

ANALISIS KEKUATAN RANGKA *BOILER* PENGHANGAT KANDANG TERNAK BAHAN BAKAR *LITTER* AYAM

Muhammad Nur Rosikin¹, Nisa'us Sholikhah², Ismi Choirotin^{3*}

¹Universitas Islam Malang
email: 22201062018@unisma.ac.id

²Universitas Islam Malang
email: nisaus.sholikhah@unisma.ac.id

^{3*}Universitas Islam Malang
email: ismi.choirotin@unisma.ac.id

ABSTRAK

Peternakan ayam broiler memerlukan sistem penghangat kandang yang mampu beroperasi secara aman dan andal untuk menjaga suhu optimal pada fase starter. Salah satu komponen penting dalam sistem tersebut adalah rangka *boiler* yang berfungsi menopang seluruh beban selama proses operasi. Penelitian ini bertujuan menganalisis kekuatan rangka *boiler* penghangat kandang berbahan bakar *litter* ayam menggunakan metode *Finite Element Analysis (FEA)*. Model rangka dibuat sesuai dimensi aktual menggunakan material besi hollow baja struktural, kemudian dianalisis dengan perangkat lunak ANSYS *Static Structural*. Pembebanan dilakukan berdasarkan kondisi aktual alat yang meliputi berat panel kontrol, berat *boiler* kosong, dan berat *boiler* saat terisi sekam. Parameter yang dianalisis meliputi distribusi tegangan *von Mises*, deformasi total, dan faktor keamanan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa tegangan dan deformasi maksimum yang terjadi masih berada di bawah batas izin material sehingga rangka mampu menopang beban kerja dengan aman. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa desain rangka *boiler* memiliki kekuatan dan kekakuan yang memadai sehingga layak diterapkan sebagai penopang sistem penghangat kandang berbahan bakar *litter* ayam

Kata kunci: *rangka boiler, kandang ayam broiler, litter ayam, metode elemen hingga, kekuatan struktur.*

ABSTRAK

Broiler farming requires a heating system that can operate safely and reliably to maintain the optimum temperature during the starter phase. One of the key components of this system is the boiler frame, which supports the entire load during operation. This study aims to analyze the structural strength of a boiler frame for a broiler house heating system fueled by chicken litter using the Finite Element Analysis (FEA) method. The boiler frame model was developed based on its actual dimensions using structural steel hollow sections and analyzed with ANSYS Static Structural software. The applied loads were based on the actual operating conditions, including the weight of the control panel, the empty boiler, and the boiler filled with litter. The analyzed parameters included von Mises stress, total deformation, and the safety factor. The simulation results indicate that the maximum stress and deformation remain below the allowable limits of the material, demonstrating that the frame is capable of safely supporting the operating loads. Therefore, the proposed boiler frame design possesses adequate strength and stiffness, making it suitable for application as a supporting structure for a chicken litter-fueled broiler house heating system.

Kata kunci: *boiler frame, broiler house, chicken litter, finite element analysis, structural strength.*

PENDAHULUAN

Boiler penghangat kandang merupakan salah satu komponen penting dalam sistem pemanas ayam broiler, khususnya pada fase starter yang memerlukan suhu kandang stabil. Selain memperhatikan kinerja

perpindahan panas, rangka *boiler* harus memiliki kekuatan yang memadai agar mampu menopang beban komponen dan menjamin keamanan selama proses operasi. Oleh karena itu, analisis kekuatan rangka menjadi tahap penting dalam perancangan

boiler untuk mencegah terjadinya deformasi maupun kegagalan struktur. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa metode elemen hingga (*Finite Element Analysis/FEA*) menggunakan ANSYS mampu mengevaluasi distribusi tegangan, deformasi, dan faktor keamanan pada struktur *boiler* secara akurat [1].

Di sisi lain, pemanfaatan biomassa sebagai sumber energi alternatif terus berkembang, salah satunya menggunakan limbah liter ayam. *Litter* ayam memiliki potensi sebagai bahan bakar biomassa yang mampu menghasilkan energi panas untuk sistem *boiler* sekaligus mengurangi limbah peternakan. Penelitian Alamu dkk. [2] menunjukkan bahwa sistem *boiler* berbahan bakar *poultry litter* memiliki potensi yang baik dalam menghasilkan energi panas secara efisien. Selain itu, penelitian Rousseau dkk. [3] Menjelaskan bahwa desain *boiler* biomassa memerlukan analisis perpindahan panas dan kekuatan struktur agar sistem dapat bekerja secara aman dan optimal.

Meskipun penelitian mengenai *boiler* biomassa telah banyak dilakukan, kajian yang secara khusus menganalisis kekuatan rangka *boiler* penghangat kandang berbahan bakar *litter* ayam masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menganalisis kekuatan rangka *boiler* menggunakan metode elemen hingga melalui simulasi ANSYS dengan mengevaluasi distribusi tegangan *von Mises*, deformasi total, dan faktor keamanan. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi dasar dalam pengembangan desain *boiler* yang aman, andal, dan mendukung pemanfaatan *litter* ayam sebagai sumber energi alternatif.

METODE

a. Spesifikasi Rangka Boiler

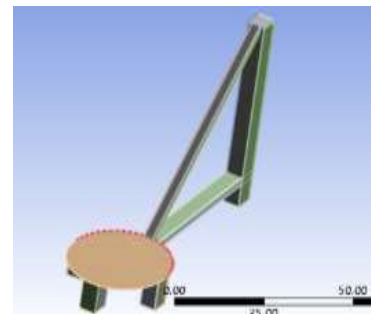
Rangka *boiler* penghangat kandang ternak dirancang menggunakan besi hollow baja karbon dengan dimensi penampang 50 mm × 50 mm × 3 mm sebagai struktur utama penopang *boiler*. Material yang digunakan adalah baja struktural yang memiliki sifat mekanik berupa kekuatan luluh (*yield strength*) sekitar 250 MPa, kekuatan tarik (*ultimate tensile strength*) sekitar 460 MPa, modulus elastisitas 200 GPa, rasio Poisson 0,3, dan massa jenis 7.850 kg/m³. Material ini dipilih karena memiliki kekuatan yang baik, mudah difabrikasi, serta umum digunakan sebagai rangka mesin dan struktur penyangga.

b. Metode

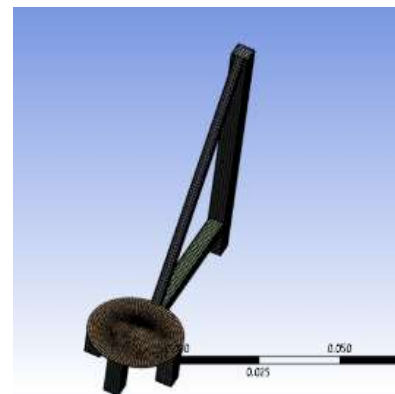
Analisis kekuatan rangka *boiler* dilakukan menggunakan metode Finite Element Method (FEM) melalui perangkat lunak ANSYS *Static Structural*

Structural. Analisis terdiri atas tiga tahapan, yaitu *pre-processing*, *processing*, dan *post-processing*.

Pada tahap *pre-processing*, model tiga dimensi rangka *boiler* dibuat menggunakan perangkat lunak Rhinoceros (Rhino) kemudian diimpor ke ANSYS untuk proses simulasi. Selanjutnya material rangka ditentukan sesuai sifat mekanik baja struktural yang digunakan, kemudian dilakukan proses *meshing* dengan ukuran elemen 1 mm sehingga diperoleh 47.254 node dan 7.288 elemen. Proses *meshing* bertujuan membagi model menjadi elemen-elemen kecil agar distribusi tegangan dan deformasi dapat dihitung secara lebih akurat.



Gambar 1. Design rangka



Gambar 2. mesh

Pada tahap *processing*, rangka diberikan kondisi batas (*boundary condition*) berupa pengekangan pada titik tumpuan serta pembebanan statis yang merepresentasikan beban kerja *boiler*. Perhitungan dilakukan menggunakan modul *Static Structural* untuk memperoleh distribusi tegangan, deformasi total, dan faktor keamanan pada rangka.

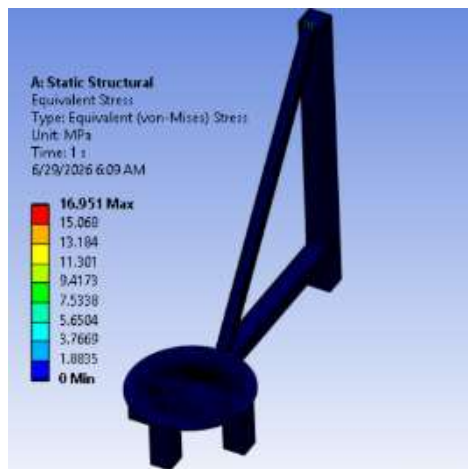
Tahap *post-processing* dilakukan untuk mengevaluasi hasil simulasi berupa distribusi tegangan *von Mises*, deformasi total, nilai maksimum dan minimum dari setiap parameter digunakan sebagai dasar untuk menilai kekuatan dan kelayakan desain rangka *boiler* terhadap beban operasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi dilakukan pada model rangka *boiler* penghangat kandang berbahan bakar *litter* ayam menggunakan material besi hollow baja struktural. Analisis dilakukan dengan metode *Finite Element Analysis* (FEA) menggunakan ANSYS *Static Structural* untuk mengetahui distribusi tegangan *von Mises* dan deformasi total Model rangka yang disimulasikan merupakan hasil perancangan sesuai dimensi aktual alat, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2. Pembebanan aktual pada rangka berasal dari berat panel kontrol sebesar 1,9 kg, berat tong *boiler* kosong sebesar 5,7 kg, dan berat tong *boiler* setelah diisi sekam sebesar 11,2 kg

- a. Equivalent (von-mises) stress pada pembebanan 5,7 kg

Hasil simulasi menunjukkan distribusi tegangan ekuivalen (*Equivalent von Mises Stress*) pada rangka *boiler* akibat pembebanan *boiler* kosong sebesar 5,7 kg (55,9 N). Nilai tegangan berkisar antara 0 MPa hingga 16,951 MPa. Warna biru menunjukkan daerah dengan tegangan minimum, sedangkan warna merah menunjukkan daerah dengan tegangan maksimum. Tegangan maksimum terkonsentrasi pada batang penyangga miring yang menghubungkan dudukan *boiler* dengan rangka utama. Hal ini disebabkan oleh adanya konsentrasi tegangan pada area yang menerima beban langsung dan mengalami perubahan arah struktur. Nilai tegangan maksimum tersebut masih berada di bawah batas luluh material besi hollow, sehingga rangka dinilai masih aman terhadap pembebanan *boiler* kosong. Panas dapat didistribusikan secara merata ke lingkungan kandang.

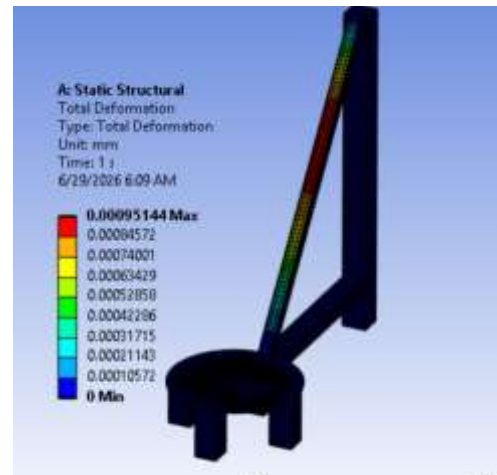


Gambar 3. Equivalent pembebanan 5.7 kg

- b. Defleksi maksimum pada pembebanan 5,7 kg

Hasil simulasi menunjukkan distribusi deformasi total pada rangka *boiler* dengan nilai berkisar antara 0 mm

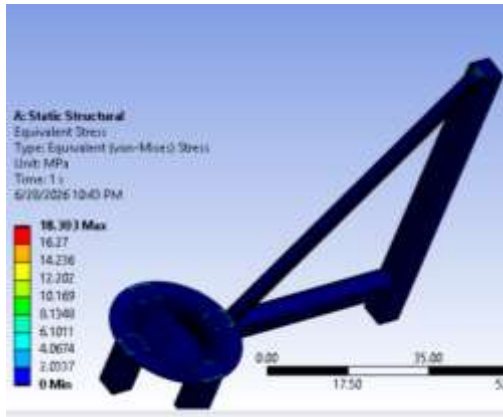
hingga 0,00095144 mm. Warna biru menunjukkan daerah dengan deformasi minimum, sedangkan warna merah menunjukkan daerah dengan deformasi maksimum. Deformasi maksimum terjadi pada bagian ujung batang penyangga yang tidak mengalami pengekan (*fixed support*), sedangkan bagian kaki rangka memiliki deformasi yang sangat kecil. Nilai deformasi maksimum yang hanya 0,00095144 mm menunjukkan bahwa rangka memiliki kekakuan yang tinggi sehingga perubahan bentuk akibat pembebanan *boiler* kosong relatif sangat kecil dan tidak memengaruhi kestabilan struktur.



Gambar 4. Difleksi pembebanan 5.7 kg

- c. Equivalent (von-mises) stress pada pembebanan 11,2 kg

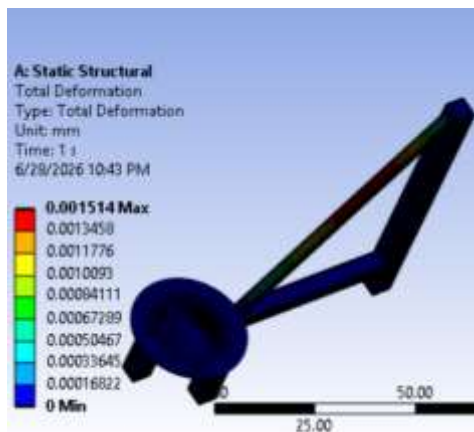
Hasil simulasi menunjukkan distribusi tegangan ekuivalen (*Equivalent von Mises Stress*) pada rangka *boiler* dengan nilai berkisar antara 0 MPa hingga 18,303 MPa. Warna biru menunjukkan daerah yang mengalami tegangan minimum, sedangkan warna merah menunjukkan daerah dengan tegangan maksimum akibat pembebanan yang diberikan. Tegangan maksimum terkonsentrasi pada bagian sambungan rangka penyangga, karena area tersebut menerima beban terbesar dan mengalami konsentrasi tegangan akibat perubahan geometri. Nilai tegangan maksimum yang diperoleh masih berada di bawah batas luluh (*yield strength*) material besi hollow, sehingga rangka masih berada dalam kondisi aman untuk menerima beban kerja.



Gambar 5. Equivalent pembebanan 11.2 kg

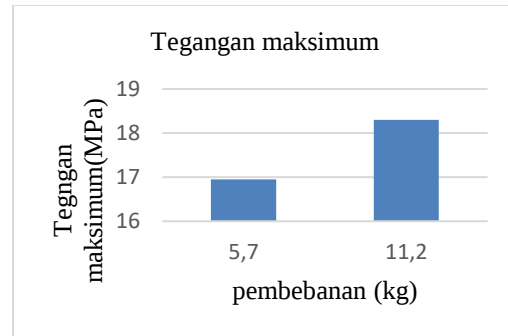
- d. Defleksi maksimum pada pembebanan 11.2 kg

Hasil simulasi menunjukkan distribusi deformasi total pada rangka *boiler* dengan nilai berkisar antara 0 mm hingga 0,001514 mm. Warna biru menunjukkan daerah dengan deformasi minimum, sedangkan warna merah menunjukkan daerah yang mengalami deformasi maksimum akibat pembebanan. Berdasarkan Gambar di atas deformasi maksimum terjadi pada ujung rangka penyangga yang tidak mengalami pengekanan (*fixed support*), sedangkan bagian tumpuan memiliki deformasi yang sangat kecil. Nilai deformasi maksimum sebesar 0,001514 mm menunjukkan bahwa rangka memiliki kekakuan yang baik sehingga perubahan bentuk yang terjadi sangat kecil dan tidak memengaruhi kestabilan struktur selama proses pengoperasian *boiler*.



Gambar 6. Difleksi pembebanan 11.2 kg

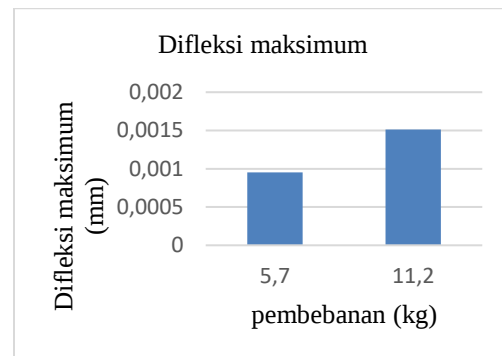
- e. Perbandingan Equivalent (von-mises) stress pada pembebanan 5.2 kg dan 11.2 kg



Gambar 7. Perbandingan grafik *Equivalent*

Hasil simulasi menunjukkan bahwa peningkatan pembebanan dari 5,7 kg (55,9 N) menjadi 11,2 kg (109,9 N) meningkatkan nilai Equivalent (*von Mises*) Stress dari 16,951 MPa menjadi 18,303 MPa. Tegangan maksimum pada kedua kondisi terkonsentrasi di area sambungan antaraudukan *boiler* dan rangka penyangga karena merupakan titik yang menerima beban terbesar. Meskipun terjadi peningkatan tegangan sekitar 7,98%, nilainya masih jauh di bawah tegangan luluh material besi hollow, sehingga rangka tetap bekerja pada daerah elastis dan dinyatakan aman untuk menopang beban *boiler* baik pada kondisi kosong maupun saat terisi sekam.

- f. Perbandingan difleksi pada pembebanan 5.2 kg dan 11.2 kg



Gambar 8. Perbandingan grafik difleksi

Hasil simulasi menunjukkan bahwa peningkatan pembebanan dari 5,7 kg (55,9 N) menjadi 11,2 kg (109,9 N) menyebabkan defleksi maksimum meningkat dari 0,000951 mm menjadi 0,001514 mm. Nilai defleksi maksimum terjadi pada bagian ujung rangka yang tidak mengalami pengekanan (*fixed support*). Meskipun terjadi peningkatan defleksi sekitar 59,2%, nilainya masih sangat kecil sehingga menunjukkan bahwa rangka memiliki kekakuan yang baik dan tetap mampu mempertahankan stabilitas struktur selama menopang beban operasi *boiler*

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa rangka *boiler* penghangat kandang berbahan bakar *litter* ayam memiliki kekuatan yang memadai untuk menopang beban operasional berdasarkan hasil analisis metode *Finite Element Analysis*. Nilai tegangan *von Mises* dan defleksi yang diperoleh masih berada dalam batas aman material, sehingga desain rangka dinilai layak digunakan. Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan pengujian eksperimental dan optimasi desain rangka untuk meningkatkan kinerja serta efisiensi struktur pada berbagai kondisi pembebanan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Yang, R., Shi, J., Zheng, N., Xia, F., Huang, R., Liu, T., & Ye, C. (2023). The Finite Element Analysis of the Strength of the Steel Frame Structure of the Industrial *Boiler* Roof. *Academic Journal of Science and Technology*, 6(1), 10–13.
- [2] Alamu, S. O., Lee, S. W., & Qian, X. (2023). Exergy and Energy Analysis of the Shell-and-Tube Heat Exchanger for a Poultry Litter Co-Combustion Process. *Processes*, 11(8), 2249.
- [3] Rousseau, P., Laubscher, R., & Rawlins, B. T. (2023). Heat Transfer Analysis Using Thermofluid Network Models for Industrial Biomass and Utility Scale Coal-Fired *Boilers*. *Energies*, 16(4), 1741.
- [4] Saputra, S., Pranoto, S., Aldori, Y. R., Ali, S., Junaidi, Herlambang, A., Idris, M. Y. R., & Siahaan, M. Y. R. (2023). Analisis Pengaruh Panas dan Beban terhadap Kerusakan Traveling Grate pada *Boiler* di PLTU Tembilahan 2×7 MW. *Journal of Mechanical Engineering Manufactures Materials and Energy*, 7(2), 113–127..
- [5] Suarga, R. H., Utomo, M. T. S., & Muchammad. (2023). Analisis CFD Co-Firing Biomassa Batok Kelapa pada Stoker *Boiler*. *Jurnal Teknik Mesin*, 11(4), 159–168.
- [6] Cantrell, K. B., Hunt, P. G., Uchimiya, M., Novak, J. M., & Ro, K. S. (2012). Impact of pyrolysis temperature and manure source on physicochemical characteristics of biochar. *Bioresource Technology*, 107, 419–428.
- [7] Islam, M. A., Yousuf, A., & Beg, M. R. A. (2015). Characteristics of biochar derived from solid waste as a substitute of fossil fuel. *Renewable Energy*, 81, 1035–1042.
- [8] Lehmann, J., & Joseph, S. (2015). *Biochar for environmental management: Science, technology and implementation* (2nd ed.). Routledge.
- [9] Nuraini, E., Nugroho, A. P., & Widodo, E. (2020). Pengaruh suhu kandang terhadap

performa pertumbuhan ayam broiler fase starter. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Peternakan Indonesia*, 5(1), 8–15.