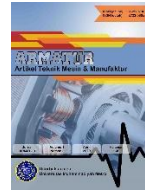


Contents list available at [Sinta](https://sinta)

# ARMATUR

: Artikel Teknik Mesin &amp; Manufaktur

Journal homepage: <https://scholar.unmetro.ac.id/index.php/armatur>

## Analisa Desain Rangka *Incinerator* Sampah Kapasitas 45 Kg/ Batch Berbasis CAD Menggunakan Metode *Finite Element Analysis* (FEA)

Fauzi Abrori<sup>1\*</sup>, Sigit Mujiarto<sup>2</sup>, Fuad Hilmy<sup>3</sup><sup>1</sup>Program Studi Sarjana Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tidar<sup>2</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tidar, Jl. Kapten Suparman No. 39, Magelang Utara, Kota Magelang, Jawa Tengah<sup>3</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tidar, Jl. Kapten Suparman No. 39, Magelang Utara, Kota Magelang, Jawa Tengah

### ARTICLE INFO

*Keywords:*  
*Incinerator*  
*CAD*  
*FEA*  
*frame structure*  
*safety factor*

### ABSTRACT

*Small-scale waste management requires efficient and safe technologies. This study presents a structural analysis of a 45 kg/batch waste incinerator frame using a Computer-Aided Design (CAD) approach and Finite Element Analysis (FEA) method. The frame is constructed from ASTM A36 hollow steel profiles measuring 40 × 40 × 3 mm. Simulations were carried out to evaluate Von Mises stress, displacement, and safety factor under two loading conditions. The results show a maximum stress of 10.07 MPa, well below the yield strength of 250 MPa. The maximum displacement of 0.0608 mm indicates good structural stiffness. The minimum safety factor is 25, confirming that the design is structurally safe and feasible. This design can serve as an effective and sustainable solution for small-scale waste treatment.*

### Pendahuluan

Masalah pengelolaan sampah di Indonesia semakin kompleks seiring dengan peningkatan jumlah penduduk dan konsumsi masyarakat. Berdasarkan data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) menyebutkan bahwa pada tahun 2023 Indonesia menghasilkan sekitar 38,2 juta ton

sampah per tahun, dimana 38,25% atau sekitar 14,6 juta ton diantaranya tidak terkelola dengan baik. Praktik pembakaran terbuka yang masih umum dilakukan menghasilkan emisi polutan seperti karbon monoksida (CO), sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>), nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>), dan partikel halus yang berdampak negatif terhadap kesehatan dan lingkungan [1].

*Incinerator* merupakan salah satu solusi teknologi dalam pengolahan limbah

\*Corresponding author: [abrori12233@gmail.com](mailto:abrori12233@gmail.com)

DOI: <https://doi.org/10.24127/armatur.v6i2.9240>

Received 14 January 2023; Received in revised form 19 Juni 2025; Accepted 28 September 2025

Available online 30 September 2025

padat dengan prinsip pembakaran tertutup pada suhu tinggi (800–1000°C), yang mampu mengubah sampah menjadi gas dan abu sisa pembakaran [2]. Namun, penggunaan *incinerator* konvensional tanpa sistem kontrol emisi berisiko melepaskan polutan berbahaya ke atmosfer [3]. Oleh karena itu, diperlukan inovasi pada sistem *incinerator* dengan penambahan komponen pengendalian emisi seperti, *nozzle spray* dan *housing filter* untuk menghasilkan proses pembakaran yang lebih bersih dan aman bagi lingkungan [4]. Sistem *spray* bekerja dengan menyemprotkan air ke aliran gas buang untuk menurunkan suhu dan menangkap partikel polutan. Penelitian yang dilakukan oleh Anggraini, 2022 menunjukkan bahwa penggunaan tiga *nozzle spray* dapat menurunkan emisi CO sebesar 46,06% dan CO<sub>2</sub> sebesar 24,04%, serta menurunkan temperatur gas buang hingga 90,28% [5]. Namun, dalam sistem ini masih terdapat kekurangan, dimana dalam prosesnya menghasilkan limbah cair yang juga perlu ditangani secara khusus. Penambahan *housing filter* yang berisi karbon aktif, pasir silika, dan zeolit terbukti mampu menyerap sisa zat berbahaya dari air semprotan [6 dan 7].

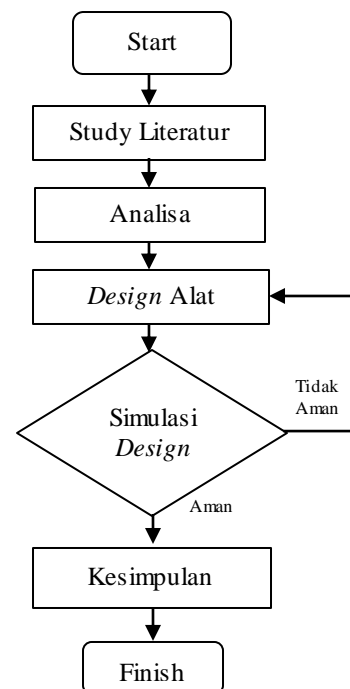
Selain itu, keamanan pada struktur rangka juga perlu tidak kalah penting dan perlu diperhatikan untuk memastikan bahwa *incinerator* dapat bekerja secara optimal dan efisien. Struktur rangka *incinerator* difungsikan sebagai penopang utama seluruh sistem dan menjadi komponen yang sangat krusial, sehingga analisis kekuatan struktur menjadi fokus pada penelitian kali ini. Dengan menggunakan metode (*Finite Element Analysis/ FEA*) perlu dilakukan secara menyeluruh agar dapat menjamin stabilitas dan keamanan alat selama beroperasi [8].

Penelitian ini berfokus pada simulasi struktur rangka *incinerator* sampah kapasitas 45 kg/*batch* menggunakan metode *Finite Element Analysis* (FEA). Dengan pendekatan ini, diharapkan dapat diperoleh model desain rangka yang efisien, kokoh, dan memiliki nilai *safety factor* tinggi,

sehingga layak untuk diaplikasikan sebagai solusi teknologi pengolahan sampah skala kecil di masyarakat secara lebih aman dan berkelanjutan.

## Metode Penelitian

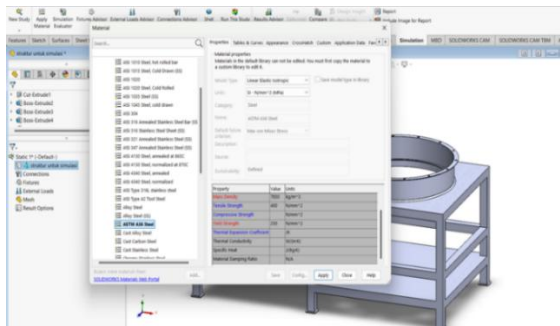
**Metodologi Penelitian.** Penelitian ini menggunakan jenis penelitian *Design Based Research* (DBR). Dimana pada jenis penelitian ini dimulai dengan menganalisa masalah, kemudian dilakukan *study* literatur terkait *incinerator* sampah, mendesain alat serta memilih material yang akan digunakan. Dalam pemilihan material terdapat beberapa faktor yang diperhatikan seperti kekuatan, elastisitas, kekakuan, dan keuletan [9]. Selanjutnya menganalisa hasil desain untuk melihat gejala yang terjadi ketika diberi beban, seperti *von mises stress*, *displacement*, dan *safety factor*, *safety factor* merupakan faktor yang sering digunakan dalam mengevaluasi keamanan dari suatu elemen agar sebuah desain terjamin keamanannya dengan dimensi yang minimum [10].



Gambar 1. Diagram alir

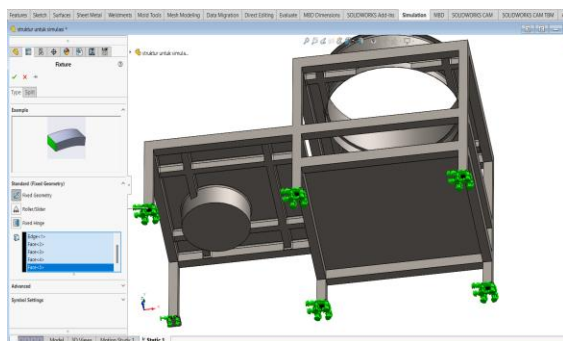
Pada Gambar 1. terdapat alur penelitian untuk menjelaskan runtutan proses penelitian ini. Tahap awal dimulai

dengan Analisa masalah dan studi literatur. Kemudian pembuatan desain, dilakukan di Laboratorium Komputer Teknik Mesin Universitas Tidar, menggunakan *software Solidworks 2022*. Setelah desain diselesaikan selanjutnya menentukan jenis material yang digunakan. Material yang digunakan pada penelitian ini adalah *mild steel hollow ASTM A36* dengan ukuran 40 x 40 x 3 mm.



Gambar 2. Input material

Selanjutnya *fixed geometry* atau menentukan kondisi batas pada model desain yang bertujuan untuk mengunci model supaya tidak bergerak selama proses simulasi berlangsung dan menjadi dasar tumpuan penahan beban yang diberikan [11].



Gambar 3. Penentuan titik geometri (*fixed geometry*)

Tahap selanjutnya adalah menentukan arah gaya dan beban yang diberikan pada model atau *external loads (force)*. Pemberian beban pada rangka *incinerator* sampah meliputi keseluruhan komponen yang dipasang [12].

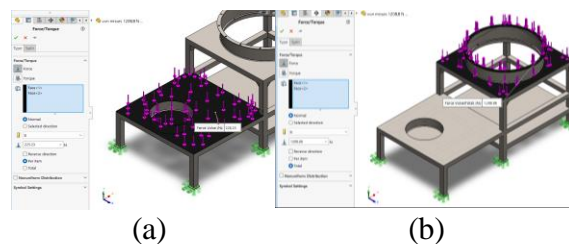
Tabel 1. Berat komponen

Komponen	Berat (kg)	Simbol
<i>Chamber</i> pembakaran	68,87	A
<i>Fuel pipe</i> Tabung gas CNG	6,98	B
<i>Blower</i> Pipa blower	20	C
	1,8	D
	1	E
Penyaring sampah	1,3	F
Baut dan mur M12	0,055	G
Baut dan mur M8	0,022	H
Baut dan mur M6	0,012	I
Berat sampah	45	J

Perhitungan pembebanan dapat dihitung dengan menjumlah keseluruhan beban yang diterima rangka, dengan persamaan :

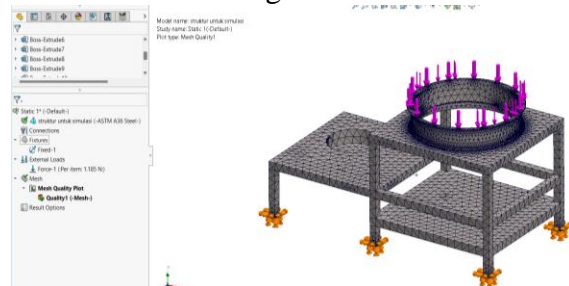
$$F: \sum m \times g \quad (1)$$

Dengan F adalah gaya (N),  $\sum m$  total massa yang diterima (kg), dan g gaya gravitasi ( $m/s^2$ ).



Gambar 4. (a) Berat pembebanan lokasi 1 (1208,8N) (b) Berat pembebanan lokasi 2 (225,23N)

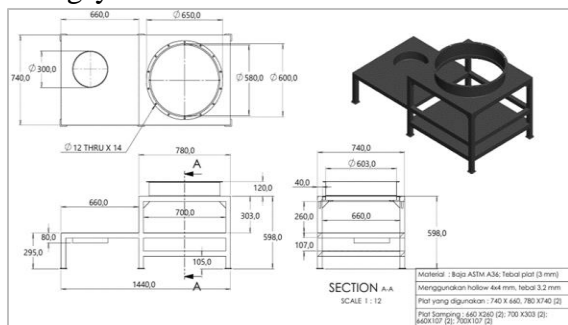
Setelah arah gaya dan beban telah ditentukan kemudian adalah proses *meshing* yaitu tahap pembentukan elemen-elemen kecil pada model untuk mendukung analisis numerik simulasi. Proses ini bertujuan agar *safety factor* dapat dihitung secara lebih akurat di seluruh bagian model.



Gambar 5. Proses *meshing*

Proses terakhir adalah *running simulation* merupakan proses komputasi untuk menganalisis respon model terhadap beban dan kondisi batas yang telah ditentukan. Pada tahap ini, perangkat lunak akan menghitung distribusi tegangan, deformasi, dan parameter lainnya berdasarkan mesh yang telah dibuat.

**Analisa.** Pada penelitian ini, analisis tegangan dilakukan menggunakan perangkat lunak Solidworks 2022. Untuk menghitung kekuatan dan perilaku struktur komponen teknik dengan membagi obyek menjadi mesh metode yang digunakan adalah elemen hingga (FEA/*Finite Element Analysis*). Dengan metode FEA dapat mengetahui nilai tegangan, deformasi dan *safety factor* dari sebuah benda Ketika diberi beban. Deformasi merupakan perubahan bentuk akibat eksternal benda seperti panas atau gaya tekan atau tarik.



Gambar 6. Dimensi model struktur rangka

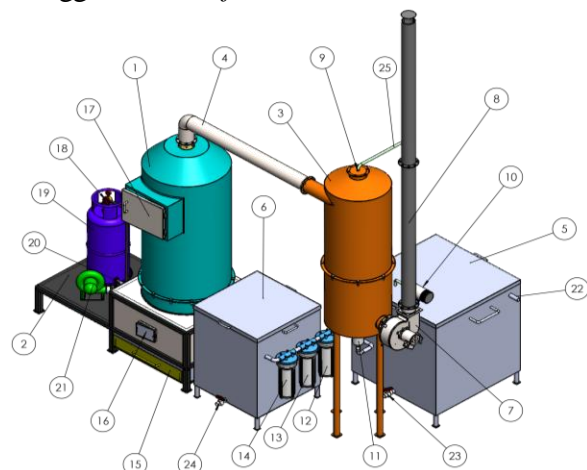
**Objek Penelitian.** Bentuk desain disesuaikan dengan fungsi kerja alat dan ukuran komponen-komponen yang digunakan, material yang digunakan pada kaki rangka utama adalah Desain rangka incinerator mempunyai dimensi ukuran panjang 1440 mm, lebar 740 mm dan tinggi 718 mm. Rangka *incinerator* menggunakan jenis material baja ASTM A36 dengan profil *hollow* 40 mm × 40 mm dan terdapat dua tingkat kompartemen dengan alas menggunakan material baja ASTM A36 dengan ukuran panjang 740 mm, lebar 660 mm dan tebal 3,2 mm . Hasil keseluruhan desain rangka dapat dilihat pada Gambar 6.

Tabel 2. *Materials properties*

Karakter mekanik	
<i>Name</i>	ASTM A36 <i>Steel</i>
<i>Model type</i>	<i>Linear Elastic</i>
	<i>Isotropic</i>
<i>Yield strength</i>	250 N/mm <sup>2</sup>
<i>Tensile strength</i>	400 N/mm <sup>2</sup>
<i>Elastic modulus</i>	200000 N/mm <sup>2</sup>
<i>Poisson's ratio</i>	0,26
<i>Mass density</i>	7850 kg/m <sup>3</sup>
<i>Shear modulus</i>	79300 N/mm <sup>2</sup>
<i>Type mesh</i>	<i>Beam mesh</i>

### Hasil dan Pembahasan

Desain *incinerator* sampah dengan kapasitas 45 kg/*batch* yang dikembangkan dalam penelitian ini ditujukan sebagai solusi pengolahan sampah skala kecil yang ramah lingkungan. Proses perancangan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *SolidWorks 2022*, yang menghasilkan model 3D dari seluruh komponen utama, meliputi ruang bakar (*chamber*), tabung *spray*, *reservoir* air, cerobong, serta struktur rangka. Gambar 7. berikut menunjukkan hasil desain perancangan *incinerator* sampah kapasitas 45 kg/*batch* yang dibuat menggunakan *software SolidWorks 2022*.



Gambar 7. Desain rancangan *incinerator* sampah kapasitas 45 kg per *batch*

Berikut komponen yang membentuk sistem kerja *incinerator* dapat dilihat pada Tabel 3. berikut ini:

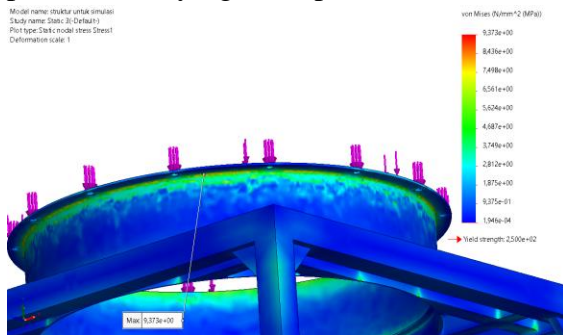
Tabel 3. Komponen *incinerator* sampah

No	Keterangan	No	Keterangan
1.	<i>Chamber</i> pembakaran	14.	<i>Housing filter</i> 3
2.	Struktur rangka	15.	<i>Outlet</i> abu pembakaran
3.	<i>Spray tower</i>	16.	Pemantik api
4.	Pipa gas buang	17.	<i>Inlet</i> sampah
5.	Bak <i>Reservoir</i> 1	18.	Regulator gas
6.	Bak <i>Reservoir</i> 2	19.	Gas CNG
7.	<i>Idfan</i>	20.	Burner
8.	Cerobong asap	21.	<i>Blower</i> udara
9.	<i>Nozzle spray</i>	22.	<i>Inlet reservoir</i>
10.	Pompa air	23.	<i>Outlet</i> bak <i>reservoir</i> 1
11.	<i>Outlet tower spray</i>	24.	<i>Outlet</i> bak <i>reservoir</i> 2
12.	<i>Housing filter</i> 1	25.	Pipa air <i>spray</i>
13.	<i>Housing filter</i> 2		

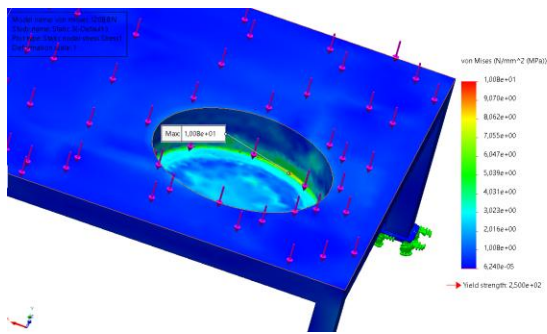
Tabel 4. Hasil simulasi *von mises stress*

Parameter	Simulasi Beban 1	Simulasi Beban 2	<i>Yield Strength</i>
Tegangan maksimal	9,556 MPa	0,0001007 MPa	250 MPa
Tegangan minimal	0,0004993 MPa	0,00005994 MPa	-
Kelayakan	Aman	Aman	-

Berikut hasil simulasi struktur rangka pada *incinerator* sampah kapasitas 45 kg/ *batch* yang meliputi tegangan, perpindahan, dan faktor keamanan terhadap pembebanan yang diterapkan.

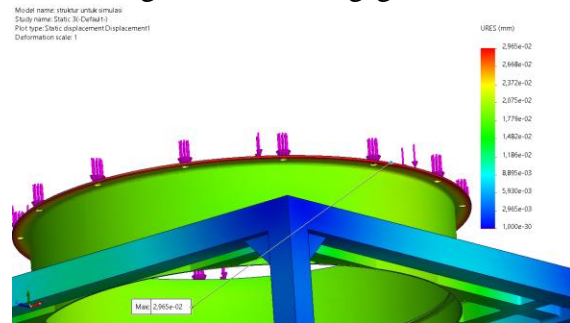


Gambar 8. *Von mises stress* beban 1 (1208,08 N)

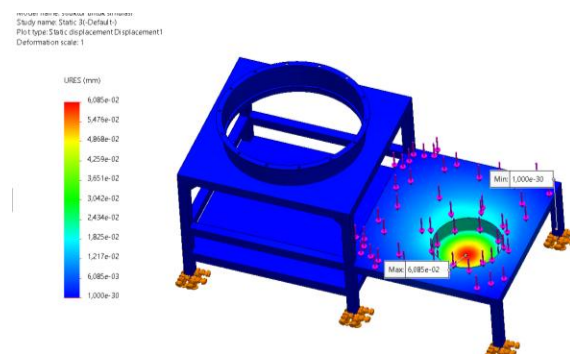


Gambar 9. *Von mises stress* beban 2 (225,23 N)

Berdasarkan hasil simulasi tegangan (*von mises stress*) terhadap struktur rangka *incinerator*, diperoleh bahwa pada Simulasi 1, tegangan maksimum sebesar  $9,556 \times 10^6$  N/m<sup>2</sup> (9,556 MPa) dan tegangan minimum sebesar  $4,993 \times 10^2$  N/m<sup>2</sup> (0,0004993 MPa). Sedangkan pada Simulasi 2, tegangan maksimum meningkat menjadi  $1,007 \times 10^2$  N/m<sup>2</sup> (0,0001007 MPa), dan tegangan minimumnya sebesar  $5,994 \times 10^1$  N/m<sup>2</sup> (0,00005994 MPa). Kedua hasil menunjukkan bahwa nilai tegangan yang muncul masih berada jauh di bawah batas kekuatan luluh material, yaitu sebesar  $2,50 \times 10^8$  N/m<sup>2</sup> (250 MPa). Hal ini menandakan bahwa struktur pada kedua kondisi pembebanan berada dalam batas aman dan tidak mengalami risiko kegagalan struktural.



Gambar 10. *Displacement* beban 1 (1208,08 N)



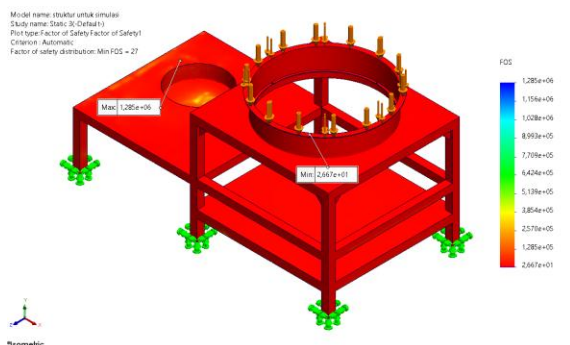
Gambar 11. *Displacement* beban 2 (225,23 N)

Tabel 5. Hasil simulasi *displacement*

Parameter	Simulasi Beban 1	Simulasi Beban 2
<i>Displacement</i> maksimal	0,0396 mm	0,0608 mm
<i>Displacement</i> minimal	$1,00 \times 10^{-30}$ mm	$1,00 \times 10^{-30}$ mm
Kelayakan	Aman, deformasi sangat kecil	Aman, deformasi sangat kecil

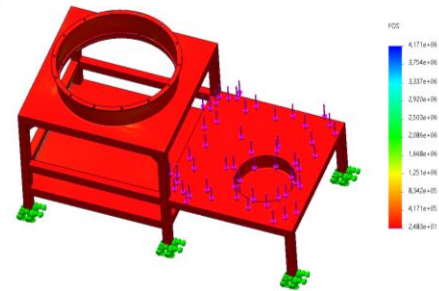
Hasil simulasi perpindahan (*displacement*) menunjukkan bahwa pada Simulasi 1, nilai perpindahan maksimum yang terjadi adalah  $3,962 \times 10^{-2}$  mm (0,0396 mm), sedangkan nilai minimum sebesar  $1,000 \times 10^{-30}$  mm, yang secara praktis dapat dianggap nol karena berada pada titik penopang struktur. Pada Simulasi 2, perpindahan maksimum meningkat menjadi  $6,085 \times 10^{-2}$  mm (0,0608 mm), dengan nilai minimum yang sama, yaitu  $1,000 \times 10^{-30}$  mm.

Nilai-nilai ini menunjukkan bahwa struktur memiliki kekakuan yang sangat baik, karena perpindahan yang terjadi tergolong sangat kecil, jauh di bawah 1 mm. Hal ini menandakan bahwa struktur stabil dan aman secara mekanis terhadap beban yang diterapkan pada kedua kondisi simulasi.



Gambar 12. *Safety factor* beban 1 (1208,08 N)

Model name: struktur untuk simulasi  
 Study name: Static 3 (Default)  
 Plot type: Factor of Safety (Factor of Safety)  
 Criterion: Automatic  
 Factor of safety distribution: Min FOS = 25



Gambar 13. *Safety factor* beban 2 (225,23 N)

Tabel 6. Hasil simulasi *safety factor*

Parameter	Simulasi Beban 1	Simulasi Beban 2
Fos minimum	26,16	25,00
Kelayakan	Aman	Aman

Simulasi faktor keamanan (FOS) menunjukkan bahwa struktur incinerator memiliki tingkat keamanan yang sangat tinggi pada kedua skenario pembebanan. FOS minimum pada Simulasi 1 adalah 26,16 sedangkan pada Simulasi 2 sedikit menurun menjadi 25,00 namun tetap jauh di atas batas minimum yang direkomendasikan (1,5 - 3). Hal ini menandakan bahwa struktur sangat aman dan memiliki cadangan kekuatan yang besar, memungkinkan optimalisasi material bila efisiensi menjadi pertimbangan.

## Kesimpulan

Perancangan dan analisis struktur rangka *incinerator* sampah kapasitas 45 kg/batch menggunakan pendekatan *Computer-Aided Design* (CAD) dan metode *Finite Element Analysis* (FEA) menghasilkan data teknis yang menunjukkan kelayakan struktur terhadap beban operasional. Tegangan maksimum yang muncul tercatat sebesar 9,556 MPa, jauh di bawah batas luluh material ASTM A36 sebesar 250 MPa. Perpindahan maksimum hanya mencapai 0,0396 mm, menandakan kekakuan struktur yang baik dan minim deformasi. Faktor keamanan minimum sebesar 25 juga menunjukkan margin keselamatan yang tinggi. Seluruh parameter simulasi berada dalam batas

aman, sehingga struktur rangka *incinerator* dinilai layak digunakan untuk pengolahan sampah skala kecil secara efisien, aman, dan berkelanjutan.

### Ucapan terimakasih

Penulis memberikan apresiasi yang tinggi dan mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah membantu proses penelitian secara maksimal hingga selesai.

### Referensi

- [1] Pirbadali Somarin Dan S. M. Peyghambarzadeh, "Hazardous Air Pollutants Emission Characteristic And Environmental Effect Of Typical Petrochemical Incinerators," *International Journal Of Environmental Science And Technology*, Vol. 17, No. 8, Hlm. 3771–3784, Agu 2020.
- [2] Estu Broto, Fitriyanti, Amirin Kusmiran, Dan Khaerul Ihsan, "Rancang Bangun Insinerator Pengolahan Sampah Dengan Penerapan Teknologi Termal Yang Ramah Lingkungan," *Jft: Jurnal Fisika Dan Terapannya*, Vol. 11, No. 1, Hlm. 19–30, Jun 2024.
- [3] Wahyu Pratama, "Engineering Design Of Fuel Reactor Pirolysis Incinerator (Ipir) Processing Plastic Waste Into Alternative Fuel With Residual Oil Heating," *Jurnal Teknik Terapan*, Vol. 2, No. 1, Jul 2023.
- [4] Narto, P. Ilmu, P. Semarang, Dan R. Utari, "Implementasi Alat Pembakar Sampah (Insinerator) Dalam Penanggulangan Sampah Dari Pengoperasian Kapal," *Jurnal Saintek Maritim*, Vol. 24, No. 1, 2023.
- [5] Suliastuti, A. Anggraini, Dan T. Iskandar, "Pengaruh Perbandingan Jumlah Media Filter (Pasir Silika, Karbon Aktif, Zeolit) Dalam Kolom Filtrasi Terhadap Kualitas Air Mineral."
- [6] Widia Sari, S. Dwi Cahyani, D. Sari, P. S. Studi, K. Lingkungan, Dan S. Tinggi Ilmu Kesehatan Widyagama Husada, "Efektivitas Pengelolaan Air Bersih Menggunakan Metode Filtrasi Dengan Media Zeolit Dan Karbon Aktif Terhadap Derajat Keasaman (Ph) Dan Kesadahan (Caco 3) Serta Daya Tahan Filtrasi," Vol. 5, No. 3, 2024.
- [7] Susastrio, D. Ginting, E. W. Sinuraya, Dan G. M. Pasaribu, "Kajian Incinerator Sebagai Salah Satu Metode Gasifikasi Dalam Upaya Untuk Mengurangi Limbah Sampah Perkotaan," *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, Vol. 1, No. 1, Hlm. 28–34, Mar 2020.
- [8] Afisna, I. D. Denara, E. Pujiyulianto, Dan V. F. Sanjaya, "Design And Simulation Of Rotary Dryer Frame Strenght Using Finite Element Analysis," *Motivecton : Journal Of Mechanical, Electrical And Industrial Engineering*, Vol. 4, No. 3, Hlm. 245–252, Agu 2022.
- [9] Susastrio, D. Ginting, E. W. Sinuraya, Dan G. M. Pasaribu, "Kajian Incinerator Sebagai Salah Satu Metode Gasifikasi Dalam Upaya Untuk Mengurangi Limbah Sampah Perkotaan," *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, Vol. 1, No. 1, Hlm. 28–34, Mar 2020.
- [10] Pratama Dan D. Agusman, "Halaman 221-230 Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri Dan Informatika," *Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka, Jl. Tanah Merdeka*, Vol. 5, No. 6, 2023.

- [11] Hermawan Dan G. B. Wijaya, "The New Design Criteria For Steel Construction Concerning Occupational Health And Safety".  
Jatibarang Landfill In Semarang, Indonesia: Analyzing Its Performance Parameters For Energy Potential", Doi: 10.1051/E3sconf/201.
- [12] Sesotyo, M. Nur, Dan J. E. Suseno, "Plasma Gasification Modeling Of Municipal Solid Waste From