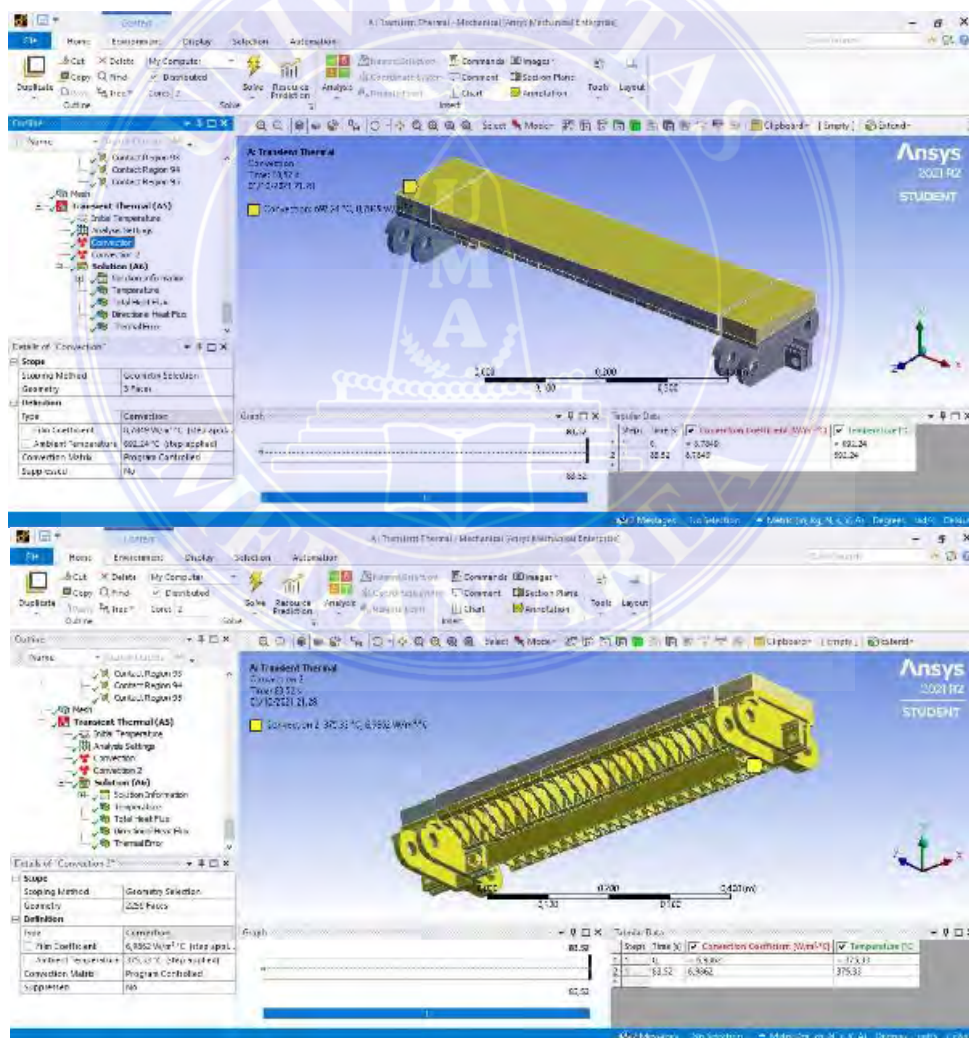
5). Pengaturan *Meshing*

Meshing adalah proses pembuatan permukaan kerja dalam bentuk jala atau jaring dengan kerapatan tertentu untuk menampilkan detail perhitungan simulasi pada *model* yang ada. Pada simulasi *Ansys Workbench* fitur ini terletak pada *outline* yang berada disamping kiri tampilan *software*. Prosesnya adalah *select* komponen yang diatur *mesh*-nya, pilih fitur *Mesh* atur bagian *element size* dan *sizing*. Kemudian klik kanan fitur *mesh* lalu pilih *generate mesh*, tunggu hingga proses selesai. Kalau proses gagal, klik kanan fitur *mesh*, klik *clear generated data*, periksa komponen tersebut, lalu lakukan proses *meshing* kembali. Tampilan jika fitur ini berhasil adalah pada gambar 3.17. berikut ini,

Gambar 3.17. Hasil proses *meshing*

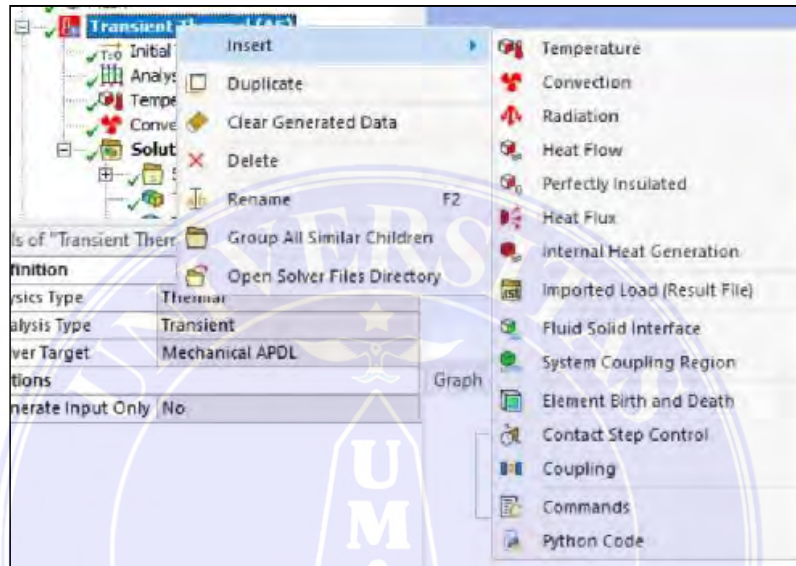
6). Proses *Input Variabel* Skema Simulasi *Transient Thermal*

Proses ini dimulai dengan melakukan pengaturan *initial temperature* untuk suhu awal, dan *analysis settings* untuk menentukan waktu, jumlah tahap yang dipilih, dan waktu untuk menjalankan satu tahap simulasi. Setelah itu klik kanan pada fitur *transient thermal* yang ada di *outline* tepatnya sebelah kiri tampilan *software*. Ada banyak fitur yang dapat dipilih, tapi dalam simulasi ini akan dipilih fitur *convection* untuk mengakomodir data yang didapat saat penelitian yaitu suhu konveksi *furnace* dan suhu konveksi di bagian *compartment boiler*.



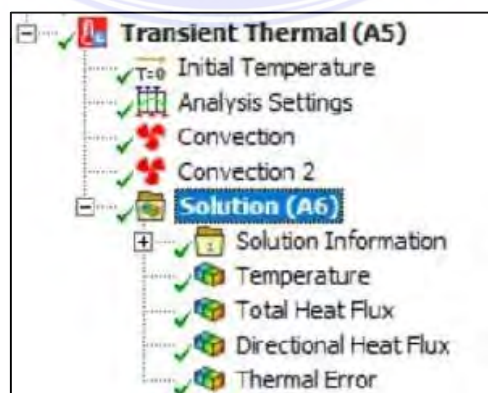
Gambar 3.18. Pengaturan Konveksi

Pada pengaturan *temperature* pilih *convection*, pilih semua permukaan yang diasumsikan mengalami kejadian konveksi. Kemudian atur besar koefisien konveksi dan atur kondisi lingkungan (*ambient temperature*) ditempat tersebut. Posisi tampilan pengaturan tersebut dapat dilihat pada gambar 3.19. berikut ini,



Gambar 3.19. Tampilan pengaturan variabel *transient thermal*

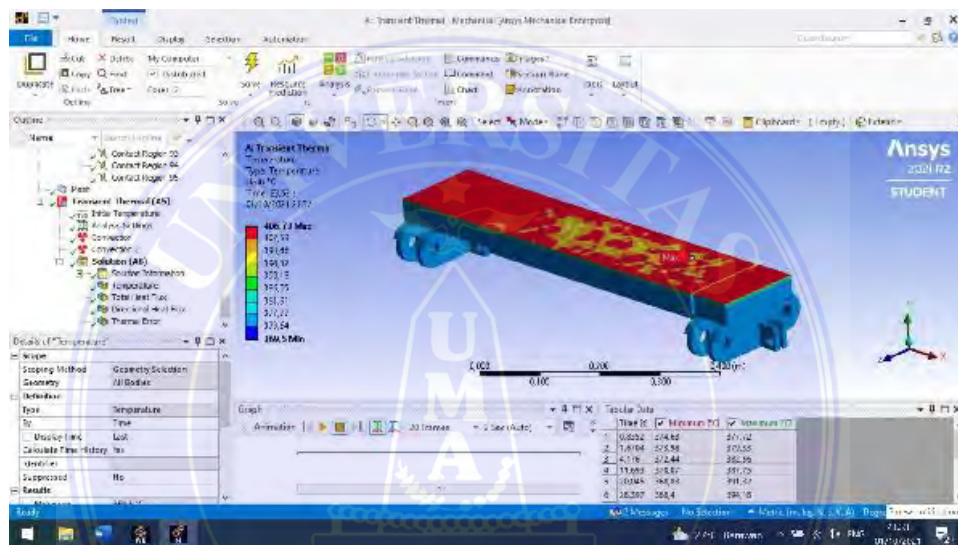
Ketika kedua variabel tersebut telah diatur, maka selanjutnya klik kanan fitur solution. Pilih insert, lalu pilih *thermal*, kemudian pilih hasil yang ingin ditampilkan. Dalam simulasi ini kami menampilkan *temperature*, *total heat flux*, dan *directional heat flux* seperti yang ditampilkan gambar 3.20. sebagai berikut.



Gambar 3.20. Tampilan pemilihan fitur hasil simulasi *transient thermal*

7). *Generate Simulasi Transient Thermal*

Setelah memilih hasil apa saja yang akan ditampilkan pada analisis *transient thermal*, klik kanan fitur *solution*, pilih *solve*. Tunggu hingga hasilnya selesai hingga tanda centang hijau muncul. Ketika simulasi gagal, klik kanan fitur *solution*, pilih *clear generated data*, evaluasi dan perbaiki kembali variabel yang sudah ditentukan, kemudian jalankan kembali fitur *solution* hingga selesai.



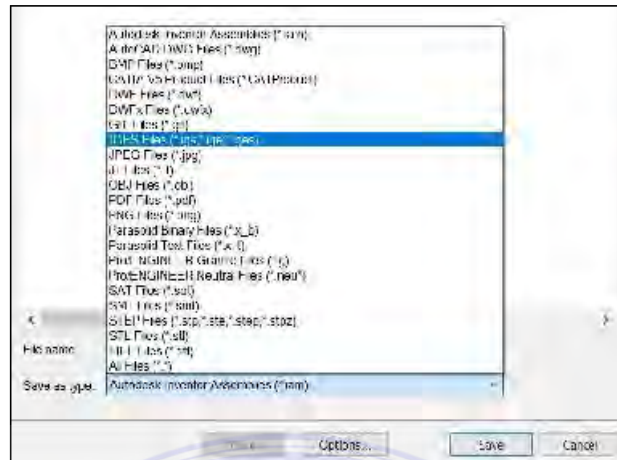
Gambar 3.21. Tampilan *generate*

b. Simulasi Tahap 2 Analisis Beban dan Perpindahan Panas

Simulasi tahap kedua ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh panas dan beban yang bekerja pada komponen akan mempengaruhi komponen tersebut dalam satu putaran penuh. Tentunya gambar yang akan dipakai adalah gambar yang tidak dapat menyertakan ketebalan batubara.

8). Mengkonversi format *file* CAD menjadi IGS, IGE, IGES

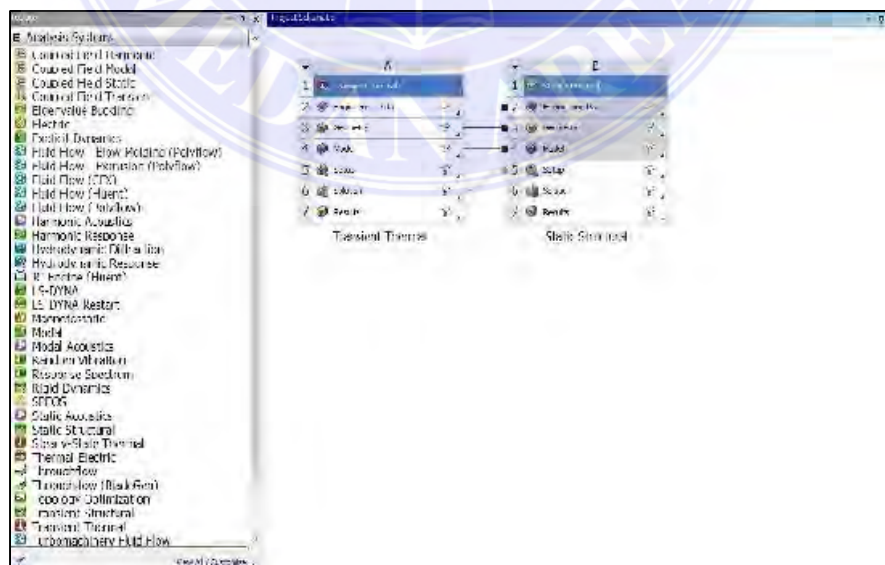
Tidak dipakainya *Ansys* sebagai *software* pembuatan CAD membuat proses pengkonversian *file* berformat iam menjadi *file* berformat igs harus dilakukan. Karena *file* berformat iam tidak dapat diolah di *Ansys Workbench*.



Gambar 3.22. Proses penyimpanan file berformat igs

9). Pemilihan *analysis system*

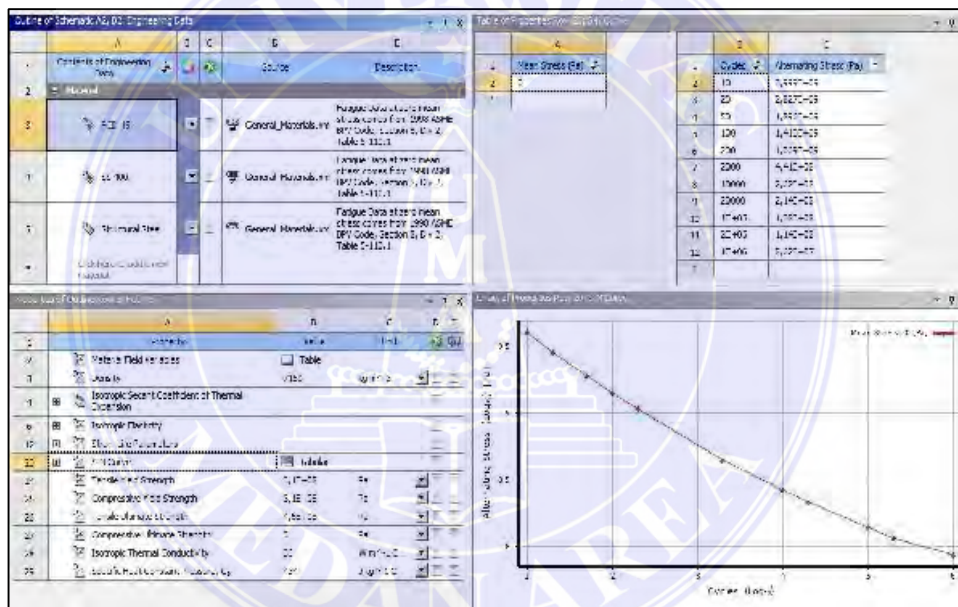
Setelah *Ansys Workbench* dibuka, terdapat banyak pilihan skema analisis. Pada penelitian ini dapat dibuat dengan memilih kombinasi skema analisis *transient thermal* dan *static structural*. Hal ini dapat dikombinasikan dengan cara terlebih dahulu memilih *transient thermal*, kemudian melakukan klik – drag item *static structural* yang diarahkan ke bagian *solution* dari *transient thermal*. Tampilan item akan terlihat seperti pada gambar 3.23. berikut ini;



Gambar 3.23. Pemilihan skema analisis

10). Pembuatan *database* material

Ketika skema simulasi telah dipilih, masukan dan ubah spesifikasi data material di bagian *engineering data* sesuai dengan material material yang akan digunakan. Lengkapi data material tersebut mulai dari massa jenis, tegangan luluh, tegangan tarik, konduktivitas termal, *poison ratio*, hingga *thermal expansion coefficient*. Hal ini bisa dilakukan dengan menyalin data yang sudah ada dan mengganti nama serta spesifikasi dari data yang tersalin tersebut. Tampilan *engineering data* tersebut dapat dilihat pada gambar 3.24. berikut ini.



Gambar 3.24. Pengaturan spesifikasi material

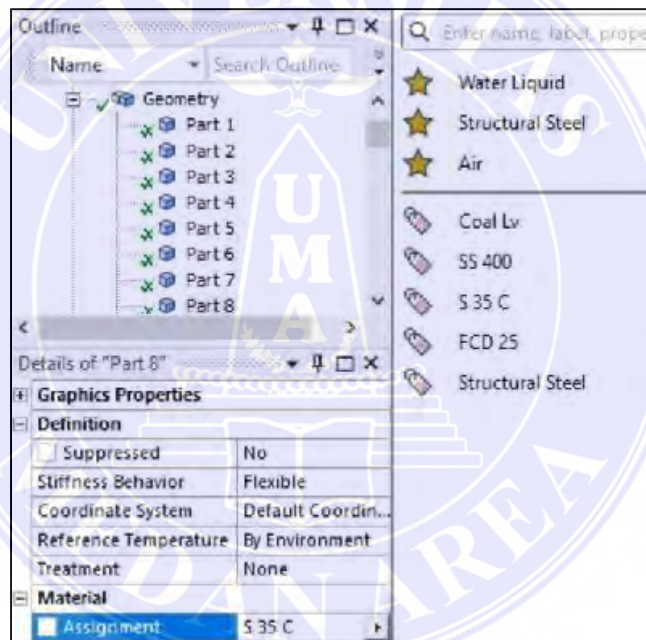
11). Buka *file* CAD yang telah dikonversi

Pada gambar 3.23. terdapat pilihan *geometry* atau *model*, pada bagian ini kita akan memilih gambar CAD yang telah kita gambar dan ubah ke format *file* igs. Dengan cara melakukan klik kanan pada *geometry* lalu pilih *import geometry* dan pilih *browse*, kemudian cari *file* yang telah kita konversi. Hingga pada bagian *geometry* muncul tanda centang hijau dan *model* muncul lambang dua tanda panah

yang membentuk lingkaran. Langkah selanjutnya adalah melakukan klik kanan pada bagian *model* lalu pilih *edit*.

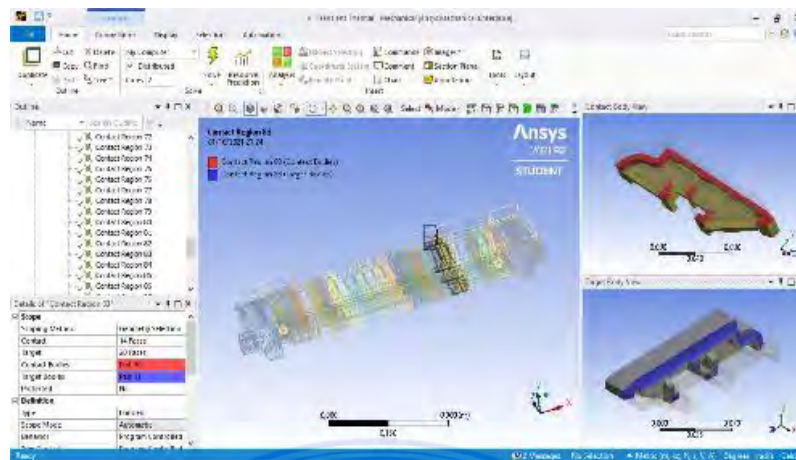
12). Melakukan implementasi material dan mengatur kontak antar komponen

Proses selanjutnya adalah memilih material yang akan digunakan pada komponen. Pemilihan ini dapat dilakukan dengan melakukan klik kiri pada *outline* di sebelah kiri bagian *software*, pilih *geometry*, pilih komponen yang akan disesuaikan materialnya. Pada bagian detail komponen – material pilih material yang akan digunakan. Berikut ini tampilan pada *interface software*nya.



Gambar 3.25. Pemilihan material untuk tiap komponen

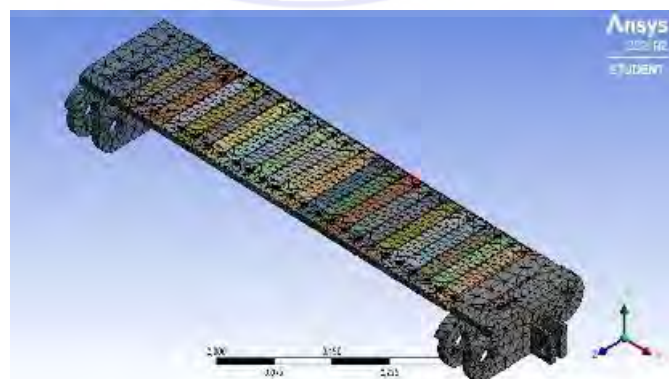
Setelah material dipilih, pengaturan kontak adalah salah satu hal yang paling utama dikarenakan akan mempengaruhi efek gaya – gaya yang bekerja secara keseluruhan. Hal ini dapat dilakukan dengan memilih *connection* pada *outline*, lalu pilih *contact*. Aturlah bagian yang berkontak dan target kontakannya dengan memperhatikan *detail of “Contact Region”* dan tampilan kontak yang ada seperti di gambar 3.26. berikut ini.



Gambar 3.26. Pengaturan kontak antar komponen

13). Pengaturan *Meshing*

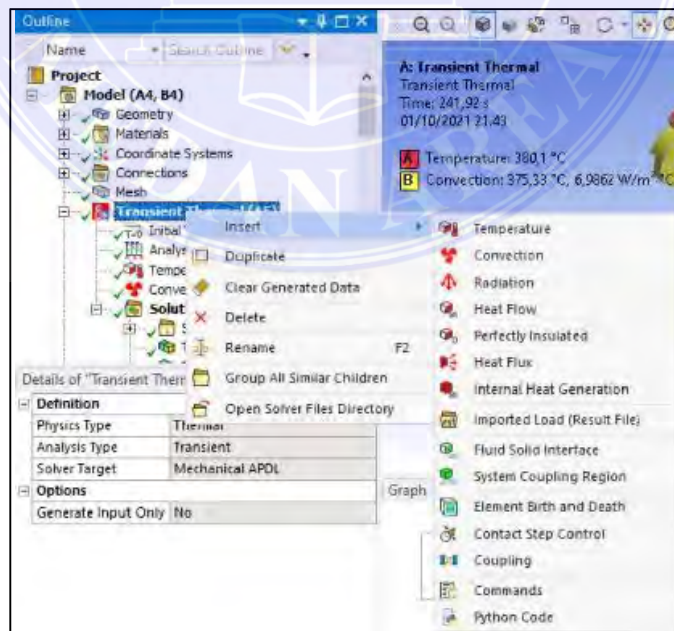
Meshing adalah proses pembuatan permukaan kerja dalam bentuk jala atau jaring dengan kerapatan tertentu untuk menampilkan detail perhitungan simulasi pada *model* yang ada. Pada simulasi *Ansys Workbench* fitur ini terletak pada *outline* yang berada disamping kiri tampilan *software*. Prosesnya adalah *select* komponen yang diatur *mesh*-nya, pilih fitur *Mesh* atur bagian *element size* dan *sizing*. Kemudian klik kanan fitur *mesh* lalu pilih *generate mesh*, tunggu hingga proses selesai. Kalau proses gagal, klik kanan fitur *mesh*, klik *clear generated data*, periksa komponen tersebut, lalu lakukan proses *meshing* kembali. Tampilan jika fitur ini berhasil adalah pada gambar 3.27. berikut ini,



Gambar 3.27. Hasil proses *meshing*

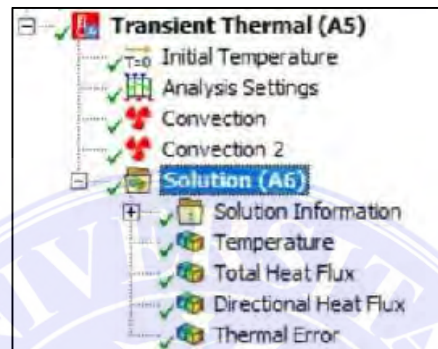
14). Proses *Input Variabel Skema Simulasi Transient Thermal*

Proses ini dimulai dengan melakukan pengaturan *initial temperature* untuk suhu awal, dan *analysis settings* untuk menentukan waktu, jumlah tahap yang dipilih, dan waktu untuk menjalankan satu tahap simulasi. Setelah itu klik kanan pada fitur *transient thermal* yang ada di *outline* tepatnya sebelah kiri tampilan *software*. Ada banyak fitur yang dapat dipilih, tapi dalam simulasi ini akan dipilih fitur *temperature* dan *convection*. Pada pengaturan *temperature* pilih permukaan yang akan diasumsikan memiliki sumber panas atau suhu paling besar, lalu masukan data suhu dalam bentuk *tabular data*. Usahakan agar data pada *tabular data* menjadi sangat detail. Lanjut ke pengaturan *convection*, pilih semua permukaan yang diasumsikan mengalami kejadian konveksi. Kemudian atur besar koefisien konveksi dan atur kondisi lingkungan (*ambient temperature*) ditempat tersebut. Posisi tampilan pengaturan tersebut dapat dilihat pada gambar 3.28. berikut ini,



Gambar 3.28. Tampilan pengaturan variabel *transient thermal*

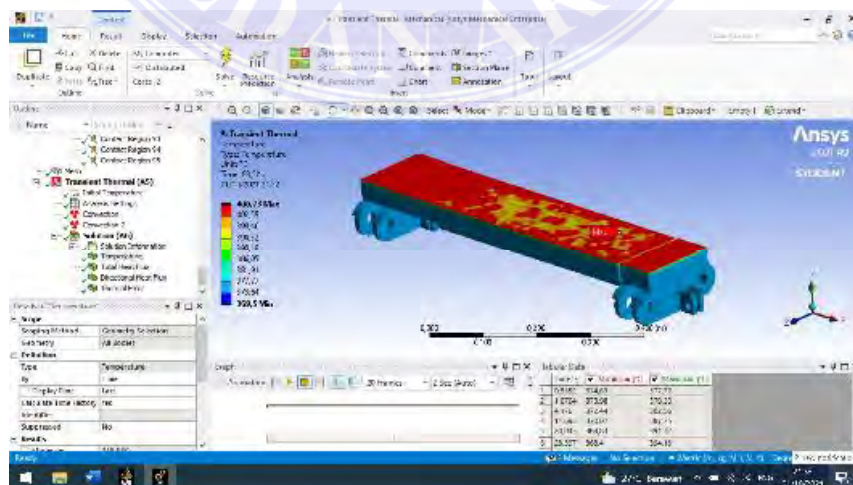
Ketika kedua variabel tersebut telah diatur, maka selanjutnya klik kanan fitur solution. Pilih insert, lalu pilih *thermal*, kemudian pilih hasil yang ingin ditampilkan. Dalam simulasi ini kami menampilkan *temperature*, *total heat flux*, dan *directional heat flux* seperti yang ditampilkan gambar 3.29. sebagai berikut.



Gambar 3.29. Tampilan pemilihan fitur simulasi *transient thermal*

15). Generate Simulasi Transient Thermal

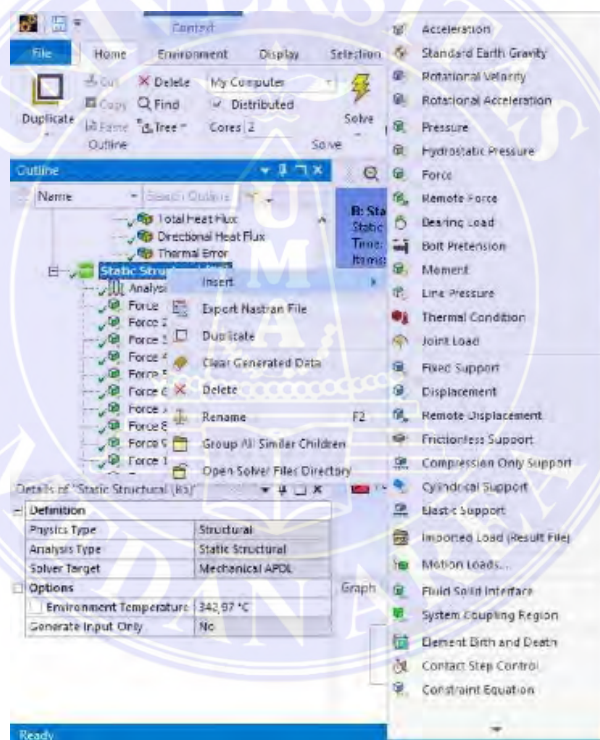
Setelah memilih hasil apa saja yang akan ditampilkan pada analisis *transient thermal*, klik kanan fitur *solution*, pilih *solve*. Tunggu hingga hasilnya selesai hingga tanda centang hijau muncul. Ketika simulasi gagal, klik kanan fitur *solution*, pilih *clear generated data*, evaluasi dan perbaiki kembali variabel yang sudah ditentukan, kemudian jalankan kembali fitur *solution* hingga selesai.



Gambar 3.30. Tampilan *generate*

16). Proses *Input Variabel Skema Simulasi Static Structural*

Skema ini dimulai dengan analysis settings untuk mengatur tahap tahap simulasi, baik waktu total, jumlah tahap yang akan dilakukan, dan jumlah waktu yang dibutuhkan untuk satu tahap simulasi. Setelah pengaturan tersebut maka klik kanan pada fitur *static structural* yang ada di *outline* tepatnya sebelah kiri tampilan *software*. Ada banyak fitur yang dapat dipilih, tapi dalam simulasi ini akan dipilih fitur *fixed support*, *force*, dan *import load*, fitur ini dapat dilihat pada gambar 3.31. sebagai berikut.



Gambar 3.31. Fitur – fitur dalam *static structural*

Untuk pengaturan pertama adalah *fixed support*, fitur ini adalah fitur yang digunakan sebagai titik patokan awal sehingga bagian ini akan tetap pada sumbunya. Selanjutnya adalah *force*, fitur ini digunakan untuk menambahkan gaya – gaya yang mempengaruhi komponen dititik yang kita bisa tentukan,

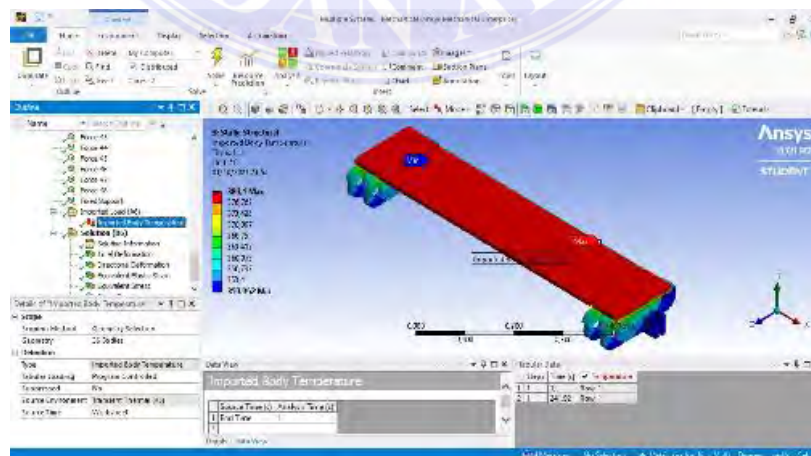
pengaturannya adalah setelah dipilih fitur *force*, pilih titik atau permukaan yang akan dikenai gaya, tentukan besaran gaya lewat *tabular data*, lalu pilih arah gaya.

Hasil penentuan gaya akan dapat dilihat seperti pada gambar 3.32. berikut ini.



Gambar 3.32. Fitur *force* pada simulasi

Selanjutnya, fitur *imported load*, fitur ini adalah fitur untuk memanggil beban yang diakibatkan oleh simulasi *thermal* yang telah dibuat sebelumnya. Fitur ini dapat diaplikasikan dengan cara melakukan klik kanan pada *static structural*, pilih *insert*, lalu pilih *imported load*. Setelah dipilih, klik kanan pada *imported load* lalu pilih *insert*, dan pilih *body temperature*. Tunggu prosesnya dan tampilan hasil *import*-nya dapat dilihat pada gambar 3.33. berikut ini.

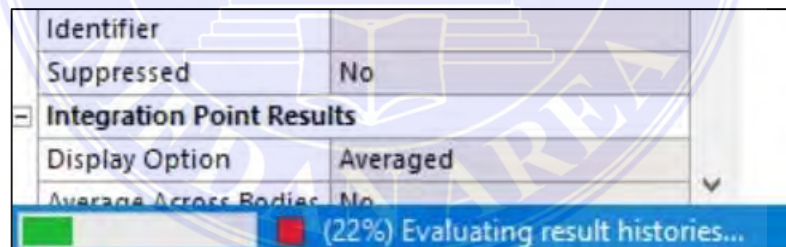


Gambar 3.33. Hasil *imported load transient thermal*

Setelah semua variabel telah dipilih dan digunakan klik kanan *solution* dan pilih item yang akan ditampilkan hasil simulasinya. Dalam simulasi ini akan ditampilkan *total deformation*, *directional deformation*, *equivalent stress* dan *equivalent elastic strain*.

17). Generate Simulasi Static Structural

Setelah dipilih hasil apa saja yang akan ditampilkan, klik kanan fitur *solution* lalu pilih *solve*. Tunggu hingga hasilnya selesai hingga tanda centang hijau muncul. Ketika simulasi gagal, klik kanan fitur *solution*, pilih *clear generated data*, evaluasi dan perbaiki kembali variabel yang sudah ditentukan, kemudian jalankan kembali fitur *solution* hingga selesai seperti pada gambar 3.34. Hasil tampilan simulasi bisa dilihat pada bab pembahasan berikutnya. Menjadi catatan juga bagi kami untuk membuat beberapa skema simulasi terutama kejadian yang kemungkinan besar akan terjadi dan akan mempengaruhi hasil simulasi di akhir. Sehingga dapat dilihat kesesuaian perhitungan, galat perhitungan, dan titik – titik kritis pada simulasi.



Gambar 3.34. Generate Result

Titik – titik kritis ini juga akan dibandingkan dengan kerusakan aktual yang terjadi pada material yang ada di lapangan. Ketika data – data ini telah mendapatkan hasil rasional maka akan ditarik kesimpulan.

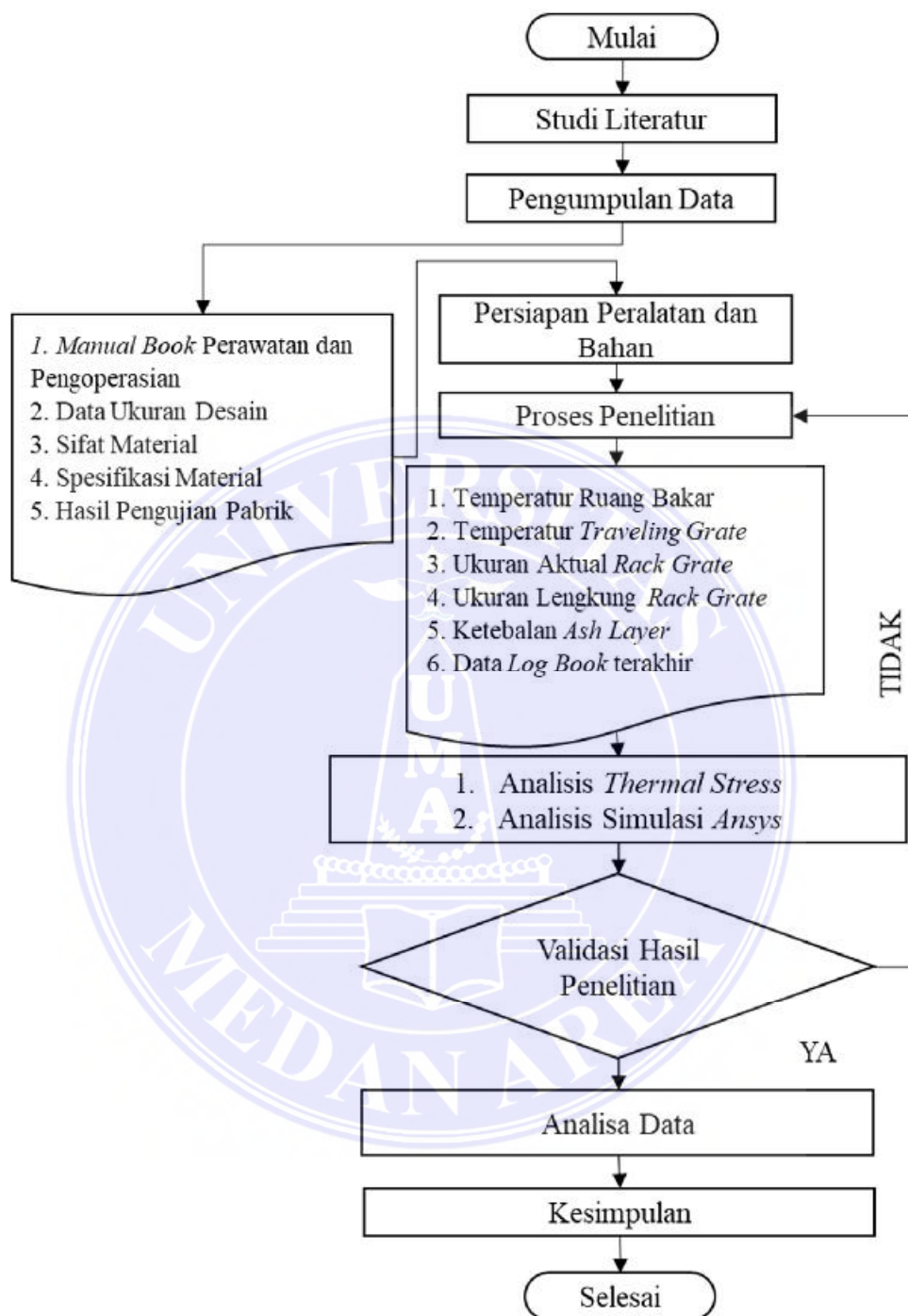
6. *Benchmarking* Kejadian Aktual, Hasil Perhitungan, dan Simulasi

Proses ini akan dimulai dengan membandingkan hasil perhitungan dengan spesifikasi material yang ada. Tepatnya antara angka hasil perhitungan tegangan yang didapatkan dengan angka tegangan luluh pada spesifikasi material. Jika didapatkan angka lebih kecil dari tegangan luluh berarti material sudah masuk dalam keadaan aman dalam beroperasi. Namun ketika angka tegangan lebih besar daripada spesifikasi maka harus direncanakan material yang baru atau perkuatan di komponen yang sudah ada.

Selanjutnya adalah membandingkan hasil perhitungan dengan simulasi yang dibuat, jika memang angka tegangan luluh hasil perhitungan material telah melewati angka dari spesifikasi, maka akan dilihat dari simulasi, bagian mana yang mengalami titik kritis dan menjadi fokus perbaikan atau perencanaan perkuatan komponen. Setelah itu titik – titik kritis ini akan dibandingkan dengan kerusakan aktual pada komponen, jika lebih dari 60% item sama mengalami kerusakan pada bagian yang dideteksi sebagai titik kritis, maka analisis bisa dikatakan tepat dan perbaikan dapat dilanjutkan dengan menggunakan rekomendasi yang telah disediakan.

E. Diagram Alir

Berdasarkan prosedur pelaksanaan penelitian yang telah dijabarkan diatas, berikut adalah diagram alir yang dibuat sesuai dengan prosedur pelaksanaan pengambilan data pada poin D. Adapun diagram alir yang telah dibuat adalah sebagai berikut;



Gambar 3.35. Diagram alir penelitian

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Terdapat beberapa kesimpulan yang dapat diambil dalam penelitian ini, diantaranya yaitu;

1. Hasil analisis empiris pengaruh panas dan beban terhadap kerusakan *traveling grate*, diketahui bahwa material dinyatakan aman untuk dibebani batubara, abu, serta menahan gaya dari *thermal stress* namun hasil ini belum dapat menjadi pegangan karena hilangnya dua sisi pendinginan saat perhitungan perpindahan panas yaitu pendinginan dari sisi depan dan belakang.
2. Hasil elaborasi tentang pengaruh panas dan beban secara numerik menggunakan *software ansys* didapatkan visualisasi area kritis kerusakan pada *traveling grate* yang mayoritas terdapat pada komponen *rack bone* tepatnya pertemuan bagian vertikal dan horizontal, di bagian ujung dekat luang baut dan di ujung bagian vertikal.
3. Hasil analisis numerik komponen *rack grate total deformation* rata – rata 0,036 mm, regangan 0,0035 atau 0,35%, *stress* 57,066 N/mm² yang dinyatakan bahwa kondisi aman dengan catatan kondisi operasional stabil.
4. Dari hasil simulasi yang dilakukan diketahui bahwa saat *rackbone* terkena panas, komponen ini mengalami perpanjangan disemua sisi. Posisi yang kami paling soroti utama adalah posisi perpanjangan yang mengarah ke baut dan ke *driving grate*. Setelah mencapai perpanjangan maksimal atau saat komponen mengalami perpanjangan berbenturan dengan komponen lainnya. Hal tersebut membuat kecenderungan komponen untuk menekan kearah yang lebih bebas, namun

sesuai hasil analisis numerik, komponen digambarkan cenderung untuk bergerak ke atas. Kondisi yang rentan ini akan diperburuk apabila adanya komponen tersebut menabrak bagian lain, dan dalam kasus yang kami temui komponen *rack grate*, mempunyai kecenderungan untuk menabrak *seal plate* dan *apron*.

5. Setelah melakukan evaluasi terhadap sistem yang telah disimulasikan. Diberikanlah beberapa rekomendasi yaitu berupa harus adanya upaya penghilangan beban yang tidak diinginkan dari *seal plate* dan *apron* dengan mengatur *clearance* komponen, memperkecil perbedaan suhu lewat pengoptimalan pemanasan awal udara bakar dan pengelolaan udara panas dari *furnace*, penyeragaman ukuran *rack bone* dengan rekomendasi ukuran panjang antara 604,5 mm hingga 609 mm, dan apabila perlu penggantian jenis bahan *rack bone* menjadi SBHS500 untuk menjamin keandalan sistem.

B. Saran

Dalam penelitian ini kami menyadari bahwa banyak kekurangan dari penulisannya. Saran dari berbagai pihak sangat dibutuhkan untuk penelitian lanjutan. Kami dalam hal ini juga menemui beberapa kendala dalam pengembangan simulasi, yang akhirnya dapat menjadi saran bagi siapapun yang ingin melakukan penelitian dibidang, bagian, ataupun komponen yang serupa. Adapun beberapa saran tersebut adalah,

1. Kami menyarankan untuk mengimplementasikan rekomendasi kami sebelum melakukan penelitian lanjutan bagi peneliti yang ingin mengembangkan penelitian ini.

2. Adanya simulasi *Ansys fluent* untuk melihat efek aliran udara terhadap kerusakan menjadi pengembangan penelitian lanjutan yang kami sarankan.
3. Pengembangan desain yang pertama kali harus diteliti kami rekomendasikan pada bentuk *seal plate* dan *apron* yang bisa mengakomodir aliran panas untuk meminimalisir *thermal stress* yang terjadi.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. P. Holman, HEAT TRANSFER, TENTH EDITION, New York: McGraw-Hill, 2010.
- [2] Y. A. Çengel, Heat Transfer a Practical Approach Second Edition, New York: McGraw-Hill, 2002.
- [3] P. A. Tipler and G. Mosca, "Chapter 20 Thermal Properties and Processes," in *Physics for Scientists and Engineers Sixth Edition*, Jakarta, Erlangga, 1991, pp. 665-688.
- [4] P. Bajpai, "Chapter 7 - Properties of Wood," in *Biermann's Handbook of Pulp and Paper, Raw Material and Pulp Making, Volume 1 Third Edition*, Kidlington, Elsevier, 2018, pp. 215-232.
- [5] W. T. Becker and R. J. Shipley, ASM HANDBOOK Volume 11 : Failure Analysis and Prevention, Ohio: ASM International, 2002.
- [6] A. P. Institute, Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry, Washington DC: API Publishing Services, 2011.
- [7] T. Y, "Part I: Bolted joints Chapter 9 - Effects of temperature on the response of composite bolted joints," in *Composite Joints and Connections Principles, Modelling and Testing A volume in Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering*, New Delhi, Woodhead Publishing, 2011, pp. 295-319.
- [8] Y. Qin, W.-N. W.A. and J. Zhao, "Chapter 13 - Forming of Micro-sheet Metal Components," in *A Volume in Micro and Nano Technologies, Micromanufacturing Engineering and Technology (Second Edition)*, Waltham, William Andrew Publishing, 2015, pp. 299-322.
- [9] R. A. Serway and J. W. Jewett. Jr., "Static Equilibrium and Elasticity," in *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics, Seventh Edition*, Belmont USA, Thompson Brooks Cole, 2008, pp. 337-347.
- [10] P. A. Tipler and G. Mosca, "Chapter 12 - Static Equilibrium and Elasticity," in *PHYSICS FOR SCIENTISTS AND ENGINEERS WITH MODERN PHYSICS*, New York, W. H. Freeman and Company, 2008, pp. 397-413.
- [11] H. N. Gupta, R. C. Gupta and A. Mittal, Manufacturing Processes Second Edition, New Delhi: New Age International Publishers, 2009.

- [12] E. Rafaat, A. Nassef, M. El-hadek and A. El-Megharbel, "Fatigue and thermal stress analysis of submerged steel pipes using ANSYS software," *Ocean Engineering*, vol. 193, no. 9, p. 106574, 2019.
- [13] E. B. Woodruff, H. B. Lammers and T. B. Lammers, *Steam Power Operation* Eight Edition, New York: McGraw-Hill, 2004.
- [14] R. L. Taole, R. M. S. Falcon and S. O. Bada, "The impact of coal quality on the efficiency of a spreader stoker boiler," *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, vol. 115, pp. 1159-1165, 01 12 2015.
- [15] D. Team, *Boiler Design Manual BOOK I – DEN BOILER MODEL BS-40*, Surabaya: PT Dinamika Energitama Nusantara, 2010.
- [16] D. Team, *Boiler Operation Manual BOOK III– DEN BOILER MODEL BS-40*, Surabaya: PT. Dinamika Energitama Nusantara, 2010.
- [17] D. Team, *Boiler Maintenance Manual BOOK II– DEN BOILER MODEL BS-40*, Surabaya: PT. Dinamika Energitama Nusantara, 2010.
- [18] K. A. Ali, D. J. Manuel, M. Balamurugan and M. S. Murugan, "Analysis of composite leaf spring using ANSYS software," *Materials Today: Proceedings*, vol. 4, no. 1, pp. 549-552, 2020.
- [19] Y. Sen, "Fatigue fracture analysis of the semi-auto shotgun mechanism by using finite element analysis and experimental setup," *Engineering Failure Analysis*, vol. 117, no. 20, p. 104963, 2019.
- [20] V. Mohanavel, S. Prasath, M. Arunkumar, G. M. Pradeep and S. Surendra Babu, *Modeling and stress analysis of aluminium alloy based composite pressure vessel through ANSYS software*, New Delhi: Elsevier, 2020.
- [21] A. S. Patil, R. Moheimani and H. Dalir, "Thermomechanical Analysis of Composite Plates Curing Process Using ANSYS Composite Cure Simulation," *Thermal Science and Engineering Progress*, vol. 14, no. 1, pp. 1-23, 2019.
- [22] T. Atkins, "Chapter 9 - Sharpness and Bluntness: Absolute or Relative?: Tool Materials and Tool Wear," in *The Science and Engineering of Cutting The Mechanics and Processes of Separating, Scratching and Puncturing Biomaterials, Metals and Non-Metals*, Amsterdam, Butterworth-Heinemann, 2009, pp. 221-243.
- [23] E. M. Baucio, *ASM Metals Reference Book*, Third edition, Materials Park, Ohio: ASM International, 1993.

- [24] S. Team, SAE Ferrous Materials Standards Manual, Warrendale, Pennsylvania: Society of Automotive Engineers, Inc., 1999.
- [25] D. C. Giancoli, Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics, 2nd ed., Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall Publishers, 1989.
- [26] H. E. Boyer and E. T. L. Gall, Metals Handbook, Materials Park, Ohio: American Society for Metals, 1985.
- [27] A. International, Metals Handbook, Vol.1 - Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys, Materials Park Ohio: ASM International, 1990.
- [28] P. D. Harvey, Engineering Properties of Steels, Metals Park, Ohio: American Society for Metals, 1982.
- [29] J. Davis and D. Associates, ASM Specialty Handbook - Carbon and Alloy Steels, Metals Park, Ohio: ASM International, H, 1996.
- [30] D. Peckner and I. M. Bernstein, Handbook of Stainless Steels, New York: McGraw-Hill Book Company, 1977.
- [31] L. H. V. Vlack, Materials for Engineering: Concepts and Applications, Reading: Addison-Wesley Publishing Company, 1982.
- [32] P. PLN (Persero), "Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT PLN (Persero)," Kementerian ESDM, Jakarta, 2010.
- [33] Kresnadi, "ruangguru_," PT RUANG RAYA INDONESIA, 23 October 2020. [Online]. Available: <https://blog.ruangguru.com/perpindahan-kalor>. [Accessed 02 January 2021].
- [34] I. Milne, . O. Ritchie and . L. Karihaloo, "Structural Behavior of Ceramics," in *Comprehensive Structural Integrity: Cyclic loading and fatigue Volume 2*, Gaithersburg, National Institute of Standards and Technology, 2003, pp. 429-454.
- [35] M. Pfeifer, "Chapter 6 - Degradation and Reliability of Materials," in *Materials Enabled Designs*, Burlington, Butterworth-Heinemann, 2009, pp. 161-187.
- [36] Stráský, M. Janeček and M. Landa, "4.2.2.2 Oxygen and elastic modulus," in *Titanium in Medical and Dental Applications*, Kidlington, Woodhead Publishing, 2018, pp. 375-380.

- [37] T. Dawson, V. Johnson and e. all., "CHAPTER 11 FRACTURE OF MATERIALS," in *EN380 Naval Materials Science and Engineering Course Notes*, Annapolis, usna.edu, 2005, pp. 11.1-11.19.
- [38] R. L. Mott and J. A. Untener, *Applied Strength of Materials; Six Edition*, Florida: Taylor & Francis Group, 2017.
- [39] R. F. Barron and B. R. Barron, *Design for Thermal Stresses*, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2012.



LAMPIRAN I

TABEL SIFAT MATERIAL



LAMPIRAN I

TABEL SIFAT MATERIAL

1) Material FCD 45

Tabel Sifat Material FCD 45

<i>Property</i>	<i>Value</i>
<i>Modulus of elasticity (E),</i>	163 GPa
<i>Modulus of shear,</i>	62.0 GPa
<i>Poisson's ratio (ν),</i>	0,31
<i>Density (ρ),</i>	7,10 – 7,20 g/cc
<i>Thermal conductivity (k),</i>	36 W/m.K for Ferritic grades, will change with an increase in pearlite , approx. 20% less
<i>Coefficient of thermal expansion (α),</i>	$6,5 - 11,5 \times 10^{-6} /K$
<i>Hardness,</i>	Brinell, 131 - 220 Knoop, 195 Vickers, 183
<i>Ultimate tensile stress,</i>	≥ 448 MPa
<i>Yield tensile stress,</i>	≥ 310 MPa
<i>Elongation at break,</i>	12 %
<i>Machinability,</i>	0,00 %
<i>Specific of heat,</i>	461 J/Kg.K at 21,11 °C
<i>Melting temperature,</i>	1148,89 °C

Sumber : ASM Metals Reference Book, Third edition [23]

2) Material SS 400

Tabel Sifat Material SS 400

<i>Property</i>	<i>Value</i>
<i>Modulus of elasticity (E),</i>	206 GPa
<i>Modulus of shear,</i>	80.0 GPa
<i>Poisson's ratio (ν),</i>	0.29
<i>Density (ρ),</i>	7,85 g/cc
<i>Thermal conductivity (k),</i>	57 – 60 W/m.K
<i>Coefficient of thermal expansion (α),</i>	$11,3 - 11,6 \times 10^{-6} /K$ at 20°C
<i>Hardness,</i>	N/A
<i>Ultimate tensile stress,</i>	414 – 515 MPa
<i>Yield tensile stress,</i>	230 MPa
<i>Elongation at break,</i>	20 – 23 %
<i>Machinability,</i>	N/A
<i>Specific of heat,</i>	473 J/Kg.K at 20 °C
<i>Melting temperature,</i>	1494 – 1527 °C

Sumber : SAE Ferrous Materials Standards Manual [24] [25] [26] [27] [28] [29]

3) Material S 35 C

Tabel Sifat Material S 35 C

<i>Property</i>	<i>Value</i>
<i>Modulus of elasticity (E),</i>	210 – 215 GPa
<i>Modulus of shear,</i>	75 – 80 GPa
<i>Poisson's ratio (ν),</i>	0,27 – 0,30
<i>Density (ρ),</i>	7,80 – 7,90 g/cc
<i>Thermal conductivity (k),</i>	36 – 54 W/m.K
<i>Coefficient of thermal expansion (α),</i>	$1,32 \times 10^{-5}$ /K
<i>Hardness,</i>	Brinell, 140 - 200
<i>Ultimate tensile stress,</i>	510 MPa
<i>Yield tensile stress,</i>	304 MPa
<i>Elongation at break,</i>	N/A
<i>Machinability,</i>	N/A
<i>Specific of heat,</i>	465 – 483 J/Kg.K at 20 °C
<i>Melting temperature,</i>	1380 – 1514 °C

Sumber : Metals Handbook [26] [30] [28] [27]

4) Material SCH 11

Tabel Sifat Material SCH 11

<i>Property</i>	<i>Value</i>
<i>Modulus of elasticity (E),</i>	195 Gpa
<i>Modulus of shear,</i>	77 Gpa
<i>Poisson's ratio (ν),</i>	0,3
<i>Density (ρ),</i>	7,90 – 8,20 g/cc
<i>Thermal conductivity (k),</i>	11 – 21 W/m.K
<i>Coefficient of thermal expansion (α),</i>	$1,7 - 1,9 \times 10^{-5}$ /°C
<i>Hardness,</i>	N/A
<i>Ultimate tensile stress,</i>	≥ 590 MPa
<i>Yield tensile stress,</i>	N/A
<i>Elongation at break,</i>	N/A
<i>Machinability,</i>	N/A
<i>Specific of heat,</i>	440 J/Kg.K at 20 °C
<i>Melting temperature,</i>	1375 – 1450 °C

Sumber : Metals Handbook [26] [30] [28] [27]

5) Material SUS 304

Tabel Sifat Material SUS 304

<i>Property</i>	<i>Value</i>
<i>Modulus of elasticity (E),</i>	193 – 200 GPa
<i>Modulus of shear,</i>	86 GPa
<i>Poisson's ratio (ν),</i>	0,29
<i>Density (ρ),</i>	8,00 g/cc
<i>Thermal conductivity (k),</i>	16,2 W/m.K at 20 °C 21 W/m.K at 500 °C
<i>Coefficient of thermal expansion (α),</i>	16×10^{-6} /K
<i>Hardness,</i>	<i>Brinell</i> , 123 <i>Knoop</i> , 138 <i>Rockwell</i> , 70 <i>Vickers</i> , 129
<i>Ultimate tensile stress,</i>	505 MPa
<i>Yield tensile stress,</i>	215 Mpa at 20 %
<i>Elongation at break,</i>	70 % at 50 mm
<i>Machinability,</i>	N/A
<i>Specific of heat,</i>	0,5 J/g. °C at 0 – 100 °C
<i>Melting temperature,</i>	1400 – 1455 °C

Sumber : Metals Handbook [26] [30] [28] [27]

6) Material FC 25

Tabel Sifat Material FC 25

<i>Property</i>	<i>Value</i>
<i>Modulus of elasticity (E),</i>	100 – 119 GPa
<i>Modulus of shear,</i>	40 – 48 GPa
<i>Poisson's ratio (ν),</i>	0,29
<i>Density (ρ),</i>	7.15 g/cc
<i>Thermal conductivity (k),</i>	N/A
<i>Coefficient of thermal expansion (α),</i>	65×10^{-6} /K
<i>Hardness,</i>	<i>Brinell</i> , 217 – 269 <i>Knoop</i> , 236 <i>Rockwell</i> , 13,7 <i>Vickers</i> , 223
<i>Ultimate tensile stress,</i>	220-260 MPa
<i>Yield tensile stress,</i>	60 MPa
<i>Elongation at break,</i>	N/A
<i>Machinability,</i>	30
<i>Specific of heat,</i>	N/A
<i>Melting temperature,</i>	N/A

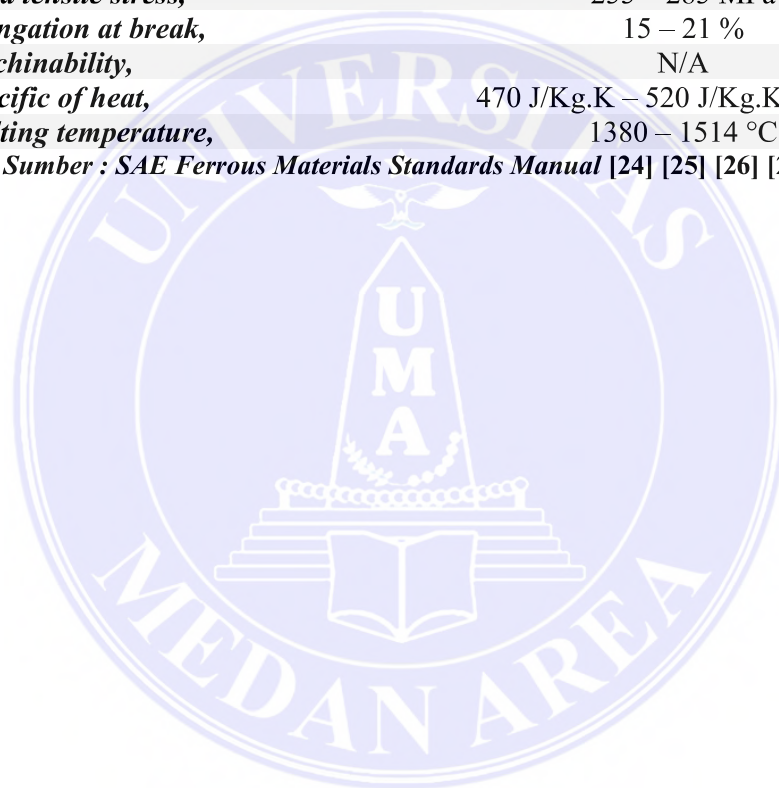
Sumber : Materials for Engineering: Concepts and Applications [31]

7) Material SS 490

Tabel Sifat Material SS 490

Property	Value
Modulus of elasticity (E),	200 – 215 GPa
Modulus of shear,	75.0 – 80.0 GPa
Poisson's ratio (v),	0.29
Density (ρ),	7,80 – 7,90 g/cc
Thermal conductivity (k),	21 – 52 W/m.K
Coefficient of thermal expansion (α),	$1,32 \times 10^{-5}$ /°C at 23°C
Hardness,	N/A
Ultimate tensile stress,	490 – 610 MPa
Yield tensile stress,	255 – 285 MPa
Elongation at break,	15 – 21 %
Machinability,	N/A
Specific of heat,	470 J/Kg.K – 520 J/Kg.K at 23 °C
Melting temperature,	1380 – 1514 °C

Sumber : SAE Ferrous Materials Standards Manual [24] [25] [26] [27] [28] [29]



LAMPIRAN II

DRAWING MANUFAKTUR

TRAVELING GRATE



© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

- Access From (repository.uma.ac.id)24/6/22

[illegible]

YOL

ST. J. HOLLER
1831
1832

APPROVED FOR CONSTRUCTION

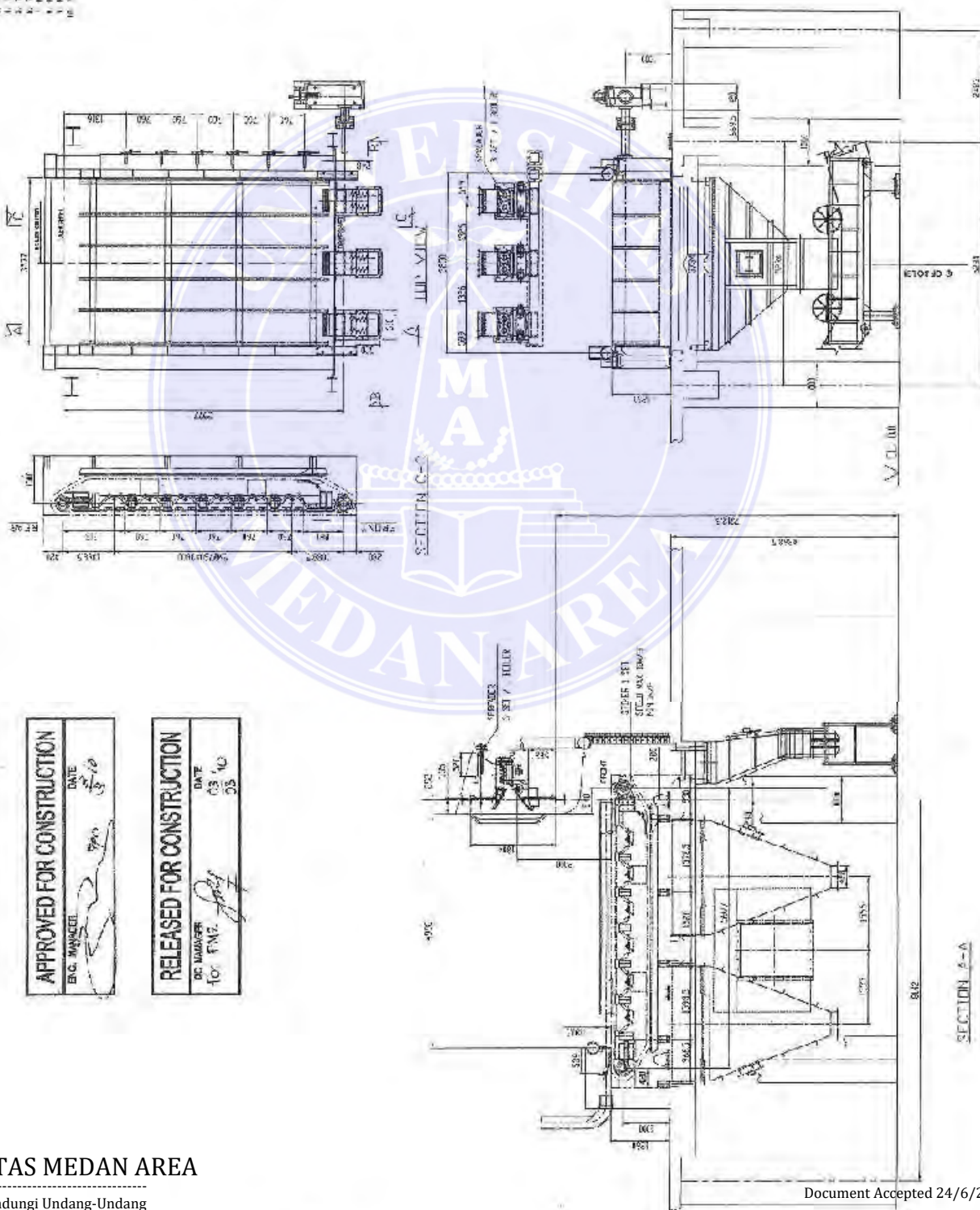
ENG. MANAGER

DATE 2/10

RELEASED FOR CONSTRUCTION

DC NUMBER 100 FM2

DATE 03 10 23



11/2/2021
2588

OWNER: PT PLN (Persero)
CUSTOMER: PT Rokescyte Elektronik
INSTALLATION ADDRESS: PT Rokescyte Elektronik
CONTACT NO: 021-871-0070
DATE: 10/04/02

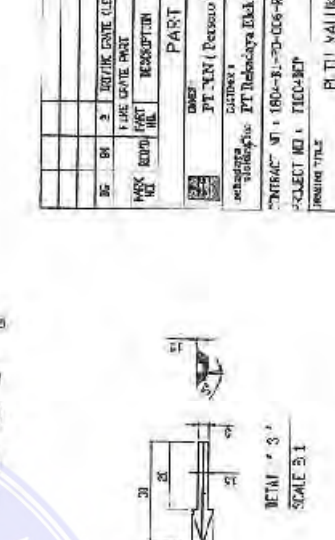
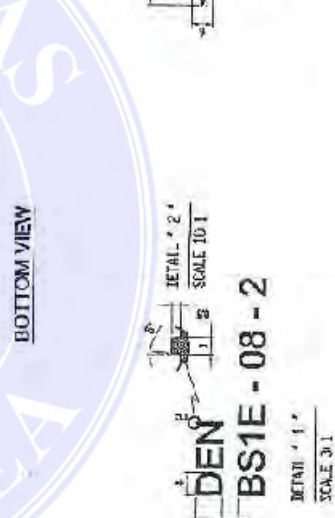
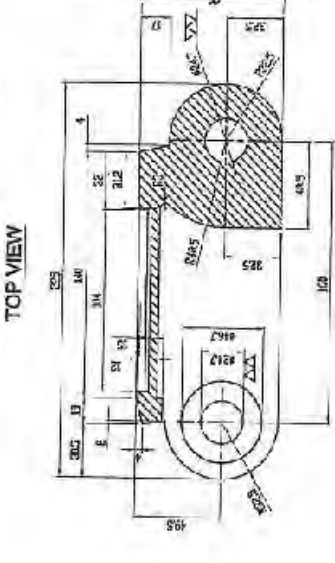
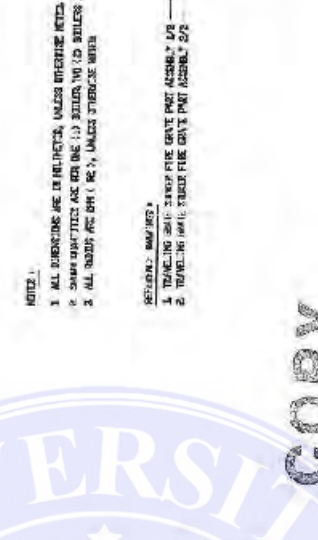
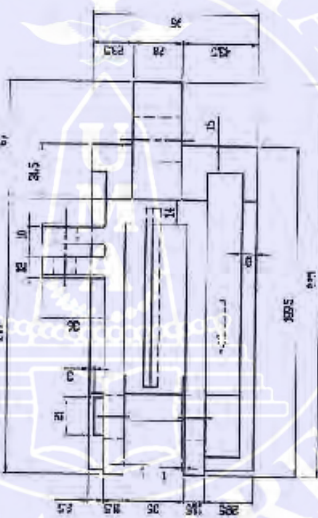
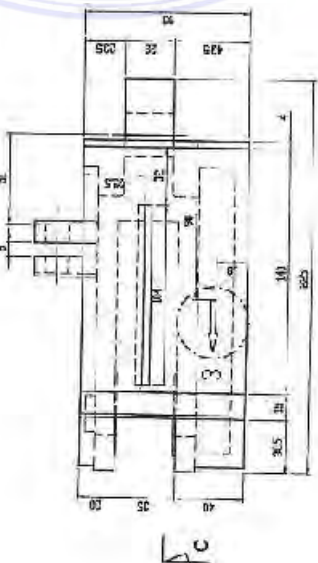
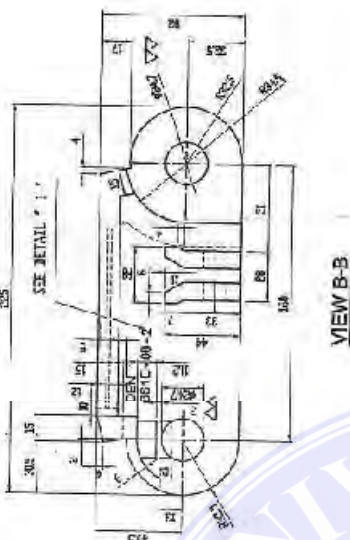
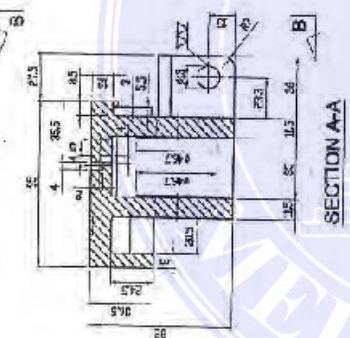
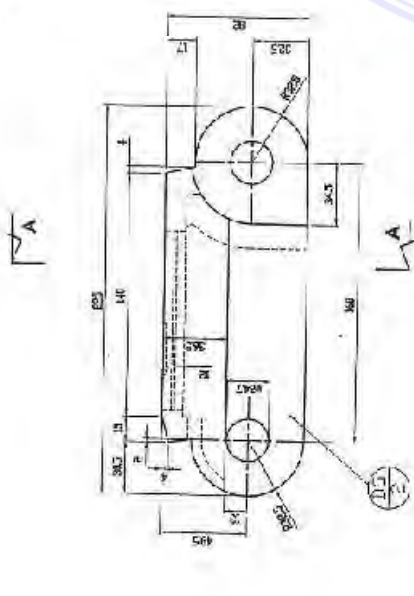
PLTU VALUK- JARA 2 X 7 MW
TRAVELING GRATE STOVE
BULEH UN1 #2 GENERAL ARRANGMENT[illegible]

Access From (repository.uma.ac.id)24/6/22

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)24/6/22

RELEASED FOR CONSTRUCTION		APPROVED FOR CONSTRUCTION	
CD. MANAGER	DATE	ENG. MANAGER	DATE
<i>[Signature]</i>	25/10/20	<i>[Signature]</i>	25/10/20



RELEASED FOR CONSTRUCTION
DATE 28/04/20

PART NUMBER LIST	
NO	DESCRIPTION
01	TRAVELING GRATE (LEFT SIDE)
02	TRAVELING GRATE (RIGHT SIDE)
03	TRAVELING GRATE (MATERIAL)
04	TRAVELING GRATE (WELDING)
05	TRAVELING GRATE (PAINTING)
06	TRAVELING GRATE (ASSEMBLY)
07	TRAVELING GRATE (DISASSEMBLY)
08	TRAVELING GRATE (REPAIR)
09	TRAVELING GRATE (MAINTENANCE)
10	TRAVELING GRATE (REPLACEMENT)

Access From (repository.uma.ac.id)24/6/22

RELEASED FOR CONSTRUCTION

DATE 02-03-10

BY: [Signature] FOR: [Signature]

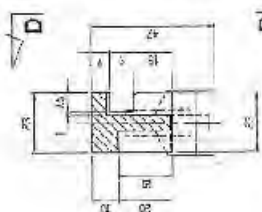
APPROVED FOR CONSTRUCTION

DATE: 12/1/83

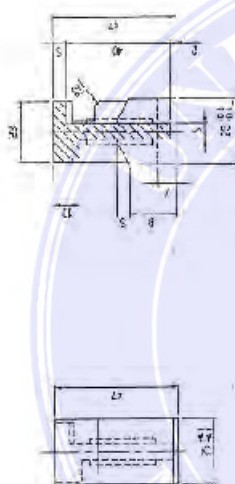
ENG. WARDER

0010

1. "ALL INFORMATION CONTAINED HEREIN IS UNCLASSIFIED."
2. "EXCEPT WHERE SHOWN OTHERWISE, ALL INFORMATION CONTAINED HEREIN IS UNCLASSIFIED."



SECTION C-C



SECTION B-B



VIEW D-D

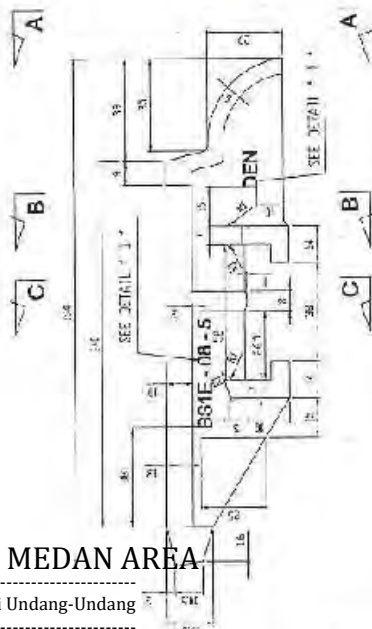


DETAIL

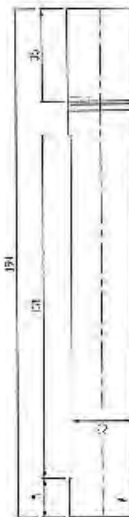
SCALE 10:1

BS1E-08-5

DETAILS



TOP VIEW



BOTTOM VIEW



項目	単位	数量	品名	用途	備考
1. 材料費	円	100.00	材料費	材料費	
2. 労務費	円	200.00	労務費	労務費	
3. 経費	円	50.00	経費	経費	
4. 雑費	円	10.00	雑費	雑費	
5. 合計	円	360.00	合計	合計	

DATE: _____
PAGE: _____

PT. Sekindaya Elektrika
CATERPILLAR

CONTRACT NO : 1804-B1-PJ 005 K
PROJECT NO : T1004BEF

REPORT TITLE

TRAVELING TRAIL, SUKER
FIRE GATE PART

3	DO	66 02 21E	N 23140-	1/36
1. HOW 2. DOES THE PROPERTY 3. RELATE TO THE PROJECT?				
4. HOW 5. DOES THE PROPERTY 6. RELATE TO THE PROJECT?				
7. HOW 8. DOES THE PROPERTY 9. RELATE TO THE PROJECT?				
10. HOW 11. DOES THE PROPERTY 12. RELATE TO THE PROJECT?				
13. HOW 14. DOES THE PROPERTY 15. RELATE TO THE PROJECT?				
16. HOW 17. DOES THE PROPERTY 18. RELATE TO THE PROJECT?				
19. HOW 20. DOES THE PROPERTY 21. RELATE TO THE PROJECT?				
22. HOW 23. DOES THE PROPERTY 24. RELATE TO THE PROJECT?				
25. HOW 26. DOES THE PROPERTY 27. RELATE TO THE PROJECT?				
28. HOW 29. DOES THE PROPERTY 30. RELATE TO THE PROJECT?				
31. HOW 32. DOES THE PROPERTY 33. RELATE TO THE PROJECT?				
34. HOW 35. DOES THE PROPERTY 36. RELATE TO THE PROJECT?				
37. HOW 38. DOES THE PROPERTY 39. RELATE TO THE PROJECT?				
40. HOW 41. DOES THE PROPERTY 42. RELATE TO THE PROJECT?				
43. HOW 44. DOES THE PROPERTY 45. RELATE TO THE PROJECT?				
46. HOW 47. DOES THE PROPERTY 48. RELATE TO THE PROJECT?				
49. HOW 50. DOES THE PROPERTY 51. RELATE TO THE PROJECT?				
52. HOW 53. DOES THE PROPERTY 54. RELATE TO THE PROJECT?				
55. HOW 56. DOES THE PROPERTY 57. RELATE TO THE PROJECT?				
58. HOW 59. DOES THE PROPERTY 60. RELATE TO THE PROJECT?				
61. HOW 62. DOES THE PROPERTY 63. RELATE TO THE PROJECT?				
64. HOW 65. DOES THE PROPERTY 66. RELATE TO THE PROJECT?				
67. HOW 68. DOES THE PROPERTY 69. RELATE TO THE PROJECT?				
70. HOW 71. DOES THE PROPERTY 72. RELATE TO THE PROJECT?				
73. HOW 74. DOES THE PROPERTY 75. RELATE TO THE PROJECT?				
76. HOW 77. DOES THE PROPERTY 78. RELATE TO THE PROJECT?				
79. HOW 80. DOES THE PROPERTY 81. RELATE TO THE PROJECT?				
82. HOW 83. DOES THE PROPERTY 84. RELATE TO THE PROJECT?				
85. HOW 86. DOES THE PROPERTY 87. RELATE TO THE PROJECT?				
88. HOW 89. DOES THE PROPERTY 90. RELATE TO THE PROJECT?				
91. HOW 92. DOES THE PROPERTY 93. RELATE TO THE PROJECT?				
94. HOW 95. DOES THE PROPERTY 96. RELATE TO THE PROJECT?				
97. HOW 98. DOES THE PROPERTY 99. RELATE TO THE PROJECT?				
100. HOW 101. DOES THE PROPERTY 102. RELATE TO THE PROJECT?				
103. HOW 104. DOES THE PROPERTY 105. RELATE TO THE PROJECT?				
106. HOW 107. DOES THE PROPERTY 108. RELATE TO THE PROJECT?				
109. HOW 110. DOES THE PROPERTY 111. RELATE TO THE PROJECT?				
112. HOW 113. DOES THE PROPERTY 114. RELATE TO THE PROJECT?				
115. HOW 116. DOES THE PROPERTY 117. RELATE TO THE PROJECT?				
118. HOW 119. DOES THE PROPERTY 120. RELATE TO THE PROJECT?				
121. HOW 122. DOES THE PROPERTY 123. RELATE TO THE PROJECT?				
124. HOW 125. DOES THE PROPERTY 126. RELATE TO THE PROJECT?				
127. HOW 128. DOES THE PROPERTY 129. RELATE TO THE PROJECT?				
130. HOW 131. DOES THE PROPERTY 132. RELATE TO THE PROJECT?				
133. HOW 134. DOES THE PROPERTY 135. RELATE TO THE PROJECT?				
136. HOW 137. DOES THE PROPERTY 138. RELATE TO THE PROJECT?				
139. HOW 140. DOES THE PROPERTY 141. RELATE TO THE PROJECT?				
142. HOW 143. DOES THE PROPERTY 144. RELATE TO THE PROJECT?				
145. HOW 146. DOES THE PROPERTY 147. RELATE TO THE PROJECT?				
148. HOW 149. DOES THE PROPERTY 150. RELATE TO THE PROJECT?				
151. HOW 152. DOES THE PROPERTY 153. RELATE TO THE PROJECT?				
154. HOW 155. DOES THE PROPERTY 156. RELATE TO THE PROJECT?				
157. HOW 158. DOES THE PROPERTY 159. RELATE TO THE PROJECT?				
160. HOW 161. DOES THE PROPERTY 162. RELATE TO THE PROJECT?				
163. HOW 164. DOES THE PROPERTY 165. RELATE TO THE PROJECT?				
166. HOW 167. DOES THE PROPERTY 168. RELATE TO THE PROJECT?				
169. HOW 170. DOES THE PROPERTY 171. RELATE TO THE PROJECT?				
172. HOW 173. DOES				

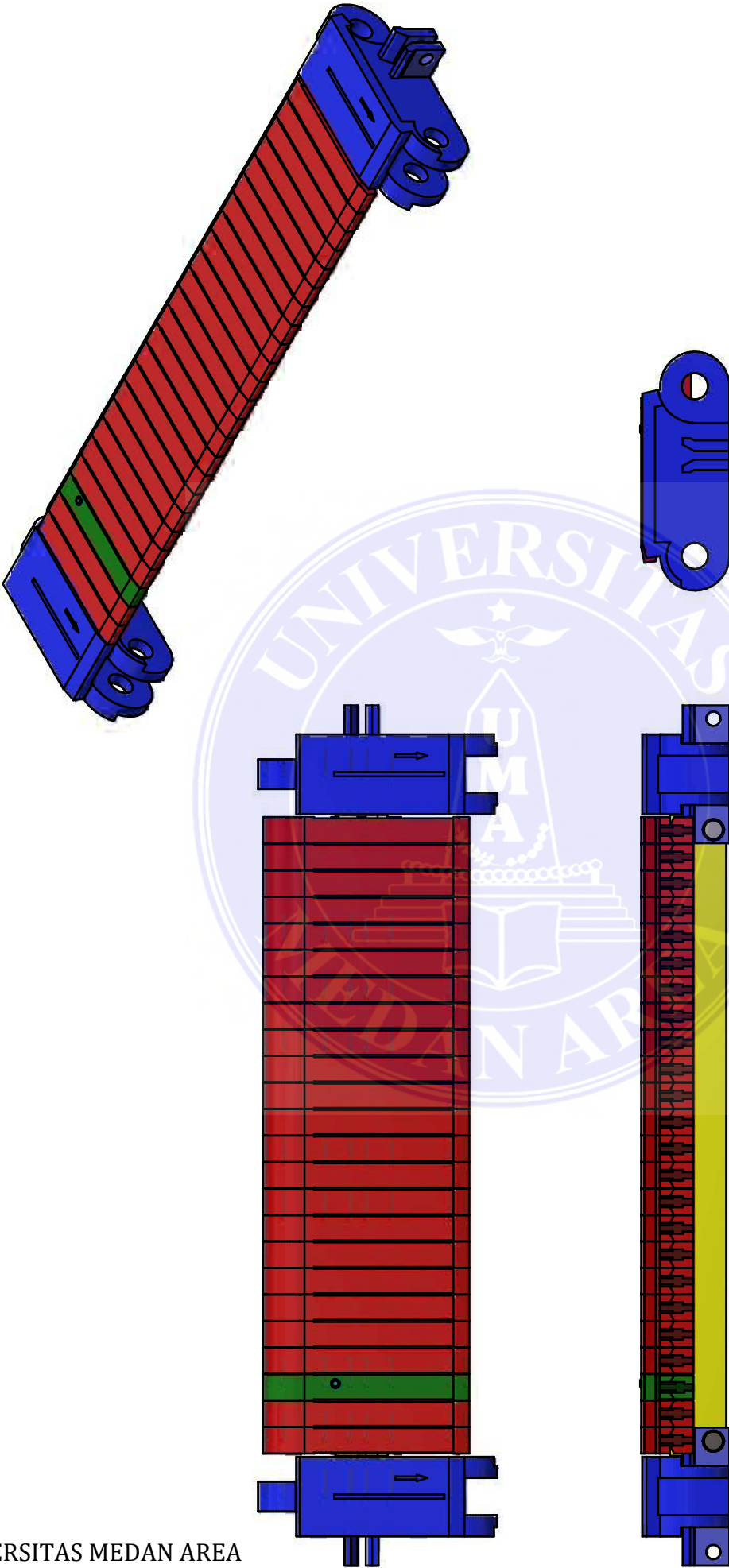
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)24/6/22

LAMPIRAN III

DRAWING RACK GRATE



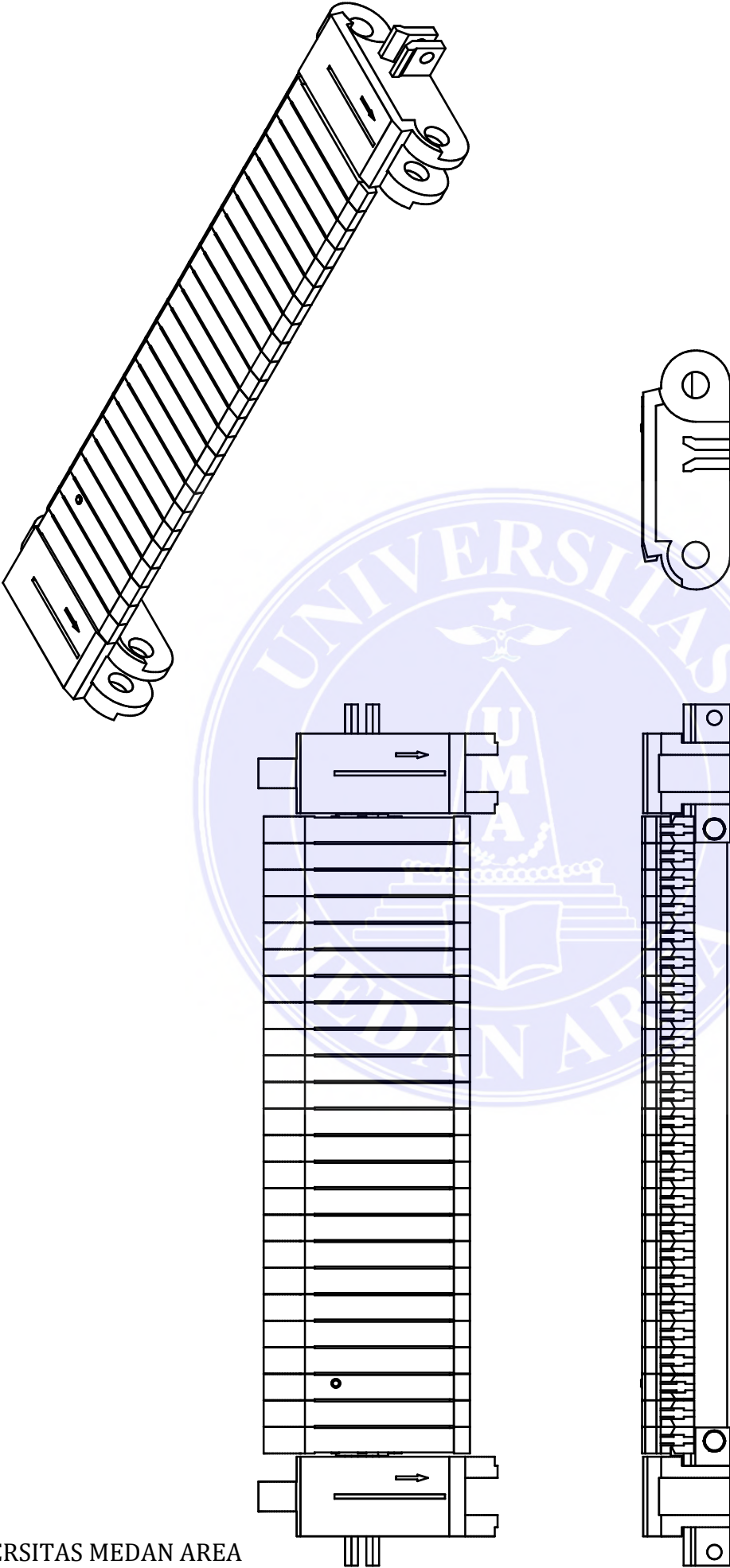


DRAWN		JAN 2021	UNIVERSITAS MEDAN AREA		
SS			TITLE		
CHECKED		MAR 2021			
BE & EA			RACK GRATE ASSEMBLY		
QA					
MFG		MAR 2021	DWG NO		
FK					
APPROVED		MAR 2021	REV		
AD					
			001		
			A3		
			1:4		
			SHEET 1 OF 1		

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



DRAWN		JAN 2021	UNIVERSITAS MEDAN AREA	
SS				
CHECKED		MAR 2021	TITLE	
BE & EA			RACK GRATE ASSEMBLY	
QA				
MFG		MAR 2021		
FK				
APPROVED		MAR 2021		
AD				
			SIZE	DWG NO
			A3	01
			SCALE	REV
			1:4	001
			SHEET 1 OF 1	

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