



Analisis Pengaruh Panas dan Beban terhadap Kerusakan Traveling Grate pada Boiler Di PLTU Tembilahan 2×7 MW

Analysis of Heat and Load Effect on Traveling Grate Damage in Boilers at PLTU Tembilahan 2×7 MW

Sandi Saputra¹, Siswo Pranoto², SettingsYopan Rahmad Aldori¹, Syurkarni Ali³, Junaidi⁴, Andri Herlambang⁵, Muhammad Yusuf R. Siahaan¹, Muhammad Idris^{1*},

¹Universitas Medan Area, Indonesia

²Sekolah Tinggi Teknologi Pekanbaru, Indonesia

³Universitas Teuku Umar

⁴Universitas Harapan Medan, Indonesia

⁵Universitas Potensi Utama

Diterima: 24-04-2023

Disetujui: 07-06-2023

Dipublikasikan: 30-12-2023

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

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: Stoker Boiler; Thermal Stress; Traveling Grate; Ansys Workbench

How to Cite: Saputra, S. 2023, Analisis Pengaruh Panas dan Beban terhadap Kerusakan Traveling Grate pada Boiler Di PLTU Tembilahan 2×7 MW, JMEMME (Journal of Mechanical Engineering, Manufactures, Materials and Energy), 7 (2): 113-127.

PENDAHULUAN

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 [1]. Program PLTU 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 [2], [3].

Berdasarkan hasil survey, PLTU tembilahan mengalami berbagai gangguan, dengan jumlah sebanyak 22 kali gangguan. Dengan detail gangguan sebanyak 18 kali dari gangguan boiler tersebut dialami oleh komponen *traveling grate*. Dari banyak masalah yang ada masalah thermal stress dan tekanan pada balok sering kali menjadi hal yang paling dicurigai dari kerusakan di *traveling grate*. Tekanan pada balok adalah sebuah variable yang diakibatkan oleh gaya atau momen yang bekerja pada sebuah balok, dua hal penting yang dapat menahan variable ini adalah momen inersia dan kekuatan dari bahan balok itu sendiri [4]–[6]. Dalam penelitian ini, perhitungan kekuatan bahan ialah menggunakan persamaan 1.

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad (1)$$

Dimana σ ialah Tegangan ($\text{MPa} = \text{N/m}^2$), M ialah Momen Lentur (Nm), c ialah Jarak titik sumbu x ke titik pusat (m), dan I ialah Momen Inersia (m^4).

Selain adanya tegangan pada balok *traveling grate* yang berposisi di furnace, hal ini menyebabkan adanya perpindahan panas yang menyebabkan 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 [7]–[9]. Hal ini membuat material menjadi lebih lemah dari sifat dasarnya. Fenomena ini dapat dirumuskan lewat penjabaran rumus muai panjang dan tegangan yang diperlihatkan pada persamaan 2.

$$\sigma = E\alpha\Delta T \quad (2)$$

Dimana: E ialah Modulus Young / Modulus Elastisitas ($\text{Pa} = \text{N/m}^2$), ϵ ialah regangan (m/m atau lebih sering dinyatakan dengan %), L_0 ialah Panjang Awal (m), α ialah Koefisien Muai Linear ($/\text{K}$), dan ΔT ialah Perubahan Temperatur (K).

Dalam analisis pada penelitian ini, juga akan dilakukan analisis numerik berupa pembuatan simulasi dengan software Ansys Workbench. Hal ini dilakukan untuk melihat tampilan yang ideal pada sistem kerja traveling grate. Dalam simulasinya 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 [10]–[12]. Terakhir, proses benchmarking yang 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 [13]–[16].

Simulasi numerik adalah proses penggunaan metode matematis dan komputasi untuk memodelkan dan memprediksi perilaku sistem atau fenomena secara virtual [17]–[21]. Dalam konteks penelitian yang disebutkan, simulasi numerik digunakan untuk memodelkan pengaruh panas dan beban pada komponen traveling grate. Simulasi numerik dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak atau software tertentu, seperti Ansys, untuk membangun model yang mendekati kondisi nyata dan memperoleh hasil yang dapat dianalisis secara matematis [22]–[25]. Dalam kasus ini, simulasi numerik digunakan untuk memvisualisasikan area kritis kerusakan pada traveling grate, mengukur deformasi, regangan, dan stress pada komponen rack grate, serta memprediksi perilaku komponen dalam berbagai kondisi operasional. Dengan menggunakan metode simulasi numerik, penelitian dapat menyajikan data yang lebih terperinci dan mendalam mengenai respons sistem terhadap perubahan panas dan beban [26]–[29]. Hal ini memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi area yang rentan terhadap kerusakan, mengevaluasi kinerja sistem, dan menghasilkan rekomendasi perbaikan atau pengoptimalan untuk meningkatkan keandalan dan efisiensi sistem. Simulasi numerik

memiliki keuntungan dalam menghemat waktu dan biaya, karena memungkinkan peneliti untuk melakukan percobaan virtual dan menganalisis berbagai skenario dengan cepat dan efisien. Namun, hasil simulasi perlu divalidasi dengan data empiris atau eksperimen nyata guna memastikan keakuratan dan validitas model yang digunakan [30]–[32].

Tujuan penelitian ini ialah menganalisis pengaruh panas dan beban terhadap kerusakan traveling grate, mengidentifikasi area kritis kerusakan pada traveling grate, menilai kondisi aman dan stabilitas operasional, dan memberikan rekomendasi perbaikan dan pengoptimalan kerja traveling grate.

METODE PENELITIAN [Cambria 12, bold]

Penelitian ini dilaksanakan di PLTU Tembilahan 2x7 MW yang berlokasi di alamat Jalan Terusan Mas Parit 23, Kota Tembilahan, Kabupaten Indragiri Hilir, Provinsi Riau. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya adalah:

1. Boiler, tempat komponen traveling grate melakukan fungsinya. Bentuk unit boiler diperlihatkan pada gambar 1.
2. Instrumentasi yang digunakan adalah instrumen 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 (DCS) dengan Honeywell sebagai developer software tersebut. Tampilan DCS diperlihatkan pada gambar 2.
3. Temperature transmitter (TT) digunakan untuk mengukur suhu di furnace, compartment boiler, area suplai udara, dan area peralihan. Sedangkan pressure transmitter (PT) digunakan untuk mengukur tekanan udara setelah ruang bakar dan daerah suplai udara. Bentuk alat ukur TT dan PT diperlihatkan pada gambar 3.
4. Level Transmitter (LT) digunakan sebagai pengukur ketebalan batubara. Bentuk alat ini diperlihatkan pada gambar 4.
5. Komputer digunakan untuk memudahkan proses pencatatan data, simulasi, dan pembuatan naskah.
6. *Software* Permodelan dan Simulasi digunakan untuk menjalankan simulasi.



(a) (b)
Gambar 1. Alat penelitian: (a) traveling grate, (b) unit boiler



Gambar 2. DCS dan local instrument



(a) (b)
Gambar 3. Alat ukur: (a) Temperature Transmitter, (b) Pressure Transmitter



Gambar 4. Level Transmitter

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Batubara, detailnya kalori bahan bakar yang dipakai untuk operasi untuk pembangkit adalah 3800 kcal – 4200 kcal [5]. Bentuk bahan ini diperlihatkan pada gambar 5.
2. Bahan Pendukung, merupakan bahan yang digunakan untuk produksi dan operasi pembangkit yaitu seperti air, oli, bahan kimia, bensin, kayu, dan lain – lain.



Gambar 5. Batubara

Parameter pembangkit yang akan diperhatikan, dan diambil datanya dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: Temperatur compartment traveling grate ($^{\circ}\text{C}$), Temperatur ruang bakar ($^{\circ}\text{C}$), Ketebalan Abu Batubara (m), Lengkungan rack grate (m), Ukuran rack grate (m), Ukuran grate clip (m), Data berat batubara (kg), dan Berat komponen berkontak (kg). Pengambilan data penelitian dilakukan dengan metode observasi langsung dengan mencatat parameter pada local dan instrumen digital saat pembangkit beroperasi stabil. Setelah semua data terkumpul, dilakukan Perata – rataan data untuk selanjutnya dihitung tegangan pada komponen, perpindahan panas, dan thermal stress. Setelah itu kami lakukan simulasi dengan data primer yang didapat dalam penelitian ke software analisis numerik yang dalam hal ini software yang dipakai adalah Ansys Workbench. Urutan langkah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: Persiapan

peralatan dan bahan, Persiapan checklist pengukuran parameter, Pengecekan normal fungsi alat ukur, Persiapan bahan – bahan untuk operasi, Pencatatan parameter data pembangkit saat beban stabil, Menghitung tegangan, perpindahan panas, dan thermal stress, Membuat analisis numerik dengan software, Memvalidasi hasil analisis empiris dan hasil analisis numerik, Membandingkan hasil analisis empiris dan hasil analisis numerik, dan Kesimpulan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data-data hasil pengamatan langsung di lapangan yang merupakan data primer dalam penelitian ini diperlihatkan pada tabel 1. Data beban batubara diambil dari 2 tipe percobaan, percobaan pertama adalah pendataan penggunaan batubara perjam, yang dibagi dengan luas daerah lempar. Dari hasil percobaan pertama didapatkan nilai sebesar 40,849 kg untuk berat batubara yang ditanggung oleh satu buah rack grate. Sedangkan percobaan kedua adalah melakukan pengujian langsung dengan melakukan pelontaran selama satu jam bersamaan dengan dioperasikannya putaran traveling grate. Selanjutnya batubara yang di atas rack grate diambil dan ditimbang, dengan sample yang kami ambil sebanyak 9 tempat rack grate, dengan nilai hasil pengujian sebesar 40,189 kg. Perbedaan antara kedua data tersebut adalah kurang dari 2% dengan data yang diambil adalah data dari percobaan pertama, dengan beban sebesar 400,606 N. Diketahui bahwa bagian yang rusak adalah komponen rackbone. Maka, beban yang ditanggung oleh rackbone dihitung secara prinsip kerja adalah beban batubara dan beban dari komponen grate clip, dengan komponen grate clip. Dengan mengetahui berat tersebut maka beban batubara dan grate clip yang ditanggung oleh sebuah rackbone adalah sebesar 534,452 N.

Tabel 1. Data primer penelitian

No.	Parameter	Nilai	Keterangan
Data Panjang <i>Grate</i> (mm)			
1.	Data Panjang 1	604,5	Ukuran <i>Drawing</i>
	Data Panjang 2	608,7	Pengukuran
	Data Panjang 3	613,95	Pengukuran
	Data Panjang 4	619,2	Pengukuran
Data Tebal Abu (mm)			
2	Data Tebal Abu 1	25,78517	Pengukuran
	Data Tebal Abu 2	35,45263	Pengukuran
	Data Tebal Abu 3	50,59155	Pengukuran
	Data Tebal Abu 4	75	ASME Sec. VII
	Data Tebal Abu 5	150	ASME Sec. VII
Data Temperatur Bagian <i>Compartment Traveling Grate</i> (°C)			
3	Data Temperatur Minimum	368,25	Pengukuran
	Data Temperatur Maximum	384,11	Pengukuran
	Data Temperatur Rata - Rata	375,481	
4	Data Temperatur <i>Furnace</i> (°C)		

	Data Temperatur Minimum	687,31	Pengukuran
	Data Temperatur Maximum	699,84	Pengukuran
	Data Temperatur Rata - Rata	692,3925	
	Data Temperatur Area Peralihan (°C)		
5	Data Temperatur Minimum	380,78	Pengukuran
	Data Temperatur Maximum	486,54	Pengukuran
	Data Temperatur Rata - Rata	387,5263	
	Data Temperatur Area Suplai Udara (°C)		
6	Data Temperatur Minimum	259,8	Pengukuran
	Data Temperatur Maximum	333,34	Pengukuran
	Data Temperatur Rata - Rata	327,161	
	Data Penggunaan Batubara (Ton / Jam)		
7	Penggunaan Batubara Maximum	6,28	Pengukuran
	Penggunaan Batubara Minimum	7,50	Pengukuran
	Penggunaan Batubara Rata - Rata	7,12	
	Data Daya Terbangkitkan		
8	Data Daya Terbangkitkan Minimum	2,300	Pengukuran
	Data Daya Terbangkitkan Maximum	6,670	Pengukuran
	Data Daya Terbangkitkan Rata - Rata	5,747	
	Kecepatan Putar <i>Traveling Grate</i> (m / jam)		
9	Kecepatan Putar Minimum	1	Pengukuran
	Kecepatan Putar Maximum	3	Pengukuran
	Kecepatan Putar Rata - Rata	2	
	Data Berat Lemparan Batubara Pada <i>Grate</i> (kg)		
10	Data Minimum	39,549	Pengukuran
	Data Maximum	41,291	Pengukuran
	Data Rata - Rata	40,185	
	Data Berat <i>Apron</i> (kg)		
11	Data Minimum	9,209	Pengukuran
	Data Maximum	9,213	Pengukuran
	Data Rata - Rata	9,211	
	Data Berat <i>Seal Plate</i> (kg)		
12	Data Minimum	18,019	Pengukuran
	Data Maximum	18,112	Pengukuran
	Data Rata - Rata	18,050	
	Data Tekanan Udara <i>Furnace</i> (kg/cm ²)		
13	Data Minimum	0,010	Pengukuran
	Data Maximum	0,040	Pengukuran
	Data Rata - Rata	0,019	

Hasil perhitungan momen inersia rack grate diperlihatkan pada tabel 2. Dalam perhitungan momen inersia maka balok akan dihitung momen inersianya menjadi dua bidang, yaitu momen inersia bidang pertama (I_{x1}) dan bidang kedua (I_{x2}).

Tabel 2. Momen inersia pada rack grate T

Nama Komponen	I_{x1}	I_{x2} m ⁴	Total
Rack Grate	0,000000025	0,0000000643	0,0000000893

Maka, nilai momen inersia penampang T adalah sebesar $8,93 \times 10^{-7} \text{ m}^4$. Dengan telah didapatkannya nilai momen inersia. Langkah berikutnya dilanjutkan dengan melakukan perhitungan tegangan yang diakibatkan oleh berat batubara dan rack clip terhadap rackbone. Hasil perhitungan tersebut diperlihatkan pada tabel 3.

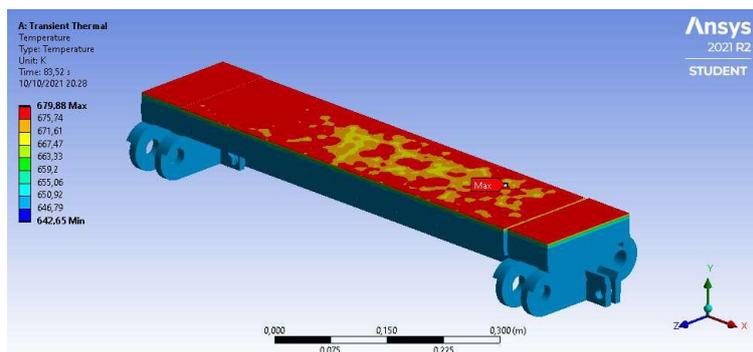
Tabel 3. Hasil perhitungan tegangan tarik dan tekan

No	Komponen	Tegangan Tarik Maksimum (MPa)	Tegangan Tekan Maksimum (MPa)
1.	Batubara	31,566	10,944
2.	Apron	1,088	0,377
3.	Seal Plate	2,132	0,739

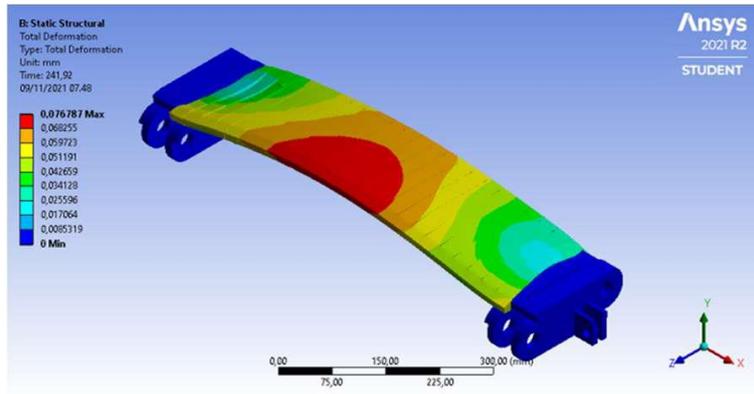
Setelah semua tegangan dihitung, maka nilai safety factor untuk tegangan izin diperoleh 115 MPa untuk kondisi normal dan 92 MPa untuk akibat tenangan suhu. Dengan demikian, kondisi keamanan konstruksi dapat dinyatakan aman sebab masih dibawah tegangan yang diizinkan.

Hasil simulasi dibedakan atas 2 tahap. Tahap pertama yaitu untuk simulasi panas dengan tujuan mengetahui panas yang dialami permukaan atas rack grate dengan variasi ketebalan batubara 25,785 mm, 35,453 mm, 50, 592 mm dan standar ASME Sec. VII yaitu 75 mm dan 150 mm. Hasil simulasi tahap I diperlihatkan pada gambar 6. Pada Simulasi tersebut didapatkan hasil bahwa pada tebal 25,785 mm suhu rata – rata permukaan rack grate terletak di 375,59875°C, pada tebal 35,453 mm suhu rata – rata permukaan rack grate terletak di 375,48625°C, pada tebal 50,592 mm suhu rata – rata permukaan rack grate terletak di 375,485°C dan standar ASME Sec. VII yaitu pada tebal 75 mm suhu rata – rata permukaan rack grate terletak di 375,480C dan pada tebal 150 mm suhu rata – rata permukaan rack grate terletak di 375,480C.

Setelah hasil simulasi tahap pertama didapat maka, selanjutnya dilakukan simulasi ke tahap kedua yaitu melakukan simulasi satu putaran penuh seperti diperlihatkan pada gambar 7.



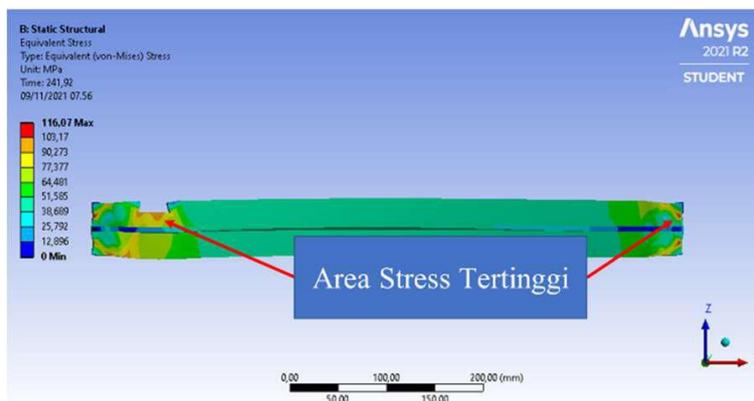
Gambar 6. Simulasi Tahap 1



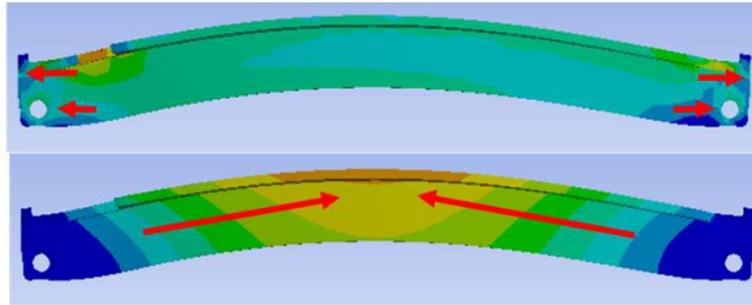
Gambar 7. Simulasi Tahap 2

Berdasarkan gambar 7, dalam hasil tersebut didapat bahwa adalah deformasi terbesar terdapat pada simulasi adalah sebesar 0,76787 mm di simulasi panjang rackbone 619,2 mm pada ketebalan abu sebesar 25,785 mm, sedangkan deformasi terkecil ada pada simulasi dengan panjang rackbone 608,7mm dan ketebalan 75 mm dengan besar deformasi 0,76734 mm.

Dari hasil simulasi juga diketahui bahwa penyebab kerusakan traveling grate dikarenakan adanya tegangan pada komponen yang melewati tegangan safety factor dengan besar di antara 115,87 MPa – 116,07 MPa pada area yang ditunjukkan pada gambar 8. 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, seperti yang dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 8. Tegangan pada komponen tertinggi



Gambar 9. Pemuaiian komponen

Hal tersebut membuat kecenderungan komponen untuk menekan ke arah yang lebih bebas, bisa kebawah, kesamping kiri, atau kanan, namun dalam simulasi 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.

Penjelasan diatas memuat beberapa akar masalah yang menjadi faktor kerusakan dari kasus rack grate yang sedang diteliti. Langkah terbaik yang dapat dipilih adalah mengurangi atau menghilangkan variabel – variabel yang dianggap menjadi masalah, membuat kemungkinan resiko kerusakan dapat diminimalisir bahkan dihilangkan. Adapun hasil evaluasi yang didapatkan adalah:

- a. Adanya beban yang tidak masuk dalam perhitungan desain, yaitu beban dari komponen seal plate dan apron. Beban ini diakibatkan oleh pemuaiian panjang yang terjadi pada komponen tersebut sehingga akhirnya komponen ini berkontak dengan traveling grate.
- b. Adanya perbedaan suhu yang cukup besar antara ruang dibagian suplai udara antara apron & seal plate dan ruang bakar. Perbedaan suhu ini mengakibatkan adanya thermal stress yang berdampak terhadap komponen yang bekerja.
- c. Adanya ketidak-seragaman ukuran pada komponen rack bone, hal ini mungkin disebabkan tidak adanya test bench dari pabrikan ataupun sisa material yang tidak di-finishing. Hal ini mengakibatkan tidak ratanya stress dan strain yang terjadi pada suatu sistem traveling grate.
- d. Adanya temuan operasi tentang pengoperasian stoker dengan tebal abu batubara yang tidak sesuai dengan prosedur ASME Sec. VII. Sebenarnya secara perhitungan teoritis dampak langsung ke komponen mulai dari temperatur, deformasi, stress,

dan strain yang tidak signifikan namun hal ini akan berpengaruh dari lifetime komponen boiler terutama komponen yang ada diruang bakar.

KESIMPULAN

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. 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. Hasil analisis numerik komponen rack grate total deformation rata - rata 0,063 mm, regangan 0,00476 atau 0,48%, stress 42,139 N/mm² yang dinyatakan bahwa kondisi aman dengan catatan kondisi operasional stabil. Dari hasil simulasi yang dilakukan diketahui bahwa saat rack bone 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. 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.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Manajemen PT PLN (Persero) dan Tim Operasi PJB Services PLTU Tembilahan yang telah membantu penelitian dan menyediakan data operasi pembangkit yang digunakan pada penelitian ini.

REFERENSI

- [1] P. L. Negara, "Standar Operasi Pusat Listrik Tenaga Gas," Jakarta, 1989.
- [2] K. L. Yana, K. R. Dantes, and N. A. Wigraha, "Rancang Bangun Mesin Pompa Air Dengan Sistem Recharging," *J. Pendidik. Tek. Mesin Undiksha*, vol. 5, no. 2, 2017, doi: 10.23887/jitm.v5i2.10872.
- [3] M. Amirhafizan, M. Yuhazri, H. Umarfaruq, S. Lau, A. Kamarul, and A. Zulfikar, "Laminated Jute and Glass Fibre Reinforced Composite for Repairing Concrete Through Wrapping Technique," *Int. J. Integr. Eng.*, vol. 15, no. 1, pp. 1–8, 2023.
- [4] J. M. Gere, *Mechanics of Materials*, 6th ed. New York: Thomson Learning, Inc., 2017.
- [5] M. Y. Yuhazri, A. J. Zulfikar, and A. Ginting, "Fiber Reinforced Polymer Composite as a Strengthening of Concrete Structures : A Review," in *Materials Science and Engineering*, Medan: IOP Conference Series, 2020, pp. 1–12. doi: 10.1088/1757-899X/1003/1/012135.
- [6] D. Wang *et al.*, "Tuning layer thickness and layer arrangement in a GdMnO₃ and GdMnO₃-MoSe₂ bi-layer absorber to cover the S, C, and X band frequency range," *Surfaces and Interfaces*, vol. 36, no. 1, p. 102507, 2023.
- [7] Z. Li, X. Liang, C. Liu, M. Liang, K. Van Breugel, and G. Ye, "Cement and Concrete Research Thermal deformation and stress of alkali-activated slag concrete under semi-adiabatic condition : Experiments and simulations," *Cem. Concr. Res.*, vol. 159, no. June, p. 106887, 2022, doi: 10.1016/j.cemconres.2022.106887.
- [8] D. Alamsyah, A. J. Zulfikar, M. Yusuf, and R. Siahaan, "Optimasi kekuatan tekan beton kolom silinder diperkuat selubung komposit laminat jute dengan metode anova compressive strength optimization of cylindrical column concrete reinforced jute laminated composite wrap with anova method," *Jcebt*, vol. 6, no. 1, pp. 30–36, 2022, [Online]. Available: <http://ojs.uma.ac.id/index.php/jcebt>
- [9] A. J. Zulfikar, D. A. A. Ritonga, S. Pranoto, F. A. K. Nasution, Z. Arif, and J. Junaidi, "Analisis Kekuatan Mekanik Komposit Polimer Diperkuat Serbuk Kulit Kerang," *J. Rekayasa Mater. Manufaktur dan Energi*, vol. 6, no. 1, pp. 30–40, 2023.
- [10] Darianto, A. Siregar, B. Umroh, and D. Kurniadi, "Simulasi Kekuatan Mekanis Material Komposit Tempurung Kelapa Menggunakan Metode Elemen Hingga," *J. Mech. Eng. Manuf. Mater. Energy*, vol. 3, no. 1, p. 39, 2019, doi: 10.31289/jmemme.v3i1.2443.
- [11] N. Antonescu and P. D. Stănescu, "Computational Model for a Condensing Boiler with Finned Tubes Heat Exchanger," *Energy Procedia*, vol. 112, no. October 2016, pp. 555–562, 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.1116.
- [12] D. Derlini and A. J. Zulfikar, "Penyelidikan Kegagalan pada Alat Pemisah Karet Alam Jenis LRH 410," *IRA J. Tek. Mesin dan Apl.*, vol. 1, no. 3, pp. 51–61, 2022.
- [13] Y. Sen, "Fatigue fracture analysis of the semi-auto shotgun mechanism by using finite element analysis and experimental setup," *Eng. Fail. Anal.*, vol. 117, no. 20, p. 104963, 2019.
- [14] R. A. Purba, A. J. Zulfikar, and I. Iswandi, "Analisis Kekuatan Komposit Laminat Hybrid Jute E-Glass Berdasarkan Pola Kerusakan dengan Metode Split Tensile Test," *IRA J. Tek. Mesin dan Apl.*, vol. 1, no. 3, pp. 83–91, 2022.
- [15] M. I. Tambusay, A. J. Zulfikar, and I. Iswandi, "Analisis Metode Split Tensile Test Komposit Laminat Hybrid Jute E-Glass Akibat Beban Tarik Beton Kolom Silinder," *IRA J. Tek. Mesin dan Apl.*, vol. 1, no. 2, pp. 45–54, 2022.
- [16] M. Idris *et al.*, "Engine Performance Using Blended Fuels of Biodiesel and Eco Diesel," *Energy Eng. J. Assoc. Energy Eng.*, vol. 120, no. 1, pp. 107–123, 2023, doi: 10.32604/ee.2023.019203.

- [17] A. J. Zulfikar, S. Pranoto, B. Umroh, D. Darianto, and G. Harahap, "Numerical Analysis of Polymer Foam Composite Material (PFCM) Reinforced by Palm Empty Bunch Fiber (PEBF) at Fracture Point Due to High Strain Impact Load," *Budapest Int. Res. Exact Sci. J.*, vol. 2, no. 1, pp. 86–95, 2020.
- [18] M. A. Rasyid, A. J. Zulfikar, and I. Iswandi, "Analisis Kekuatan Tarik Komposit Laminat Jute Berdasarkan Pola Kerusakan Kolom Silinder Metode Split Tensile Test Analysis," *IRA J. Tek. Mesin dan Apl.*, vol. 1, no. 2, pp. 27–34, 2022.
- [19] P. A. T. Lubis, A. J. Zulfikar, and I. Iswandi, "Analisis Kekuatan Tarik Belah Komposit Laminat Jute sebagai Penguat Beton Kolom Silinder Berdasarkan Metode Penyerapan Energi Bahan," *IRA J. Tek. Mesin dan Apl.*, vol. 1, no. 2, pp. 55–64, 2022.
- [20] D. A. Siregar and A. J. Zulfikar, "Analisis Kekuatan Tekan Selubung Komposit Laminat E-glass pada Beton Kolom Silinder dengan Metode Vacuum Bagging," *J. Rekayasa Mater. Manufaktur dan Energi*, vol. 5, no. 1, pp. 20–25, 2022.
- [21] Iswandi, J. Sahari, and A. B. Sulong, "Effects of different particles sizes of graphite on the engineering properties of graphites/polypropylene composites on injection molding application," *Key Eng. Mater.*, vol. 471–472, pp. 109–114, 2011, doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.471-472.109.
- [22] J. Junaidi, "Pemodelan Dan Simulasi Sistem Roda Gigi Menggunakan Pendekatan Multi Body Dynamic Dengan Metode Menghitung Parameter Roda Gigi Dengan Roda Senyawa," *J. Mech. Eng. Manuf. Mater. Energy*, vol. 4, no. 1, pp. 40–49, 2020, doi: 10.31289/jmemme.v4i1.3751.
- [23] A. J. Zulfikar, M. Y. R. Siahaan, and R. B. Syahputra, "Analisis Signifikansi Roda Skateboard Berbahan Komposit Serbuk Batang Pisang Terhadap Perfoma Kecepatan Dengan Metode Anova," *J. Rekayasa Mater. Manufaktur dan Energi*, vol. 4, no. 2, pp. 83–90, 2021.
- [24] A. J. Zulfikar, "The Flexural Strength of Artificial Laminate Composite Boards made from Banana Stems," *Budapest Int. Res. Exact Sci. J.*, vol. 2, no. 3, pp. 334–340, 2020.
- [25] N. A. Mohd Radzuan, A. B. Sulong, and Iswandi, "Effect of multi-sized graphite filler on the mechanical properties and electrical conductivity," *Sains Malaysiana*, vol. 50, no. 7, pp. 2025–2034, 2021, doi: 10.17576/jism-2021-5007-17.
- [26] M. Huttunen, J. Peltola, S. Kallio, L. Karvonen, T. Niemi, and V. Ylä-Outinen, "Analysis of the processes in fluidized bed boiler furnaces during load changes," *Energy Procedia*, vol. 120, pp. 580–587, 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.07.175.
- [27] A. J. Zulfikar, M. Y. R. Siahaan, A. Irwan, F. A. K. Nasution, and D. A. A. Ritonga, "Analisis Kekuatan Mekanik Pipa Air dari Bahan Komposit Serbuk Kulit Kerang," *J. Rekayasa Mater. Manufaktur dan Energi*, vol. 5, no. 2, pp. 1–9, 2022.
- [28] N. Hidayat, "Analisis metode split tensile test komposit laminat jute terhadap kekuatan tarik belah beton kolom silinder," Universitas Medan Area, 2022.
- [29] Iswandi, J. Sahari, A. B. Sulong, and T. Husaini, "Critical Powder Loading and Rheological Properties of Polypropylene/Graphite Composite Feedstock for Bipolar Plate Application," *Malaysian J. Anal. Sci.*, vol. 20, no. 3, pp. 687–696, 2016, doi: 10.17576/mjas-2016-2003-30.
- [30] M. Y. Khalid, A. Al Rashid, Z. U. Arif, M. F. Sheikh, H. Arshad, and M. A. Nasir, "Tensile strength evaluation of glass/jute fibers reinforced composites: An experimental and numerical approach," *Results Eng.*, vol. 10, no. May, p. 100232, 2021, doi: 10.1016/j.rineng.2021.100232.
- [31] A. T. Muzakir, A. J. Zulfikar, and M. Y. R. Siahaan, "Analisis Kekuatan Tekan Beton Kolom Silinder Diperkuat Komposit Hibrid Laminat Jute E-Glass Epoksi," *JCEBT (Journal Civ. Eng. Build. Transp.)*, vol. 6, no. 1, pp. 12–19, 2022.
- [32] Iswandi, A. B. Sulong, and T. Husaini, "Effects of Graphite/Polypropylene on the Electrical Conductivity of Manufactured Bipolar Plate," *Malaysian J. Anal. Sci.*, vol. 23, no. 2, pp. 1–7, 2019.