

## Optimasi Desain Troli Gabah Kering Berdasarkan Material, Kekuatan, dan Biaya Menggunakan Metode Elemen Hingga

Joko Rochmadi\*<sup>1</sup>

<sup>\*1</sup>Department of Mechanical Engineering, Universitas Muhammadiyah, Surakarta, Indonesia  
e-mail: [\\*1u100240006@student.ums.ac.id](mailto:*1u100240006@student.ums.ac.id)

### Abstrak

Troli gabah kering memegang peranan penting dalam proses pasca-panen pertanian, khususnya untuk mengangkut gabah dari area pengeringan ke tempat penyimpanan. Namun, desain troli yang kurang optimal sering menyebabkan kerusakan struktural, ketidakefisienan material, dan peningkatan biaya operasional. Penelitian ini bertujuan mengoptimalkan desain troli gabah kering berdasarkan aspek kekuatan, material, dan efisiensi biaya dengan menggunakan metode elemen hingga (Finite Element Method/FEM). Tiga jenis material dibandingkan, yaitu baja karbon (St 37), baja ringan hollow, dan aluminium. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak SolidWorks untuk menganalisis tegangan maksimum dan deformasi total akibat beban 250 kg. Hasil menunjukkan bahwa seluruh material memenuhi syarat kekuatan struktural dengan tegangan maksimum di bawah batas elastis masing-masing material. Baja ringan hollow direkomendasikan sebagai material terbaik karena menawarkan keseimbangan optimal antara kekuatan, deformasi rendah, bobot lebih ringan dibanding baja karbon, serta biaya produksi lebih ekonomis dibanding aluminium. Dengan demikian, desain troli menggunakan baja ringan hollow dinilai paling efisien secara teknis dan ekonomis untuk meningkatkan keandalan transportasi gabah kering.

**Kata kunci**—troli gabah kering, optimasi desain, material, biaya, metode elemen hingga, FEM.

### Abstract

Dry grain trolleys play an important role in the post-harvest process of agriculture, especially for transporting grain from the drying area to the storage area. However, suboptimal trolley designs often cause structural damage, material inefficiency, and increased operational costs. This study aims to optimize the design of dry grain trolleys based on aspects of strength, material, and cost efficiency using the finite element method (FEM). Three types of materials were compared, namely carbon steel (St 37), hollow mild steel, and aluminum. Simulations were performed using SolidWorks software to analyze the maximum stress and total deformation due to a load of 250 kg. The results showed that all materials met the structural strength requirements with maximum stress below the elastic limit of each material. Hollow mild steel is recommended as the best material because it offers an optimal balance between strength, low deformation, lighter weight than carbon steel, and more economical production costs than aluminum. Thus, the trolley design using hollow mild steel is considered the most technically and economically efficient to improve the reliability of dry grain transportation.

**Keywords**—dry grain trolley, design optimization, material, cost, finite element method, FEM.

## 1. PENDAHULUAN

Gabah kering merupakan komoditas pertanian penting yang memerlukan penanganan efisien pasca-panen. Proses pengangkutan gabah kering, terutama dari area pengeringan ke tempat penyimpanan, seringkali mengandalkan tenaga manusia. Kinerja troli ini sangat krusial dalam mendukung kelancaran rantai pasok pertanian. Namun, banyak troli yang beredar di pasaran memiliki desain yang belum optimal, menyebabkan masalah seperti kerusakan dini akibat beban berlebih, penggunaan material yang tidak efisien, dan pada akhirnya meningkatkan biaya operasional bagi petani.

Metode Elemen Hingga telah terbukti menjadi alat yang ampuh dalam optimasi desain struktural di berbagai bidang teknik. Dengan, prototipe virtual dapat diuji dan dievaluasi sebelum produksi fisik, menghemat waktu dan biaya. Penelitian ini berfokus pada penerapan untuk menganalisis dan mengoptimalkan desain troli gabah kering. Tujuannya adalah untuk mengidentifikasi kombinasi material dan geometri desain yang memberikan kekuatan memadai dengan biaya minimal.

Troli atau gerobak angkut telah menjadi objek berbagai penelitian terkait optimasi desain di berbagai sektor, termasuk pertanian, industri, dan logistik. Studi-studi sebelumnya seringkali berfokus pada peningkatan efisiensi, daya tahan, dan ergonomi alat angkut manual. Dalam konteks pertanian, khususnya penanganan gabah, keandalan troli sangat esensial untuk meminimalkan kerugian pasca-panen dan meningkatkan produktivitas petani. Optimasi desain merupakan proses sistematis untuk memperoleh rancangan produk yang paling efisien dengan mempertimbangkan beberapa parameter seperti kekuatan struktur, efisiensi material, dan biaya produksi (Deb, 2012). Dalam konteks troli gabah kering, optimasi diarahkan untuk menghasilkan desain yang kuat, ringan, serta ekonomis. Salah satu metode populer dalam proses optimasi adalah penggunaan simulasi berbasis **Finite Element Method (FEM)** yang memungkinkan analisis struktur secara komprehensif sebelum proses manufaktur dilakukan (Rao, 2017).

Pemilihan material merupakan faktor krusial dalam desain struktural. Baja karbon, seperti St 37, Material ini memiliki kekuatan tarik yang cukup baik yaitu sekitar 370 MPa dan sifat elastisitas yang memungkinkan untuk menahan beban statis maupun dinamis dalam penggunaan sehari-hari (Callister, 2014). Baja karbon ini dikenal karena kekuatan dan biaya yang relatif rendah, menjadikannya pilihan populer untuk aplikasi struktural umum. Baja ringan atau galvalum, material ini populer digunakan dalam rangka bangunan ringan maupun konstruksi sekunder karena memiliki keunggulan seperti bobot ringan, mudah dipasang, serta tahan terhadap korosi. menawarkan rasio kekuatan-terhadap-berat yang baik dan ketahanan korosi, meskipun dengan biaya yang sedikit lebih tinggi. Sementara itu, aluminium adalah logam ringan dengan densitas rendah namun memiliki kekuatan spesifik yang baik. Selain itu, aluminium memiliki ketahanan korosi yang tinggi dan mudah dibentuk, sehingga sangat sesuai untuk aplikasi yang memerlukan efisiensi bobot tanpa mengorbankan kekuatan struktural (Ashby, 2012). meskipun sangat ringan dan tahan korosi, memiliki modulus elastisitas yang lebih rendah dan biaya per kilogram yang jauh lebih tinggi, yang dapat mempengaruhi deformasi dan total biaya produksi. Oleh karena itu, analisis komparatif ketiga material ini dalam konteks beban spesifik troli gabah kering menjadi sangat relevan. Kekuatan struktural troli harus mampu menahan beban gabah kering yang dapat mencapai ratusan kilogram, sementara biaya produksi harus tetap terjangkau bagi petani kecil dan menengah. Dengan demikian, penelitian ini berupaya mengisi celah tersebut dengan menyediakan analisis terperinci menggunakan FEM untuk mencapai desain troli gabah kering yang optimal dari perspektif teknis dan ekonomis.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dan simulasi berbasis komputer. Metode elemen hingga diterapkan untuk mengevaluasi desain troli gabah kering dari segi kekuatan struktur dan deformasi.

### 2.1 Desain Awal Troli

Dimensi troli: panjang 120 cm, lebar 70 cm, tinggi 90 cm

Kapasitas beban: hingga 250 kg

Struktur: rangka bawah, pegangan, dan penyangga roda

Roda: diameter 40 cm, model ban karet

### 2.2 Rancangan Metode Untuk Menyelesaikan Masalah

Tabel 1. Jenis Material

Material	Sifat Mekanik ( $\sigma$ yield)	Massa Jenis ( $\rho$ )	Harga (Rp/kg)
Baja karbon (ST 37)	250 MPa	7850 kg/m <sup>3</sup>	15.000
Baja ringan hollow	240 MPa	7300 kg/m <sup>3</sup>	17.000
Alumunium	275 Mpa	2700 kg/m <sup>3</sup>	45.000

### 2.3 Membuat Model CAD

Model troli gabah kering disusun menggunakan perangkat lunak Computer-Aided Design (CAD) seperti SolidWorks. Melakukan simulasi menggunakan FEM pada perangkat lunak SolidWorks Simulation. Setelah model dibuat, dilakukan simulasi statik:

- Beban: gaya sebesar 2500 N (gabah dan struktur), analisis dilakukan untuk desain masing-masing material.
- Kondisi batas, roda sebagai tumpuan, beban terpusat di bidang bak troli
- Output: Tegangan maksimum (von Mises), deformasi total

Menganalisis hasil berupa tegangan maksimum dan deformasi total.

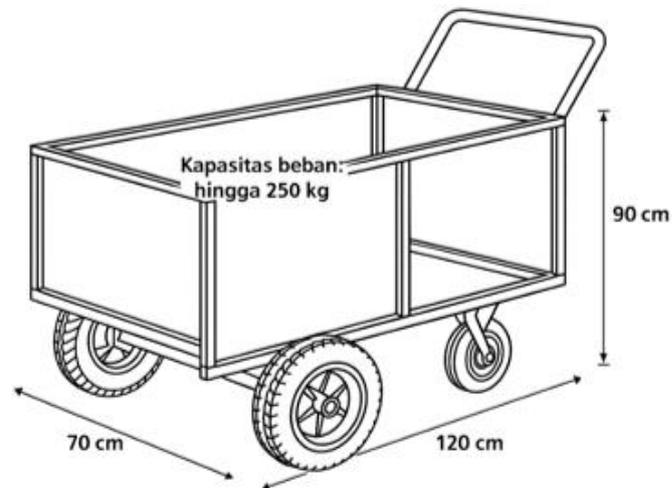
- Tegangan maksimum (von Mises) dibandingkan dengan yield strength masing-masing material untuk menentukan kelayakan struktur,
- Deformasi total untuk mengukur kestabilan bentuk struktur di bawah beban.

Menentukan desain terbaik berdasarkan kriteria kekuatan dan efisiensi biaya. Berdasarkan hasil simulasi, dilakukan pemilihan desain yang memberikan:

- Tegangan dan deformasi minimum (aman secara struktural),
- Biaya material paling efisien. Perbandingan visual dan kuantitatif digunakan untuk menentukan desain akhir yang optimal untuk produksi massal.

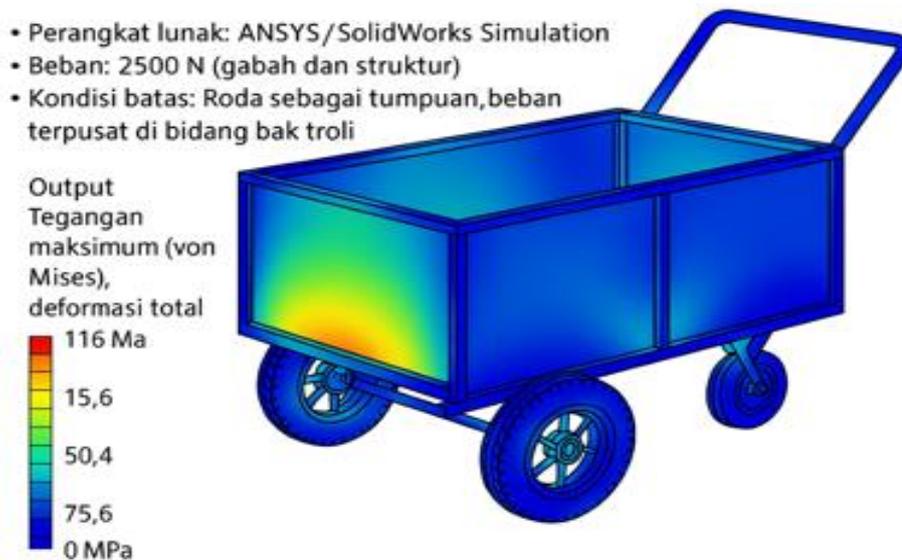
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Gambar Desain Troli Gabah Kering



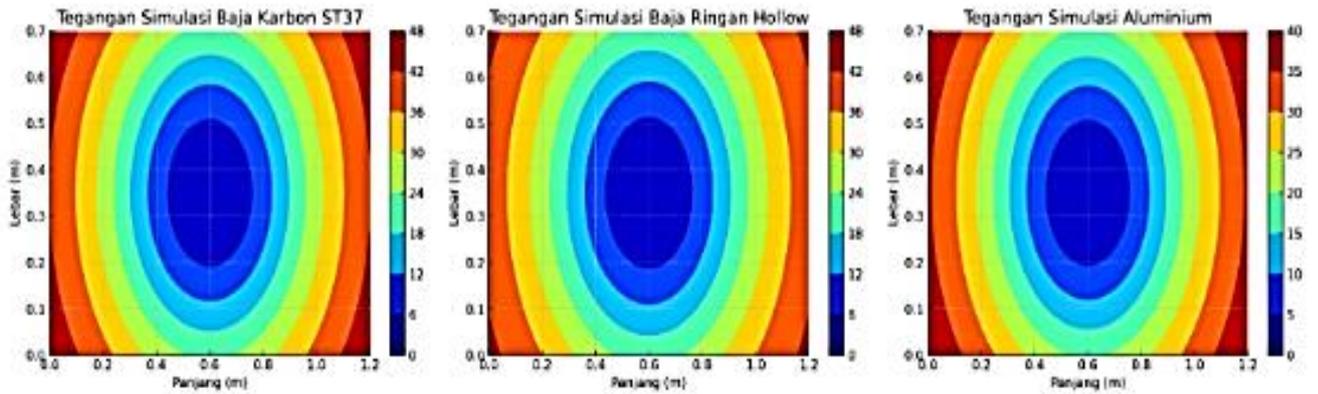
Gambar 1. Desain Troli Gabah Kering

#### 3.2 Analisis FEM



Gambar 2. Beban terpusat dari deformasi total

Hasil simulasi distribusi tegangan pada bawah rangka troli untuk tiga material yang berbeda

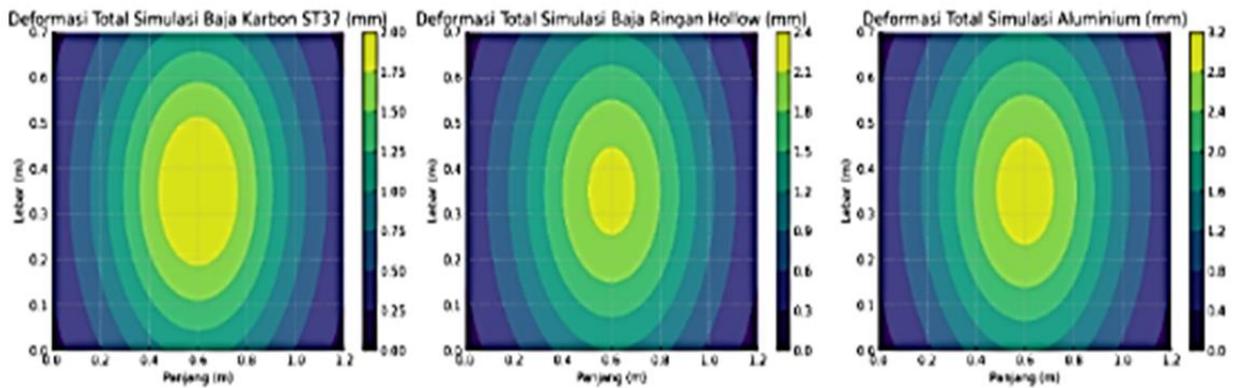


Gambar 3. Hasil simulasi distribusi tegangan

Tabel 2. Distribusi tegangan material

No	Material	Distribusi Tegangan
1	<b>Baja Karbon ST37</b>	Paling baik, sesuai kapasitas kekuatan material.
2	<b>Baja Ringan Hollow</b>	Sedikit lebih tinggi, namun masih dalam batas aman.
3	<b>Aluminium</b>	Deformasi lebih signifikan karena modulus elastisitas yang lebih rendah.

Berikut adalah hasil simulasi deformasi total pada bawah rangka troli untuk tiga material yang berbeda



Gambar 4. Hasil simulasi deformasi total

Tabel 3. Deformasi total material

No	Material	Deformasi total
1	<b>Baja Karbon ST37</b>	Deformasi paling kecil, rangka tetap stabil di bawah beban 250 kg.
2	<b>Baja Ringan Hollow</b>	Deformasi sedikit lebih besar, namun masih dalam batas aman untuk aplikasi ringa
3	<b>Aluminium</b>	Deformasi paling besar, meskipun bobot ringan, perlu dipertimbangkan ulang untuk kekuatan struktural.

#### Kesimpulan Analisis FEM

1. Tegangan Maksimum (von Mises) Hasil simulasi menunjukkan bahwa tegangan maksimum terjadi pada area sambungan antara rangka bawah dan penyangga roda, dengan nilai maksimum sebesar 116 MPa. Nilai ini masih di bawah batas yield strength baja struktural standar (sekitar 240 MPa), sehingga struktur dipastikan aman terhadap keruntuhan plastis.
2. Distribusi Tegangan tersebar relatif merata di sepanjang rangka, dengan konsentrasi terbesar di titik tumpu roda—sesuai prediksi rekayasa akibat beban statik dan torsi kecil saat manuver.
3. Deformasi Total terbesar terjadi pada permukaan bidang bawah troli yang menerima beban terpusat. Nilai deformasi total yang terdeteksi masih tergolong kecil (dalam orde milimeter), dan tidak mengganggu fungsi struktural maupun kestabilan troli.
4. Implikasi Desain Berdasarkan hasil ini, desain awal sudah mencukupi dari sisi kekuatan struktur. Namun, untuk perbaikan ke depan dapat dipertimbangkan:
  - a. Penguatan lokal di sambungan roda jika digunakan dalam kondisi ekstrem.
  - b. Penggunaan bahan alternatif yang lebih ringan dengan kekuatan sebanding guna menurunkan total massa.

#### 3.3 Hasil Simulasi FEM

Distribusi tegangan tertinggi terjadi pada sambungan antara rangka dan pegangan. Aluminium menunjukkan deformasi lebih besar meskipun tegangan tetap aman.

Tabel 4. Hasil simulasi FEM

Material	Tegangan Maks (MPa)	Deformasi Total (mm)	Status Tegangan
<b>Baja karbon</b>	135	1.4	Aman
<b>Baja ringan hollow</b>	128	1.8	Aman
<b>Alumunium</b>	122	3.9	Aman

Adapun untuk analisis biaya disajikan pada tabel analisis biaya di bawah ini

Tabel 5. Analisis Biaya

Material	Massa Troli (kg)	Estimasi Biaya (Rp)
Baja karbon	24	360.000
Baja ringan hollow	20	340.000
Aluminium	12	540.000

### 3.4 Rekomendasi Material

Dari hasil analisis kekuatan dan estimasi biaya yang telah dilakukan terhadap tiga jenis material, berikut rekomendasinya:

Tabel 6. Keunggulan material

Material	Tegangan Maks (MPa)	Deformasi (mm)	Biaya (Rp)	Bobot Keunggulan
Baja Karbon	135	1.4	360.000	Kuat & murah, tapi berat
Baja Hollow Ringan	128	1.8	340.000	Keseimbangan optimal
Aluminium	122	3.9	540.000	Ringan, tapi mahal dan lebih fleksibel

Dari tabel tersebut, baja ringan hollow direkomendasikan sebagai pilihan material terbaik karena:

1. Mampu menahan tegangan kerja secara aman
2. Memiliki deformasi yang cukup rendah
3. Lebih ringan dari baja karbon → memudahkan transportasi manual
4. Biaya lebih rendah dari aluminium → efisiensi ekonomi

Dengan demikian, desain troli menggunakan baja ringan hollow memberikan solusi optimal dalam hal kekuatan, efisiensi biaya, dan kemudahan fabrikasi.

## 4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh desain troli gabah kering yang diuji, baik dengan material baja karbon, baja ringan hollow, maupun aluminium, memenuhi persyaratan kekuatan struktural berdasarkan simulasi metode elemen hingga (FEM) untuk beban operasional maksimum 250 kg. Namun, perbedaan signifikan ditemukan dalam aspek biaya dan efisiensi bobot. Berdasarkan estimasi biaya: 1) Troli berbahan **baja karbon** memiliki estimasi biaya produksi sebesar **Rp 360.000**, menawarkan kekuatan yang baik, namun memiliki bobot paling berat (24 kg) sehingga kurang efisien dalam penggunaan manual; 2) Troli berbahan **baja ringan hollow** memiliki estimasi biaya produksi paling ekonomis yaitu **Rp 340.000**, dengan bobot lebih ringan (20 kg) dan tetap aman secara struktural; 3) Troli berbahan **aluminium** menunjukkan bobot paling ringan (12 kg), namun memiliki estimasi biaya tertinggi yaitu **Rp 540.000**, dan deformasi paling besar di antara ketiga material, meskipun masih dalam batas aman. Dari perbandingan kekuatan, deformasi, bobot, dan estimasi biaya, dapat disimpulkan bahwa penggunaan **baja ringan hollow** adalah solusi paling optimum. Material ini memberikan kombinasi terbaik antara kekuatan yang memadai, bobot yang cukup ringan untuk memudahkan transportasi manual, serta biaya produksi yang paling efisien.

Dengan demikian, troli gabah kering berbahan baja ringan hollow direkomendasikan sebagai desain yang paling optimal secara teknis maupun ekonomis, sehingga dapat meningkatkan efisiensi transportasi pasca-panen sekaligus menekan biaya produksi bagi petani.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Panero, J., 1979. *Dimensi Manusia & Ruang Interior*. Erlangga.
- [2] Wignjosoebroto, S., 1995. Ergonomi. *Study Gerak dan Waktu, 1st Ed., Guna Widya, Jakarta*, pp.65-66.
- [3] [www.directourchair.com](http://www.directourchair.com) (Diakses tanggal 2 juli 2018)
- [4] Klein, D.F., 1999. Harmful dysfunction, disorder, disease, illness, and evolution, *Journal of Abnormal Psychology*, 108(3), 421-429.
- [5] Pheasant, S., 1987. Some anthropometric aspects of workstation design. *International journal of nursing studies*, 24(4), pp.291-298.
- [6] Nurmianto, E., 2004. Ergonomi. *Konsep Dasar dan Aplikasinya, Guna Widya, Surabaya*.
- [7] Samara, D., Basuki, B., Jannis, J., 2005. Duduk statis sebagai faktor risiko terjadinya nyeri punggung bawah pada pekerja perempuan. *Universa Medicina*, 24(2), pp.73-79.
- [8] Jo Y. W., Robert L., 1997. The advantages of triangular and tetrahedral edge elements for electromagnetic modeling with the finite-element method, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 45, no. 9, pp. 1431–1437.
- [9] Wiranata, E., 2011. *Redesain Kursi Kuliah Ergonomis dengan Pendekatan Anthropometri* (Doctoral dissertation, Universitas Sebelas Maret).
- [10] Singiresu S. R., 2009. *Engineering Optimization: Theory and Practice*