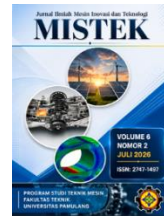




JURNAL TEKNIK MESIN

MISTEK

MESIN INOVASI DAN TEKNOLOGI



PERANCANGAN DAN ANALISIS KEKUATAN STRUKTUR RANGKA KNOCK-DOWN PADA PROTOTIPE MESIN EKSTRUSI LIMBAH PLASTIK SKALA RUMAH TANGGA

Ananda Arief Rahman¹, Irwan Aranda²

^{1,2}Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pamulang, Jl. Surya Kencana No.1, Tangerang Selatan,
Indonesia

E-mail : anandaarief@gmail.com¹, dosen01281@unpam.ac.id²

Masuk : 02 Februari 2026

Direvisi : 04 Maret 2026

Disetujui : 25 Maret 2026

Abstrak: Penelitian ini bertujuan merancang dan menganalisis kekuatan struktur rangka pada prototipe mesin ekstrusi limbah plastik skala rumah tangga berbasis konsep *knock-down* yang kompak dan mudah dirakit. Metode yang digunakan adalah rekayasa perancangan (*engineering design*) yang meliputi studi literatur, perancangan menggunakan perangkat lunak CAD, perhitungan manual berdasarkan teori mekanika teknik, serta simulasi numerik menggunakan SolidWorks *Simulation* dengan metode elemen hingga (*Finite Element Method*). Material rangka menggunakan baja hollow dan siku ASTM A36 berukuran $30 \times 30 \times 2$ mm dengan dimensi keseluruhan $600 \times 400 \times 640$ mm, yang menopang beban kerja total sebesar 117,6 N dari enam komponen utama mesin. Sistem sambungan menggabungkan las sudut SMAW elektroda E6013 sebagai pengikat permanen dan baut M8 sebagai sistem bongkar-pasang. Hasil perhitungan manual menunjukkan tegangan Von Mises maksimum sebesar 1,4708 MPa, displacement 0,00735 mm, dan faktor keamanan struktur sebesar 163. Hasil simulasi menunjukkan tegangan Von Mises maksimum 1,995 MPa, displacement 0,002944 mm, dan faktor keamanan minimum 125,3, yang keduanya masih jauh berada di bawah tegangan luluh material sebesar 250 MPa. Selisih hasil perhitungan manual terhadap simulasi pada tegangan Von Mises mencapai sekitar 35,6%, sedangkan pada displacement mencapai sekitar 59,9%, yang disebabkan oleh perbedaan asumsi pembebanan antara pendekatan analitis sederhana dan model elemen hingga yang memperhitungkan geometri struktur secara menyeluruh. Dengan demikian, struktur rangka dinyatakan aman, memiliki kekakuan yang baik, dan layak digunakan sebagai rangka utama prototipe mesin ekstrusi limbah plastik skala rumah tangga berbasis konsep *knock-down*.

Kata kunci: mesin ekstrusi limbah plastik, struktur rangka knock-down, baja hollow ASTM A36, SolidWorks Simulation, tegangan Von Mises.

Abstract: This study aims to design and analyze the structural strength of the frame of a household-scale plastic waste extrusion machine prototype based on a compact and easily assembled knock-down concept. The method used is engineering design, comprising a literature study, CAD-based design, manual calculation based on engineering mechanics theory, and numerical simulation using SolidWorks Simulation with the Finite Element Method. The frame material is ASTM A36 hollow and angle steel measuring $30 \times 30 \times 2$ mm, with overall dimensions of $600 \times 400 \times 640$ mm, supporting a total working load of 117.6 N from six main machine components. The joint system combines SMAW fillet welding with an E6013 electrode as a permanent joint and M8 bolts as a knock-down joint. Manual calculation results show a maximum Von Mises stress of 1.4708 MPa, a displacement of 0.00735 mm, and a structural safety factor of 163. Simulation results show a maximum Von Mises stress of 1.995 MPa, a maximum displacement of 0.002944 mm, and a minimum

Ananda Arief Rahman dan Irwan Aranda, Perancangan Dan Analisis Kekuatan Struktur Rangka Knock-Down Pada Prototipe Mesin Ekstrusi Limbah Plastik Skala Rumah Tangga

safety factor of 125.3, both of which remain far below the material yield strength of 250 MPa. The difference between the manual and simulation results reaches about 35.6% for Von Mises stress and about 59.9% for displacement, caused by differing loading assumptions between the simplified analytical approach and the finite element model, which accounts for the overall structural geometry. The frame structure is therefore declared safe, sufficiently rigid, and suitable for use as the main frame of a household-scale plastic waste extrusion machine prototype based on the knock-down concept.

Keywords: *plastic waste extrusion machine, knock-down frame structure, ASTM A36 hollow steel, SolidWorks Simulation, Von Mises stress.*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara dengan populasi besar yang mencapai 284.438,8 ribu jiwa, sehingga menghadapi permasalahan pengelolaan sampah yang kompleks, terutama sampah plastik. Data Badan Pusat Statistik mencatat timbunan sampah nasional mencapai 64 juta ton per tahun, dengan sekitar 12% atau 7,68 juta ton di antaranya merupakan sampah plastik, dan volume ini terus meningkat seiring pertumbuhan populasi dan konsumsi masyarakat. Di sisi lain, tingkat daur ulang plastik pada level rumah tangga masih rendah dan sangat bergantung pada sistem informal seperti pemulung maupun bank sampah [1].

Limbah plastik rumah tangga seperti botol PET, kantong kresek, dan kemasan makanan memiliki potensi besar untuk diolah kembali menjadi produk bernilai guna melalui teknologi ekstrusi, misalnya menjadi filamen untuk pencetakan tiga dimensi, pelet biji plastik, maupun profil sederhana [2]. Teknologi ini dinilai lebih ramah lingkungan karena mampu menurunkan volume sampah sekaligus menghasilkan produk baru. Permasalahannya, sebagian besar mesin ekstruder yang tersedia saat ini dirancang untuk skala industri sehingga berukuran besar, boros daya, dan rumit dioperasikan [4], akibatnya teknologi tersebut sulit diakses langsung oleh masyarakat rumah tangga.

Kesenjangan (gap) inilah yang mendasari pentingnya pengembangan mesin ekstrusi berskala kecil dan praktis yang dapat dioperasikan pada lingkup rumah tangga. Salah satu pendekatan yang menjanjikan adalah penerapan desain knock-down pada struktur rangka, yaitu rangka modular yang dapat dibongkar dan dirakit ulang dengan mudah tanpa merusak komponen utamanya [6]. Pendekatan ini memberikan keunggulan berupa portabilitas, kemudahan perawatan, efisiensi biaya pengiriman, serta fleksibilitas pengembangan desain pada modul tertentu tanpa harus merancang ulang keseluruhan sistem dan sangat relevan bagi masyarakat menengah ke bawah yang ingin berpartisipasi dalam daur ulang plastik secara mandiri [8].

Beberapa penelitian terdahulu telah membuktikan kelayakan struktural profil hollow sebagai bahan rangka peralatan mekanis. Herakarsono dkk. merancang rangka alat uji torsi berbahan hollow 4×6 cm (ASTM A500) yang terbukti layak menahan beban sekitar 981 N [9], sementara Marjuki dkk. menggunakan rangka hollow 40×40 mm pada alat pemotong plat sistem geser [10]. Dari sisi fabrikasi, Minto dkk. meneliti zona terpengaruh panas (HAZ) pada sambungan las profil hollow, menegaskan pentingnya kualitas sambungan pada struktur berbahan hollow [11]. Budiman dan Khoeri membandingkan profil WF dan HSS (hollow structural section) dan menemukan bahwa profil HSS memberikan bobot lebih ringan namun tetap memadai secara struktural [12], sedangkan Agam dkk. menerapkan analisis elemen hingga pada besi hollow sebagai penegar kapal fiber [13]. Rangkaian penelitian ini memperkuat landasan bahwa struktur berbahan hollow steel section layak dijadikan basis perancangan rangka mesin skala kecil-menengah, termasuk pada prototipe mesin ekstrusi limbah plastik rumah tangga yang dikembangkan pada penelitian ini.

Namun demikian, penelitian-penelitian tersebut umumnya membahas aplikasi hollow steel pada peralatan uji, alat potong, atau struktur kapal, dan belum ada yang secara spesifik menggabungkan konsep

Ananda Arief Rahman dan Irwan Aranda, Perancangan Dan Analisis Kekuatan Struktur Rangka Knock-Down Pada Prototipe Mesin Ekstrusi Limbah Plastik Skala Rumah Tangga

sambungan knock-down (kombinasi las permanen dan baut lepas-pasang) dengan validasi ganda melalui perhitungan manual mekanika teknik dan simulasi elemen hingga (FEM) pada rangka mesin ekstrusi plastik berskala rumah tangga. Kebaruan (novelty) penelitian ini terletak pada integrasi desain modular knock-down dengan pendekatan verifikasi berlapis — analitis dan numerik — sehingga keandalan struktural rangka dapat dipertanggungjawabkan secara kuantitatif sebelum tahap fabrikasi.

Berdasarkan uraian tersebut, rumusan masalah penelitian ini adalah: (1) bagaimana merancang struktur rangka prototipe mesin ekstrusi limbah plastik rumah tangga berbasis konsep knock-down yang kompak; (2) bagaimana merancang dan mengimplementasikan sistem sambungan knock-down pada struktur tersebut; dan (3) bagaimana kekuatan serta kestabilan struktur rangka yang dihasilkan. Sejalan dengan rumusan masalah tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang struktur rangka mesin ekstrusi limbah plastik skala rumah tangga berbasis konsep knock-down, mengembangkan sistem sambungan dan konstruksi rangkanya, serta menganalisis kekuatan dan kestabilan struktur rangka menggunakan pendekatan mekanika teknik dan simulasi numerik agar struktur mampu menahan beban operasional secara aman dan stabil.

METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan pendekatan rekayasa perancangan (engineering design) yang bersifat terapan, karena berfokus pada perancangan produk teknik berupa struktur rangka mesin ekstrusi plastik skala rumah tangga berbasis knock-down. Metode ini mencakup tahapan identifikasi kebutuhan, perumusan spesifikasi teknis, pembuatan alternatif desain, pemilihan desain terbaik, simulasi kekuatan struktur, hingga pembuatan prototipe fisik. Penelitian dilaksanakan di Bengkel Teknik Mesin Universitas Pamulang dan bengkel mitra.

Alur penelitian

Alur penelitian dilaksanakan melalui delapan tahap yang saling berurutan, yaitu: (1) studi literatur dan pengumpulan data awal; (2) persiapan alat dan bahan; (3) perancangan struktur rangka dengan konsep knock-down menggunakan perangkat lunak CAD; (4) pemilihan material dan metode sambungan; (5) simulasi dan analisis struktur menggunakan metode elemen hingga [14]; (6) pembuatan prototipe fisik; (7) pengujian kinerja dan kemudahan bongkar-pasang; serta (8) evaluasi hasil dan penarikan kesimpulan.

Material dan peralatan

Material struktural yang digunakan adalah baja profil hollow dan siku ASTM A36 berukuran $30 \times 30 \times 2$ mm, dipilih karena rasio kekuatan terhadap berat yang baik, kemudahan fabrikasi, serta ketersediaannya di pasaran dengan harga ekonomis [17]. Peralatan penelitian meliputi komputer dengan perangkat lunak CAD dan FEM (SolidWorks), mesin las listrik dengan proses SMAW menggunakan elektroda Nikko Steel RD 260 6013 berdiameter 2 mm, mesin bor dan gerinda untuk pembuatan lubang sambungan serta finishing permukaan, alat ukur (penggaris, jangka sorong, waterpass), serta kunci baut dan obeng set untuk proses perakitan sistem knock-down.

Proses perancangan dan validasi

Proses perancangan mengacu pada prinsip desain modular dan ergonomis, dimulai dari identifikasi kebutuhan (rangka harus ringan, kuat, mudah dirakit/dibongkar, serta memuat komponen hopper, barrel, motor, dan screw extruder), penentuan dimensi dan material, desain sambungan knock-down menggunakan sistem baut-mur dan pelat pengikat, hingga simulasi dan analisis struktur menggunakan SolidWorks Simulation. Prototipe dibuat berdasarkan desain terpilih menggunakan material aktual, kemudian diuji secara kualitatif dan kuantitatif untuk mengetahui kekuatan struktur, kestabilan rangka saat mesin beroperasi, serta durasi dan kemudahan proses bongkar-pasang. Validasi hasil dilakukan dengan membandingkan hasil

Ananda Arief Rahman dan Irwan Aranda, Perancangan Dan Analisis Kekuatan Struktur Rangka Knock-Down Pada Prototipe Mesin Ekstrusi Limbah Plastik Skala Rumah Tangga

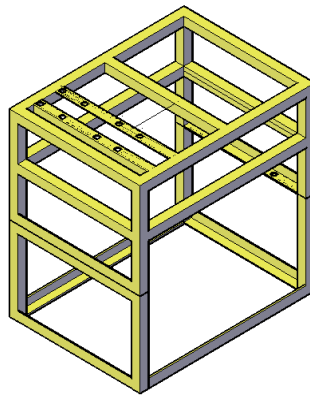
perhitungan manual berbasis teori mekanika teknik [15] terhadap hasil simulasi SolidWorks Simulation, sehingga tingkat keandalan desain dapat dievaluasi secara kuantitatif sebelum prototipe difabrikasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

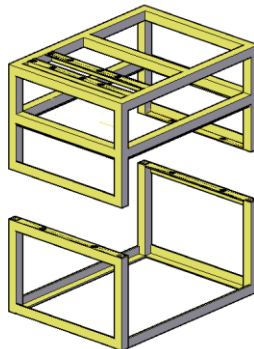
Desain struktur rangka

Struktur rangka prototipe mesin ekstrusi limbah plastik dirancang dengan dimensi keseluruhan 600 mm × 400 mm × 640 mm (panjang × lebar × tinggi), menggunakan material baja ASTM A36 profil hollow 30 × 30 × 2 mm serta baja profil siku berukuran sama sebagai elemen pengaku dan dudukan sambungan. Pemilihan material didasarkan pada tiga pertimbangan utama, yaitu kesesuaian kekuatan dan nilai estetika terhadap spesifikasi mesin, ketersediaan serta harga yang terjangkau di pasaran, dan kemudahan proses fabrikasi.

Desain rangka menerapkan konsep knock-down agar prototipe mudah dimobilisasi dan dirawat. Sistem sambungan menggabungkan dua metode: sambungan las sudut (fillet weld) pada bagian struktur yang bersifat permanen, dan sambungan baut M8 pada empat titik kaki rangka sebagai mekanisme bongkar-pasang antara struktur rangka atas dan bawah. Kombinasi ini memberikan keseimbangan antara kekuatan struktural dari sambungan las dan fleksibilitas perakitan/transportasi dari sambungan baut.



Gambar 1. Desain struktur rangka prototipe mesin ekstrusi limbah plastik (Sumber: Dokumen Pribadi)



Gambar 2. Desain sistem sambungan knock-down pada rangka (Sumber: Dokumen Pribadi)

Perhitungan manual

Ananda Arief Rahman dan Irwan Aranda, Perancangan Dan Analisis Kekuatan Struktur Rangka Knock-Down Pada Prototipe Mesin Ekstrusi Limbah Plastik Skala Rumah Tangga

Analisis kekuatan struktur rangka diawali dengan identifikasi beban kerja yang berasal dari komponen-komponen utama mesin ekstrusi, yaitu dinamo, gearbox rasio 1:40, hopper, screw, barel, dan box panel listrik, dengan total massa 12 kg. Rincian pembebanan disajikan pada Tabel 1.

No.	Nama Komponen	Beban (kg)	Beban (N)
1	Dinamo	3	29,4
2	Gear box 1:40	3	29,4
3	Hopper	1	9,8
4	Screw	1	9,8
5	Barel	1	9,8
6	Box electric panel	3	29,4
Total	-	12	117,6

Tabel 1. Data beban rangka prototipe mesin ekstrusi limbah plastik

Perhitungan gaya berat total menggunakan persamaan dasar mekanika:

$$F = m \cdot g \quad (1)$$

dengan F adalah gaya berat (N), m adalah massa total komponen (kg), dan g adalah percepatan gravitasi (9,8 m/s²). Substitusi m = 12 kg menghasilkan F = 12 × 9,8 = 117,6 N sebagai beban kerja total yang diterima struktur rangka.

Luas bidang tumpuan rangka dihitung menggunakan persamaan luas permukaan:

$$A = P \times L \quad (2)$$

dengan A adalah luas permukaan (mm²), P adalah panjang rangka (mm), dan L adalah lebar rangka (mm)^[15]. Dengan P = 600 mm dan L = 400 mm diperoleh A = 240.000 mm².

Momen yang bekerja pada rangka akibat beban terpusat di tengah bentang dihitung dengan:

$$\begin{aligned}
 M &= F \times \frac{1}{2} \text{ Panjang rangka Mesin} \\
 &= 117,6 \text{ N} \times 300 \text{ mm} \\
 &= 35.280 \text{ Nmm} \quad (3)
 \end{aligned}$$

Tegangan geser pada penampang rangka dihitung menggunakan:

$$\begin{aligned}
 \sigma_{xy} &= \frac{M}{2.A.b} \\
 &= \frac{35.280 \text{ Nmm}}{2 \cdot 240.000 \text{ mm}^2 \cdot 2 \text{ mm}} \\
 &= \frac{35280 \text{ Nmm}}{960000 \text{ mm}^2} \\
 &= 0,036 \text{ N/mm}
 \end{aligned} \quad (4)$$

Posisi titik berat penampang hollow dihitung dari:

$$\begin{aligned}
 C &= \frac{h}{2} \\
 &= \frac{30 \text{ mm}}{2} \\
 &= 15 \text{ mm}
 \end{aligned} \quad (5)$$

Momen inersia penampang dihitung menggunakan pendekatan pada naskah asli:

Ananda Arief Rahman dan Irwan Aranda, Perancangan Dan Analisis Kekuatan Struktur Rangka Knock-Down Pada Prototipe Mesin Ekstrusi Limbah Plastik Skala Rumah Tangga

$$I = \frac{1}{12} \cdot m \cdot l^2$$

(6)

$$I = \frac{1}{12} \cdot 12 \cdot (600)^2$$

$$I = 360.000 \text{ mm}^4$$

Momen inersia digunakan pada perhitungan tegangan normal dan defleksi.

Tegangan normal akibat lentur dihitung dengan:

$$(\sigma_t) = \frac{m \cdot c}{I}$$

(7)

$$= \frac{35280 \text{ Nmm} \cdot 15 \text{ mm}}{360000 \text{ mm}^4}$$

$$= 1,47 \text{ MPa}$$

Tegangan ekuivalen dievaluasi menggunakan kriteria kegagalan Von Mises ^[18]:

$$\begin{aligned} \sigma_v &= \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \sigma_{xy}^2} \\ &= \frac{1,47 + 0}{2} + \sqrt{\left(\frac{1,47 - 0}{2}\right)^2 + 0,036^2} \\ &= 0,735 + \sqrt{0,540225 + 0,001296} \\ &= 0,735 + 0,73588 \\ &= 1,4708 \text{ MPa} \end{aligned} \quad (8)$$

Kekuatan sambungan las sudut (fillet weld) SMAW elektroda E6013 (fnw = 414 MPa) ^[14] dihitung melalui tebal efektif las:

$$t = 0,707 \cdot s \quad (9)$$

Dengan s = 2 mm diperoleh t = 1,414 mm. Kekuatan nominal sambungan las dihitung dengan:

$$R_n = 0,6 \cdot \text{fnw} \cdot t \cdot L \quad (10)$$

Dengan L = 30 mm diperoleh $R_n = 0,6 \times 414 \times 1,414 \times 30 = 10.537,1 \text{ N}$ (10,5 kN), jauh lebih besar dari beban kerja F = 117,6 N. Faktor keamanan sambungan las:

$$SF = \frac{R_n}{F} \quad (11)$$

$$SF = \frac{10.537,1}{117,6} = 89,60.$$

Sambungan bongkar-pasang menggunakan baut M8 (d = 8 mm, mutu 8.8) sebanyak 4 buah. Luas penampang baut ^[14]:

$$A_{\text{baut}} = \left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot d^2 \quad (12)$$

Diperoleh $A_{\text{baut}} = 50,24 \text{ mm}^2$. Beban tiap baut:

$$F_{\text{baut}} = \frac{W}{N} \quad (13)$$

Ananda Arief Rahman dan Irwan Aranda, Perancangan Dan Analisis Kekuatan Struktur Rangka Knock-Down Pada Prototipe Mesin Ekstrusi Limbah Plastik Skala Rumah Tangga

$F_{baut} = \frac{117,6}{4} = 29,4$ N. Tegangan geser tiap baut:

$$\tau = \frac{F}{A_{baut}} \quad (14)$$

$$\tau = \frac{29,4}{50,24}$$

= 0,585 MPa. Torsi pengencangan baut:

$$T = K \cdot F \cdot d \quad (15)$$

Dengan $K = 0,2$, $F = 29,4$ N, dan $d = 0,008$ m, diperoleh $T = 0,047$ N·m. Faktor keamanan baut:

$$SF = \frac{\sigma_{izin}}{\sigma_{kerja}} \quad (16)$$

$$SF = \frac{240}{0,585} = 410.$$

Defleksi struktur dihitung menggunakan ^[15]:

$$\delta = \frac{FL^3}{48 EI} \quad (17)$$

Dengan $F = 117,6$ N, $L = 600$ mm, $E = 200.000$ MPa, dan $I = 360.000$ mm⁴, diperoleh $\delta = 0,00735$ mm.

Faktor keamanan struktur rangka:

$$SF = \frac{\sigma_{izin}}{\sigma_{kerja \max}} \quad (18)$$

$$SF = \frac{240}{1,4708} = 163.$$

Ringkasan hasil perhitungan manual disajikan pada Tabel 2.

No.	Parameter Perhitungan	Hasil
1	Luas permukaan (A)	240.000 mm ²
2	Momen yang bekerja (M)	35.280 N·mm
3	Tegangan geser (σ_{xy})	0,036 MPa
4	Titik berat profil hollow (C)	15 mm
5	Momen inersia (I)	360.000 mm ⁴
6	Tegangan normal (σ)	1,47 MPa
7	Tegangan Von Mises (σ_v)	1,4708 MPa
8	Tebal efektif las (t)	1,414 mm
9	Kekuatan nominal las (Rn)	10.537,1 N
10	Faktor keamanan sambungan las	89,60
11	Tegangan geser baut (τ)	0,585 MPa
12	Torsi pengencangan baut (T)	0,047 N·m
13	Faktor keamanan baut	410
14	Defleksi (δ)	0,00735 mm
15	Faktor keamanan struktur	163

Tabel 2. Ringkasan hasil perhitungan manual struktur rangka

Hasil simulasi

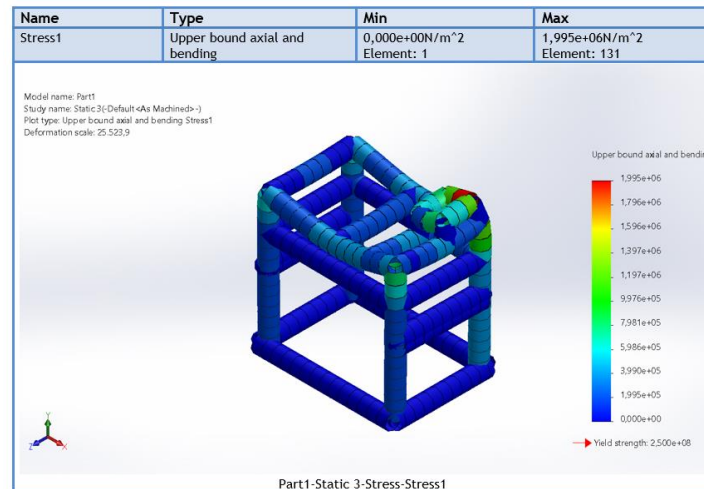
Validasi numerik dilakukan menggunakan SolidWorks Simulation dengan metode analisis statik berbasis *Finite Element Method* [18]. Material rangka dimodelkan sebagai baja ASTM A36 dengan modulus elastisitas 200 GPa, tegangan luluh 250 MPa, massa jenis 7.850 kg/m³, dan rasio Poisson 0,26. Beban sebesar

Ananda Arief Rahman dan Irwan Aranda, Perancangan Dan Analisis Kekuatan Struktur Rangka Knock-Down Pada Prototipe Mesin Ekstrusi Limbah Plastik Skala Rumah Tangga

117 N diterapkan pada bagian atas rangka, sementara keempat titik kaki rangka ditetapkan sebagai *Fixed Geometry* dengan tipe mesh berupa beam mesh. Parameter simulasi dirangkum pada Tabel 3.

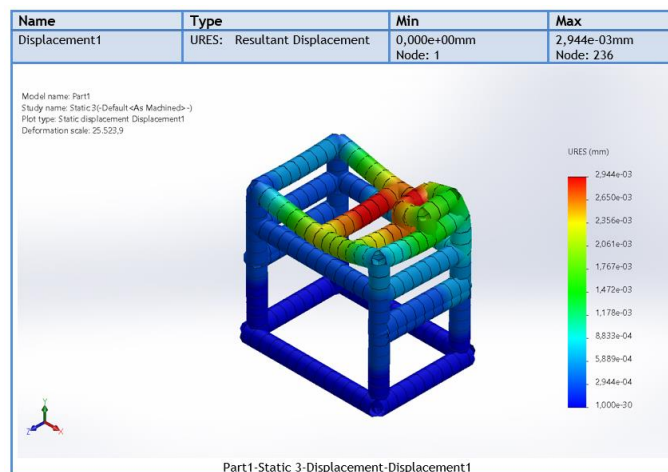
Parameter	Nilai
Jenis analisis	<i>Static Analysis</i>
Material	ASTM A36 Steel
Beban	117 N
Tumpuan	Fixed Geometry (4 titik)
Tipe mesh	<i>Beam Mesh</i>

Tabel 3. Parameter pengaturan simulasi SolidWorks



Gambar 3. Distribusi tegangan Von Mises hasil simulasi (Sumber: Data Pribadi)

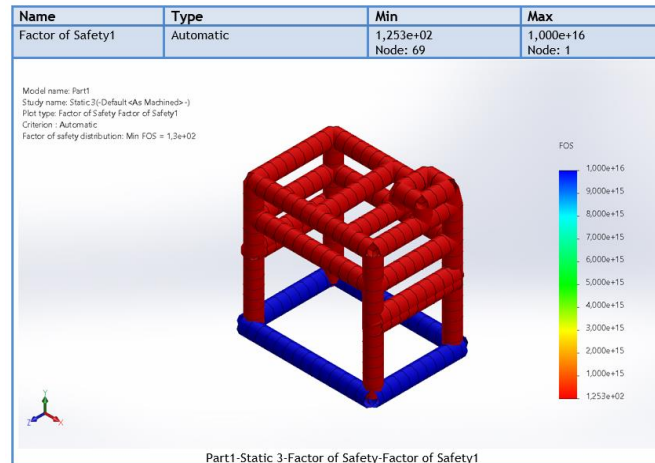
Pada Gambar 3, konsentrasi tegangan tertinggi terjadi pada daerah sambungan antara rangka utama dan elemen penyangga, karena lokasi tersebut menerima transfer beban dari bagian atas rangka menuju kaki penopang. Tegangan Von Mises maksimum hasil simulasi tercatat sebesar 1,995 MPa, hanya sekitar 0,8% dari tegangan luluh material ASTM A36 (250 MPa).



Gambar 4. Distribusi displacement hasil simulasi (Sumber: Data Pribadi)

Ananda Arief Rahman dan Irwan Aranda, Perancangan Dan Analisis Kekuatan Struktur Rangka Knock-Down Pada Prototipe Mesin Ekstrusi Limbah Plastik Skala Rumah Tangga

Gambar 4 menunjukkan bahwa displacement terbesar terjadi pada bagian atas rangka, dengan nilai maksimum hanya 0,002944 mm, sehingga secara praktis tidak memengaruhi presisi maupun kestabilan operasi mesin.



Gambar 5. Distribusi faktor keamanan (safety factor) hasil simulasi (Sumber: Data Pribadi)

Gambar 5 menunjukkan nilai faktor keamanan minimum sebesar 125,3, berarti struktur rangka mampu menahan beban hingga lebih dari 125 kali beban kerja sebelum mencapai kondisi luluh material — jauh melampaui standar umum perancangan struktur mesin yang berkisar antara 2 hingga 4.

Perbandingan menyeluruh antara hasil perhitungan manual dan simulasi, beserta persentase selisihnya, disajikan pada Tabel 4.

Parameter	Manual	Simulasi	Selisih (%)	Batas Material	Status
Tegangan Von Mises maks.	1,4708 MPa	1,995 MPa	≈35,6%	250 MPa	Aman
Displacement maks.	0,00735 mm	0,002944 mm	≈59,9%	< 1 mm	Aman
Faktor keamanan	163	125,3	≈23,1%	≥ 2	Sangat Aman

Tabel 4. Perbandingan hasil perhitungan manual dan simulasi SolidWorks

HASIL DAN PEMBAHASAN

Secara umum, hasil perhitungan manual dan simulasi numerik menunjukkan kecenderungan yang konsisten: seluruh nilai tegangan kerja jauh berada di bawah tegangan luluh material ASTM A36 (250 MPa), displacement yang terjadi sangat kecil (kurang dari 0,01 mm), dan faktor keamanan pada seluruh elemen struktur bernilai jauh di atas standar minimum perancangan struktur mesin yang umumnya berkisar 2 hingga 4. Dengan demikian, struktur rangka dapat dinyatakan aman dan layak untuk direalisasikan pada tahap manufaktur.

Selisih antara hasil manual dan simulasi pada tegangan Von Mises (≈35,6%) dan displacement (≈59,9%) merupakan hal yang wajar mengingat perbedaan asumsi pada kedua pendekatan. Perhitungan manual menyederhanakan rangka sebagai balok tunggal dengan tumpuan sederhana dan hanya memperhitungkan tegangan aksial serta lentur dasar, sedangkan simulasi elemen hingga memperhitungkan geometri struktur secara menyeluruh, termasuk efek tegangan lentur gabungan, tegangan geser, konsentrasi tegangan pada sambungan, dan interaksi antarelemen rangka ^[18]. Faktor-faktor inilah yang menjelaskan mengapa nilai tegangan simulasi cenderung lebih tinggi daripada hasil manual, sementara nilai displacement simulasi justru lebih rendah karena model FEM memperhitungkan kekakuan gabungan seluruh elemen rangka.

Ananda Arief Rahman dan Irwan Aranda, Perancangan Dan Analisis Kekuatan Struktur Rangka Knock-Down Pada Prototipe Mesin Ekstrusi Limbah Plastik Skala Rumah Tangga

Dibandingkan dengan penelitian terdahulu, hasil ini sejalan dengan temuan Herakarsono dkk. yang menunjukkan rangka hollow 4×6 cm layak menahan beban sekitar 981 N [9], serta Marjuki dkk. yang membuktikan kelayakan hollow 40×40 mm pada alat pemotong plat [10]. Nilai faktor keamanan yang sangat tinggi pada penelitian ini juga sejalan dengan pola pada penelitian Budiman dan Khoeri [12] yang menemukan profil HSS memberikan kapasitas struktural memadai meskipun berbobot ringan. Nilai faktor keamanan yang jauh di atas kebutuhan minimum mengindikasikan bahwa desain saat ini bersifat konservatif dan berpotensi dioptimalkan lebih lanjut, misalnya dengan mengevaluasi profil hollow berdimensi lebih kecil atau material yang lebih ringan seperti aluminium, tanpa mengorbankan keamanan struktural.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, perhitungan manual, dan simulasi numerik yang telah dilakukan, dapat disimpulkan tiga hal utama. Pertama, struktur rangka prototipe mesin ekstrusi limbah plastik skala rumah tangga berhasil dirancang menggunakan material baja hollow dan siku ASTM A36 berukuran 30 × 30 × 2 mm dengan dimensi keseluruhan 600 × 400 × 640 mm, berbasis konsep *knock-down* yang kompak dan mudah dibongkar-pasang. Kedua, sistem sambungan *knock-down* berhasil dikembangkan melalui kombinasi sambungan las SMAW elektroda E6013 sebagai pengikat permanen dan sambungan baut M8 (empat titik) sebagai sistem bongkar-pasang, dengan faktor keamanan sambungan las 89,60 dan sambungan baut 410. Ketiga, hasil analisis kekuatan menunjukkan struktur rangka aman dan stabil, dengan tegangan Von Mises maksimum 1,4708 MPa (manual) dan 1,995 MPa (simulasi) — keduanya jauh di bawah tegangan luluh material 250 MPa — *displacement* maksimum di bawah 0,01 mm, serta faktor keamanan struktur sebesar 163 (manual) dan 125,3 (simulasi), sehingga struktur rangka layak digunakan sebagai rangka utama prototipe mesin ekstrusi limbah plastik skala rumah tangga.

Untuk pengembangan lebih lanjut, disarankan mengevaluasi penggunaan material yang lebih ringan seperti aluminium, mengembangkan desain sambungan *knock-down* yang lebih praktis, serta melakukan analisis pembebanan dinamis akibat getaran motor dan proses ekstrusi guna memperoleh hasil analisis struktur yang lebih komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Purwaningrum, P. 2016. “Upaya Mengurangi Timbulan Sampah Plastik di Lingkungan”. Jurnal Teknik Lingkungan, 8(2), 141–147.
- [2] Ghifari, M. F. A., Aisyah, S., & Toar, H. 2021. “Desain Mesin Filament Extruder”. Jurnal Integrasi, 14(2), 100–110.
- [3] Sulaiman, A., & Rahman, M. 2020. “Desain Mesin Ekstrusi Plastik Skala Rumah Tangga”. Jurnal Teknik Industri, 22(1), 75–85.
- [4] Martana, B., Pradana, S., & Lukmana, M. A. 2020. “Perancangan Mesin Ekstrusi untuk Daur Ulang Sampah Plastik Berbentuk Silinder”. Jurnal Poli-Teknologi, 19(3), 289–294.
- [5] Mawardi, S. I. 2019. “Perancangan dan Fabrikasi Mesin Extrusi Single Screw”. Jurnal Polimesin, 3(2), 1–7.
- [6] Silitonga, Y. F. 2019. “Rancang Bangun Mesin Pencacah Plastik Jenis PET Skala Industri Rumah Tangga”. Gorontalo Journal of Infrastructure and Science Engineering, 1(2), 1–10.
- [7] Aswar, D. Y., & Asmauna, A. 2020. “Rancang Bangun Mesin Pelebur Limbah Plastik Skala Mikro”. Jurnal Vokasi Teknik Mesin dan Fabrikasi Logam, 1(1), 1–8.
- [8] Prasetyo, D., & Nugroho, W. 2019. “Perancangan Mesin Pencacah Limbah Plastik untuk Skala Rumah Tangga”. Jurnal Teknologi dan Rekayasa, 21(2), 123–130.
- [9] Herakarsono, A., Gamayel, A., & Zaenudin, M. 2024. “Rancang Bangun Rangka Alat Uji Torsi Sederhana Berbasis Eddy Current Menggunakan Roller Conveyor”. Jurnal Teknik Mesin Indonesia, 19(1).

Ananda Arief Rahman dan Irwan Aranda, Perancangan Dan Analisis Kekuatan Struktur Rangka Knock-Down Pada Prototipe Mesin Ekstrusi Limbah Plastik Skala Rumah Tangga

- [10] Marjuki, I., Ses Eka, B., & Rahmadi, H. 2023. “Alat Pemotong Plat Sistem Geser”. Injection: Indonesian Journal of Vocational Mechanical Engineering, 4(1).
- [11] Minto, M., Mayasari, A., & Basuki, B. 2021. “Analisa Daerah HAZ Besi Hollow terhadap Variasi Elektroda”. Matrik: Jurnal Manajemen dan Teknik Industri Produksi, 22(1), 45–54.
- [12] Budiman, B., & Khoeri, H. 2022. “Studi Komparasi Struktur Baja Menggunakan Profil WF terhadap Profil HSS pada Kolom Struktur”. Prosiding SEMNASTEK.
- [13] Agam, S. F., Amiruddin, W., & Yudho, H. 2018. “Analisa Kekuatan Besi Hollow sebagai Bahan Penegar pada Kapal Fiber dengan Menggunakan Finite Element Method (FEM)”. Jurnal Teknik Perkapalan, 6(2).
- [14] Khurmi, R. S., & Gupta, J. K. 2005. A Text Book of Machine Design. New Delhi: S. Chand Publishing.
- [15] Beer, F. P., Johnston, E. R., DeWolf, J. T., & Mazurek, D. F. 2020. Mechanics of Materials (8th ed.). McGraw-Hill Education.
- [16] Chen, L., Zhang, X., & Huang, Y. 2020. “Modular Design and Application in Engineering Systems”. Journal of Mechanical Design, 142(3), 031701.
- [17] Al-Salem, S. M., Al-Saad, A., & Al-Zoubi, F. 2019. “Plastic Waste Management: From Recycling to Energy Recovery”. Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry, 18, 48–55.
- [18] Sardana, N., & Kumar, V. 2021. “Finite Element Analysis in Mechanical Structure Design”. Journal of Computational Mechanics, 19(2), 201–212.
- [19] Kim, J., & Lee, S. 2022. “Structural Analysis of Machine Frames under Dynamic Loads”. International Journal of Mechanical Engineering, 27(4), 55–63.
- [20] Wang, Y., Zhao, H., & Chen, Q. 2023. “Selection of Structural Materials for Machine Frames: A Review”. Journal of Materials Engineering, 45(1), 88–102.
- [21] Sari, N., Hidayat, A., & Putri, M. 2021. “Teknologi Ekstrusi Plastik dalam Daur Ulang Limbah”. Jurnal Teknologi Material, 12(1), 15–24.
- [22] Rao, P., Gupta, A., & Singh, R. 2021. “Fundamentals of Plastic Extrusion Process”. International Polymer Processing, 36(5), 421–430.