

EVALUASI STRUKTUR *SADDLE SUPPORT* PENGERING FLUIDIZED BED HORIZONTAL

***Mohammad Rizqi Aunillah¹, Mohammad Tauviquirrahman², Eflita Yohana²**

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: rizqiaunillah532@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini melakukan evaluasi struktur *saddle support* pada pengering *Fluidized Bed Dryer* (FBD) horizontal yang digunakan untuk proses pengeringan biomassa. Analisis dilakukan menggunakan metode *Finite Element Analysis* (FEA) dengan pendekatan pembebanan termal dan mekanik untuk mengevaluasi deformasi, tegangan ekuivalen Von Mises, tegangan utama, serta faktor keamanan struktur. Material yang digunakan adalah *structural steel* dengan sifat mekanik standar industri. Hasil simulasi menunjukkan bahwa deformasi maksimum sebesar 0,00814 mm terjadi pada bagian tengah *saddle support*, dengan tegangan Von Mises maksimum sebesar 12,271 MPa yang masih jauh di bawah batas luluh material. Nilai faktor keamanan yang diperoleh sebesar 15 menunjukkan bahwa struktur memiliki tingkat keamanan yang sangat tinggi terhadap beban operasional. Hasil ini mengindikasikan bahwa desain *saddle support* mampu memberikan kestabilan yang baik dalam menopang beban sistem pengering *fluidized bed* horizontal serta aman digunakan pada kondisi operasi aktual.

Kata kunci: fea; *fluidized bed dryer*; *saddle support*; *structural steel*; tegangan von mises

Abstract

Biomass is one of the promising renewable energy sources due to its abundance and environmentally friendly characteristics. One potential biomass material is Gliricidia sepium wood, which requires an effective drying process to reduce moisture content and improve combustion performance. This study evaluates the structural performance of the saddle support on a horizontal Fluidized Bed Dryer (FBD) using the Finite Element Analysis (FEA) method. The analysis was conducted under combined thermal and mechanical loading conditions to determine total deformation, equivalent Von Mises stress, principal stress, and safety factor. The structure material used in the simulation was structural steel with standard mechanical properties. The simulation results showed a maximum total deformation of 0.00814 mm and a maximum equivalent Von Mises stress of 12.271 MPa, which remained far below the material yield strength. The obtained safety factor was 15, indicating that the saddle support structure has excellent structural integrity and is capable of safely supporting the operational load of the horizontal Fluidized Bed Dryer system. These results demonstrate that the proposed design provides good structural stability and can be reliably applied in biomass drying applications.

Keywords : *biomass drying; finite element analysis; fluidized bed dryer; saddle support; structural steel*

1. Pendahuluan

Biomassa merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan sebagai alternatif pengganti bahan bakar fosil karena sifatnya yang ramah lingkungan dan ketersediaannya yang melimpah, terutama di negara tropis seperti Indonesia [1]. Pemanfaatan biomassa sebagai sumber energi terus meningkat seiring bertambahnya kebutuhan energi dan upaya pengurangan emisi karbon dari penggunaan bahan bakar fosil [2]. Salah satu jenis biomassa yang cukup potensial adalah kayu gamal (*Gliricidia sepium*), yang dikenal sebagai tanaman dengan pertumbuhan cepat, mudah dibudidayakan, dan memiliki nilai kalor yang relatif tinggi sehingga cocok dimanfaatkan sebagai bahan bakar biomassa [3].

Meskipun demikian, biomassa umumnya memiliki kadar air yang cukup tinggi setelah proses panen atau penyimpanan. Kandungan air yang tinggi dapat menurunkan nilai kalor, memperlambat proses pembakaran, meningkatkan konsumsi energi, serta menurunkan efisiensi konversi energi secara keseluruhan [4]. Oleh karena itu, proses

pengeringan menjadi tahapan penting dalam pengolahan biomassa sebelum digunakan sebagai sumber energi. Pengeringan yang baik dapat meningkatkan kualitas biomassa, memperbaiki karakteristik pembakaran, serta mengurangi potensi kerusakan selama penyimpanan [5].

Salah satu teknologi pengeringan yang banyak digunakan dalam industri proses adalah *Fluidized Bed Dryer* (FBD). Sistem ini memiliki keunggulan berupa laju perpindahan panas dan massa yang tinggi, distribusi temperatur yang lebih merata, serta kemampuan menghasilkan proses pengeringan yang lebih cepat dibandingkan metode konvensional [6]. Pada pengering tipe horizontal, penggunaan pengaduk sekrup heliks mampu meningkatkan pencampuran material sehingga distribusi panas pada partikel menjadi lebih homogen [7]. Selain itu, agitator juga membantu mengurangi penggumpalan material selama proses pengeringan berlangsung.

Dalam pengoperasiannya, pengering *Fluidized Bed Dryer* horizontal mengalami kombinasi pembebanan termal dan mekanik yang cukup kompleks. Temperatur operasi yang tinggi dapat menyebabkan ekspansi termal pada struktur, sedangkan berat komponen dan material di dalam *shell* menimbulkan beban statik yang harus ditahan oleh sistem penyangga [8]. Salah satu komponen penting yang menerima beban tersebut adalah *saddle support*, yang berfungsi menopang *shell* dan menjaga kestabilan struktur selama proses operasi berlangsung.

Kondisi pembebanan yang bekerja secara terus-menerus berpotensi menimbulkan deformasi, konsentrasi tegangan, bahkan kegagalan struktur apabila desain *saddle support* tidak dirancang dengan baik [9]. Deformasi berlebih dapat mempengaruhi kestabilan sistem pengering, sedangkan konsentrasi tegangan pada area tertentu dapat mempercepat terjadinya kerusakan material. Oleh sebab itu, evaluasi kekuatan struktur menjadi aspek penting dalam proses perancangan dan pengembangan sistem pengering industri.

Perkembangan teknologi simulasi numerik memungkinkan analisis struktur dilakukan secara lebih detail menggunakan metode *Finite Element Analysis* (FEA). Metode ini banyak digunakan dalam bidang rekayasa karena mampu memprediksi distribusi tegangan, deformasi, dan faktor keamanan pada struktur dengan geometri kompleks secara akurat [10]. Selain itu, FEA juga memungkinkan evaluasi terhadap pengaruh pembebanan termal dan mekanik secara simultan sehingga perilaku struktur pada kondisi operasi aktual dapat dianalisis secara lebih realistis [11].

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pendekatan FEA efektif digunakan untuk mengevaluasi integritas struktur pada peralatan industri, khususnya yang bekerja pada temperatur tinggi dan menerima kombinasi beban kompleks [12]. Melalui simulasi numerik, area kritis yang berpotensi mengalami kegagalan dapat diidentifikasi lebih awal sehingga proses optimasi desain dapat dilakukan sebelum tahap manufaktur [13].

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi struktur *saddle support* pada pengering *Fluidized Bed Dryer* horizontal menggunakan metode *Finite Element Analysis* (FEA). Analisis dilakukan untuk mengetahui distribusi tegangan, deformasi total, serta faktor keamanan struktur akibat pengaruh beban termal dan mekanik selama operasi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam pengembangan desain sistem pengering biomassa yang aman, stabil, dan memiliki keandalan struktural yang baik.

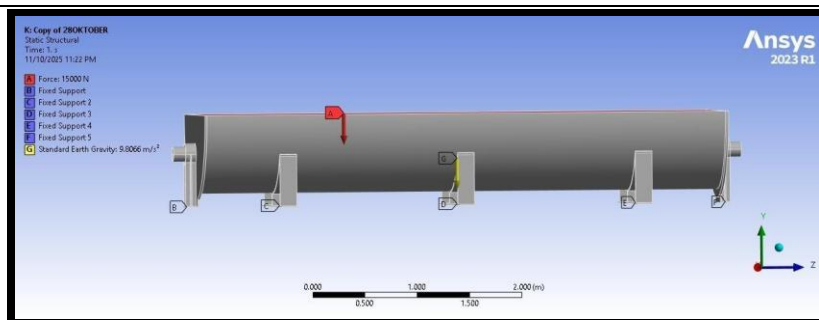
2. Metode Penelitian

2.1 Geometri Pengering

Geometri Horizontal Fluidized Bed Dryer (FBD) dikembangkan untuk merepresentasikan bentuk dan konfigurasi aktual peralatan pengering yang digunakan dalam penelitian ini. Model dibuat menggunakan perangkat lunak CAD 3D SolidWorks dan kemudian diimpor ke ANSYS Workbench untuk analisis termal dan struktural. Komponen utama model meliputi main shell assembly, side cover assembly, foot assembly, material feeder, dan chimney cover. Main shell berbentuk silinder horizontal dengan panjang sekitar 5000 mm dan diameter 1672 mm, serta ditopang oleh saddle support untuk menjaga kestabilan struktur. Seluruh komponen dirakit menggunakan kondisi bonded contact, sehingga sistem dapat dianalisis sebagai satu kesatuan yang terintegrasi. Konfigurasi ini memungkinkan transfer beban dan distribusi tegangan antar komponen berlangsung secara realistis, sehingga hasil simulasi dapat merepresentasikan kondisi operasional aktual dengan lebih akurat.

2.2 Meshing

Analisis *Finite Element Analysis* (FEA) memerlukan definisi yang tepat terhadap sifat material, kualitas meshing, dan kondisi batas (*boundary conditions*) untuk menghasilkan simulasi yang akurat dan dapat dipercaya. Material utama yang digunakan pada komponen struktur, termasuk main shell dan rangka, adalah *structural steel* dengan sifat mekanik yang mencakup kekuatan luluh, kekuatan tarik, densitas, serta modulus elastisitas. Pada proses diskretisasi, struktur dimodelkan menggunakan *solid mesh* dengan total sekitar 100.000 elemen, dengan distribusi mesh yang lebih rapat pada area kritis yang berpotensi mengalami konsentrasi tegangan untuk meningkatkan akurasi hasil tanpa mengorbankan efisiensi komputasi. Kondisi batas pada analisis termal keadaan tunak (*steady-state thermal*) ditetapkan dengan tekanan operasi 1 atm, temperatur permukaan dalam shell sebesar 200°C, serta konveksi pada permukaan luar shell dengan temperatur lingkungan 30°C, ditambah pengaruh gravitasi standar sebesar 9806,6 mm/s² untuk merepresentasikan kondisi operasi aktual. Kombinasi material *structural steel*, jumlah elemen mesh sekitar 100.000, serta kondisi batas tersebut memungkinkan evaluasi yang andal terhadap distribusi tegangan, deformasi, dan faktor keamanan pada struktur *horizontal fluidized bed dryer* di bawah pengaruh beban termal dan mekanik secara simultan.

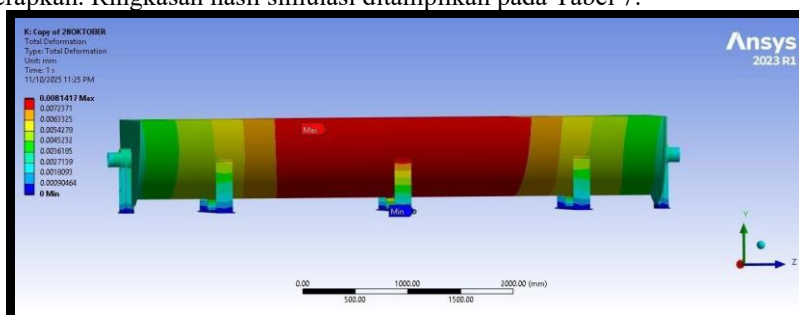


Gambar 1. Kondisi Batas Struktural

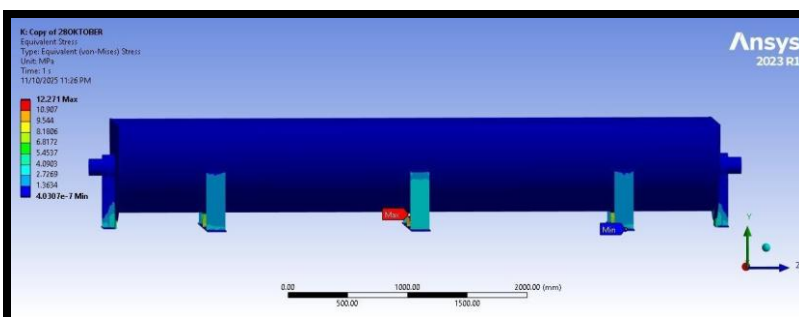
3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Simulasi

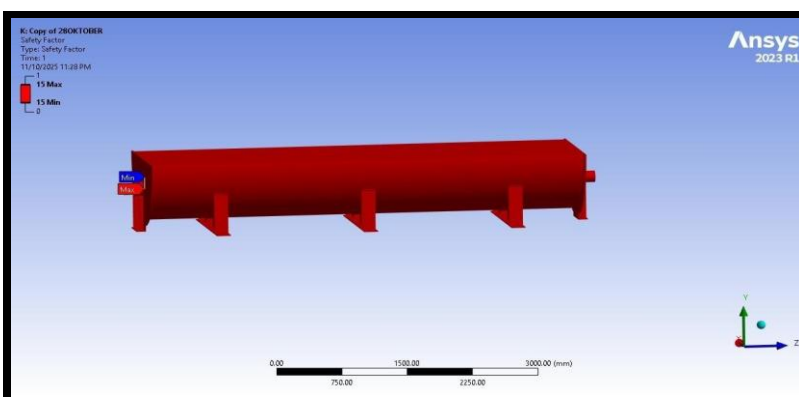
Analisis elemen hingga pada *saddle support* menunjukkan deformasi total sebesar 0,00814 mm yang terkonsentrasi pada bagian tengah *shell support saddle* (Gambar 4a), dengan tegangan ekuivalen von Mises tertinggi sebesar 12,271 MPa yang terjadi pada pelat *saddle support* (Gambar 4b). Faktor keamanan yang diperoleh adalah sebesar 15 (Gambar 4c), yang menunjukkan bahwa desain struktur memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap kondisi pembebanan yang diterapkan. Ringkasan hasil simulasi ditampilkan pada Tabel 7.



(a)



(b)



(c)

Gambar 2. Hasil Simulasi (a) total deformasi, (b) von mises, (c) faktor keamanan

Hasil simulasi pada *saddle support* menunjukkan bahwa struktur memiliki kinerja mekanik yang sangat baik di bawah kondisi pembebanan yang diberikan. Nilai *total deformation* maksimum sebesar 0,00814 mm dengan nilai minimum 0 mm menunjukkan bahwa deformasi yang terjadi sangat kecil, sehingga dapat disimpulkan bahwa kekakuan struktur cukup tinggi dan tidak mengalami perubahan bentuk yang signifikan. Tegangan ekuivalen von Mises maksimum tercatat sebesar 12,271 MPa, yang masih jauh di bawah batas luluh material *structural steel*, sehingga menunjukkan bahwa struktur masih berada pada kondisi elastis dan aman terhadap kegagalan plastis. Selain itu, *principal stress* menunjukkan distribusi tegangan tarik dan tekan yang relatif rendah, dengan nilai maksimum 2,382 MPa dan nilai minimum hingga -12,524 MPa, yang mengindikasikan adanya kombinasi beban lokal namun masih dalam batas aman material. Faktor keamanan yang diperoleh sebesar 15 menegaskan bahwa desain *saddle support* sangat aman dan memiliki margin kekuatan yang besar terhadap kondisi operasi, sehingga struktur ini layak digunakan untuk menopang beban sistem *horizontal fluidized bed dryer* secara stabil dan andal.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis struktur *saddle support* pada pengering *Fluidized Bed Dryer* horizontal menggunakan metode *Finite Element Analysis* (FEA), diperoleh bahwa struktur memiliki kinerja mekanik yang baik di bawah pengaruh beban termal dan mekanik operasi. Nilai deformasi maksimum yang terjadi sebesar 0,00814 mm menunjukkan bahwa struktur memiliki kekakuan yang tinggi dan tidak mengalami perubahan bentuk yang signifikan. Tegangan ekuivalen Von Mises maksimum sebesar 12,271 MPa masih berada jauh di bawah batas luluh material *structural steel*, sehingga struktur tetap berada pada kondisi aman dan elastis selama operasi berlangsung.

Selain itu, hasil analisis menunjukkan faktor keamanan sebesar 15, yang menandakan bahwa desain *saddle support* memiliki tingkat keamanan yang sangat tinggi terhadap pembebanan yang diterapkan. Distribusi tegangan yang terjadi pada struktur juga masih berada dalam batas aman material sehingga risiko kegagalan struktural relatif rendah. Dengan demikian, desain *saddle support* pada pengering *Fluidized Bed Dryer* horizontal dinilai mampu memberikan kestabilan dan keandalan struktural yang baik untuk mendukung proses pengeringan biomassa secara aman dan efisien.

5. Daftar Pustaka

- [1] A. Demirbas, *Biofuels: Securing the Planet's Future Energy Needs*, London: Springer, 2009.
- [2] B. Kamm, P. R. Gruber, dan M. Kamm, *Biorefineries – Industrial Processes and Products*, Weinheim: Wiley-VCH, 2006.
- [3] J. Richardson, M. Björheden, P. Hakkila, A. Lowe, dan C. Smith, *Bioenergy from Sustainable Forestry*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [4] Y. A. Çengel dan M. A. Boles, *Thermodynamics: An Engineering Approach*, 8th ed., New York: McGraw-Hill, 2015.
- [5] A. S. Mujumdar, *Handbook of Industrial Drying*, 4th ed., Boca Raton: CRC Press, 2014.
- [6] R. H. Perry dan D. W. Green, *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, 9th ed., New York: McGraw-Hill, 2019.
- [7] C. J. Geankoplis, *Transport Processes and Separation Process Principles*, 4th ed., New Jersey: Prentice Hall, 2003.
- [8] E. F. Megyesy, *Pressure Vessel Handbook*, 14th ed., Oklahoma: Pressure Vessel Publishing, 2011.
- [9] J. F. Harvey, *Theory and Design of Pressure Vessels*, New York: Van Nostrand Reinhold, 1985.
- [10] D. L. Logan, *A First Course in the Finite Element Method*, 5th ed., Stamford: Cengage Learning, 2011.
- [11] K. J. Bathe, *Finite Element Procedures*, New Jersey: Prentice Hall, 1996.
- [12] O. C. Zienkiewicz, R. L. Taylor, dan J. Z. Zhu, *The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals*, 7th ed., Oxford: Elsevier, 2013.
- [13] S. S. Rao, *The Finite Element Method in Engineering*, 5th ed., Burlington: Butterworth-Heinemann, 2011.