

Rancang bangun pembuatan mesin cetak pelet pakan ternak

Ahmad Rehan Ardiansyah¹, Edi Widodo², Mulyadi³

¹Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia
Jl. Mojopahit No. 666 B, Sidodayah, Celep, Kec. Sidoarjo, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur 61271.

Email korespondensi: ediwidodo@umsida.ac.id

Received: 21 February 2025, Reviewed: 25 March 2025, Published: 30 April 2026
<https://doi.org/10.71452/jtmi2112026104>

Abstrak. Mesin pencetak pelet pakan ternak merupakan alat yang dirancang untuk meningkatkan efisiensi proses produksi pakan ternak. Proses pembuatan pakan secara manual umumnya memerlukan waktu yang lama dan menghasilkan ukuran pelet yang tidak seragam. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membuat mesin pencetak pelet pakan ternak dengan kapasitas produksi 20 kg/jam dengan fokus utama pada desain rangka dan *screw extruder* sebagai komponen utama dalam proses pembentukan pelet. Metode penelitian yang digunakan meliputi observasi lapangan, studi literatur, serta proses perancangan menggunakan metode VDI 2222. Proses perancangan dilakukan menggunakan perangkat lunak *SolidWorks* dengan pemilihan komponen utama seperti motor listrik AC, sistem transmisi *pulley* dan *V-belt*, *hopper*, rangka mesin, serta *screw extruder*. Analisis kekuatan struktur dilakukan menggunakan metode *Finite Element Analysis (FEA)* melalui *SolidWorks Simulation* dengan pembebanan statis sebesar 150 kg untuk mengetahui distribusi tegangan, regangan, perpindahan (*displacement*), dan faktor keamanan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada struktur rangka diperoleh tegangan maksimum sebesar 72,6 MPa, *displacement* maksimum 9,516 mm, dan nilai *safety factor* minimum sebesar 1,689, sehingga masih berada di bawah batas luluh material dan struktur dinyatakan aman. Sementara itu, pada komponen *screw extruder* diperoleh tegangan maksimum sebesar $6,14 \times 10^4$ N/m², *displacement* maksimum $8,313 \times 10^{-6}$ mm, dan *strain* maksimum sebesar $1,804 \times 10^{-7}$, yang menunjukkan bahwa deformasi yang terjadi sangat kecil dan masih berada dalam batas elastis material. Berdasarkan hasil perancangan dan analisis yang dilakukan, mesin pencetak pelet pakan ternak yang dirancang memiliki struktur yang aman dan stabil serta mampu meningkatkan efisiensi proses produksi pakan ternak. Mesin ini diharapkan dapat menjadi solusi alternatif bagi peternak dalam memproduksi pakan secara mandiri dengan biaya yang lebih ekonomis.

Kata kunci: Mesin pencetak pelet, *Screw extruder*, Rangka mesin, *FEA*, *SolidWorks*

Abstract. A livestock feed pellet machine is a device designed to improve the efficiency of animal feed production processes. Manual feed production generally requires a longer processing time and often produces pellets with non-uniform sizes. This study aims to design and develop a livestock feed pellet machine with a production capacity of 20 kg/h, focusing on the structural design of the machine frame and screw extruder as the primary components in the pellet forming process. The research methodology includes field observation, literature review, and a design process based on the VDI 2222 design method. The design process was carried out using *SolidWorks* software, involving the selection of main components such as an AC electric motor, pulley and V-belt transmission system, hopper, machine frame, and screw extruder. Structural strength analysis was conducted using the Finite Element Analysis (FEA) method through *SolidWorks Simulation* under a static load of 150 kg to evaluate the distribution of stress, strain, displacement, and safety factor. The simulation results show that the maximum stress on the machine frame is 72.6 MPa, with a maximum displacement of 9.516 mm and a minimum safety factor of 1.689, indicating that the stress value is still below the material yield strength and the frame structure is considered safe. Meanwhile, the screw extruder component experiences a maximum stress of 6.14×10^4 N/m², a maximum displacement of 8.313×10^{-6} mm, and a maximum strain of 1.804×10^{-7} , indicating that the resulting deformation is very small and remains within the elastic limit of the material. Based on the design and structural analysis results, the developed livestock feed pellet machine has a safe and stable structural design and is capable of improving the efficiency of feed production. This machine is expected to serve as an alternative solution for farmers to independently produce livestock feed at a more economical cost.

Keywords: pellet machine, screw extruder, machine frame, finite element analysis, *SolidWorks*.

PENDAHULUAN

Perkembangan sektor peternakan di Indonesia menuntut adanya penerapan teknologi yang mampu meningkatkan efisiensi serta produktivitas dalam proses budidaya ternak [1]. Salah satu faktor utama yang sangat memengaruhi keberhasilan usaha peternakan adalah ketersediaan pakan yang cukup serta memiliki kualitas nutrisi yang baik. Pakan merupakan sumber energi dan nutrisi utama bagi ternak untuk menunjang pertumbuhan, kesehatan, serta produktivitasnya [2]. Namun demikian, sebagian besar peternak masih mengandalkan pakan alami seperti rumput segar yang ketersediaannya sangat dipengaruhi oleh kondisi musim. Pada musim kemarau, ketersediaan pakan alami sering kali menurun sehingga kebutuhan nutrisi

ternak tidak dapat terpenuhi secara optimal [3]. Selain keterbatasan ketersediaan pakan alami, tingginya harga pakan komersial juga menjadi permasalahan yang sering dihadapi oleh para peternak [4]. Biaya pakan merupakan salah satu komponen terbesar dalam kegiatan budidaya ternak sehingga dapat memengaruhi tingkat keuntungan yang diperoleh peternak. Kondisi ini menyebabkan sebagian peternak mengalami kesulitan dalam meningkatkan produktivitas ternaknya karena keterbatasan biaya untuk membeli pakan berkualitas. Oleh karena itu, diperlukan upaya untuk memproduksi pakan ternak secara mandiri dengan biaya yang lebih terjangkau tanpa mengurangi kandungan nutrisi yang dibutuhkan oleh ternak [5]. Salah satu alternatif yang dapat dilakukan adalah dengan memanfaatkan teknologi pengolahan pakan

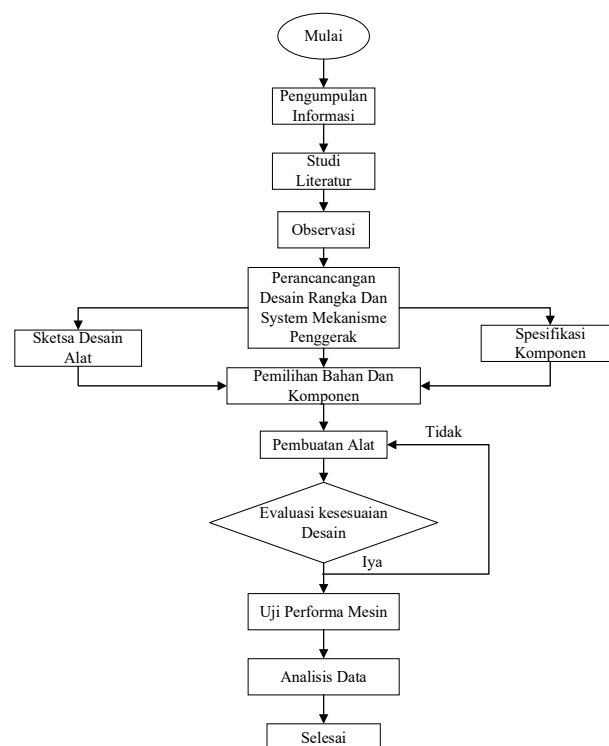
dalam bentuk pelet. Pakan pelet banyak digunakan dalam sektor peternakan karena memiliki beberapa keunggulan dibandingkan pakan konvensional, seperti ukuran yang lebih seragam, lebih mudah disimpan dan didistribusikan, serta mampu meningkatkan efisiensi konsumsi pakan oleh ternak [6]. Selain itu, proses pembuatan pelet memungkinkan berbagai bahan baku pakan dicampur secara merata sehingga menghasilkan komposisi nutrisi yang lebih konsisten. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan terhadap pakan ternak, pemanfaatan bahan baku alternatif seperti limbah pertanian atau bahan pakan sisa produksi menjadi salah satu solusi untuk menekan biaya produksi pakan. Hal tersebut mendorong perlunya pengembangan teknologi mesin yang mampu mengolah bahan pakan menjadi bentuk pelet secara efektif dan efisien. Proses pembuatan pakan pelet melibatkan beberapa tahapan penting, antara lain proses penghalusan bahan baku, pencampuran bahan tambahan, proses pencetakan, serta proses pengeringan atau pendinginan agar pelet yang dihasilkan memiliki bentuk dan kualitas yang baik. Dalam perkembangannya, proses produksi pakan pelet mulai memanfaatkan sistem mekanis untuk meningkatkan efisiensi dan kapasitas produksi. Penggunaan mesin pencetak pelet menjadi salah satu solusi untuk mempercepat proses produksi serta menghasilkan pelet dengan ukuran yang lebih seragam dibandingkan dengan metode manual.

Mesin ini umumnya menggunakan motor listrik sebagai sumber tenaga utama yang dihubungkan dengan sistem transmisi untuk menggerakkan mekanisme pencetak seperti *screw extruder* [7]. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun mesin pencetak pelet pakan ternak dengan kapasitas produksi sebesar 20 kg/jam [8]. Mesin yang dirancang diharapkan mampu membantu peternak dalam memproduksi pakan secara mandiri dengan proses yang lebih efisien dan biaya yang lebih ekonomis. Selain itu, penelitian ini juga melakukan analisis terhadap kekuatan struktur rangka mesin serta perancangan sistem *extruder* agar mesin dapat beroperasi secara optimal dan aman selama digunakan. Rumusan masalah dalam penelitian ini meliputi perancangan mesin pencetak pelet pakan ternak, identifikasi komponen utama yang digunakan beserta fungsinya, serta analisis kekuatan struktur rangka dan mekanisme extruder agar proses pencetakan pelet dapat berjalan secara optimal [9].

METODE DIAGRAM ALIR PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam rancang bangun mesin pencetak pelet pakan ternak termasuk dalam penelitian rekayasa (*engineering research*) dengan pendekatan rancang bangun (*design and build*) [10]. Penelitian ini diawali dengan tahap identifikasi permasalahan yang berkaitan dengan proses produksi pakan ternak yang masih dilakukan secara manual serta keterbatasan alat yang digunakan oleh peternak. Selanjutnya dilakukan studi literatur untuk memperoleh dasar teori mengenai teknologi mesin pencetak pelet, sistem transmisi mekanis, serta prinsip

kerja *screw extruder* [11]. Tahap berikutnya adalah proses perancangan *desain* mesin menggunakan perangkat lunak *SolidWorks* untuk membuat model tiga dimensi dari komponen utama seperti rangka, *hopper*, dan sistem *extruder*. Setelah *desain* selesai dibuat, dilakukan pemilihan komponen, proses pembuatan dan perakitan mesin, serta pengujian awal guna mengetahui kinerja mesin dalam menghasilkan pelet pakan ternak. Selain itu, analisis kekuatan struktur rangka juga dilakukan menggunakan metode *Finite Element Analysis (FEA)* melalui fitur simulasi pada *SolidWorks* untuk mengetahui distribusi tegangan, regangan, perpindahan (*displacement*), serta nilai faktor keamanan akibat pembebanan statis [12].



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

PERANCANGAN MESIN DENGAN METODE VDI 2222

Konsep Dasar Metode *VDI 2222* Pada fase perencanaan ini, dilaksanakan proses merancang keseluruhan elemen dari sistem mesin pencetak pelet [9]. di mana dalam proses ini digunakan metode perancangan *VDI 2222*, yaitu metode yang dikembangkan oleh *Asosiasi Insinyur Jerman (Verein Deutscher Ingenieure)*. Metode ini terdiri dari empat tahap utama, yaitu tahap analisis, pembuatan konsep, perancangan *desain*, dan penyempurnaan akhir [11]. Setiap tahap memberikan panduan yang jelas agar perancangan mesin dapat dilakukan secara lebih sistematis dan menghasilkan solusi terbaik di setiap bagian desain. Berikut adalah tahapan perancangan menurut metode *VDI 2222* [13].

- Metode *VDI 2222* merupakan panduan langkah-langkah dalam merancang dan mengembangkan sebuah produk teknik yang disusun oleh *Asosiasi Insinyur Jerman (VDI)*. Tujuan dari metode ini adalah membantu para perancang agar bisa membuat produk yang berfungsi dengan baik,

efisien, dan ekonomis. Dalam penerapannya, metode ini menekankan pentingnya memahami kebutuhan pengguna, membuat konsep desain yang terarah, serta melakukan penilaian secara bertahap di setiap proses perancangan,

- Tujuan dan Manfaat Metode *VDI 2222* dibuat agar proses perancangan bisa berjalan lebih teratur dan terkendali, sehingga dapat mengurangi kesalahan dan meningkatkan kualitas produk. Dengan adanya panduan ini, perancang dapat lebih mudah menyusun ide, menemukan masalah lebih cepat, dan membandingkan beberapa pilihan desain sebelum menentukan hasil akhir. Selain itu, metode ini juga membantu dalam kerja tim, karena setiap tahap sudah memiliki tujuan dan hasil yang jelas, sehingga proses pengambilan keputusan menjadi lebih mudah.

- Tahapan dalam Metode *VDI 2222* Secara umum, metode *VDI 2222* terdiri atas empat tahap utama, yaitu:

1. Tahap Analisis Masalah

Tahap ini dimulai dengan melakukan pengumpulan informasi, identifikasi kebutuhan, serta analisis permasalahan yang akan diselesaikan. Hasil dari tahap ini berupa daftar kebutuhan dan spesifikasi awal produk yang akan menjadi dasar dalam proses perancangan selanjutnya.

2. Tahap Pembuatan Konsep

Pada tahap ini, dilakukan proses pencarian ide dan pembuatan beberapa alternatif solusi *desain*. Setiap ide yang muncul akan dievaluasi berdasarkan kriteria seperti biaya, kemudahan pembuatan, efisiensi, serta keandalan. Dari hasil evaluasi tersebut, dipilih satu konsep terbaik untuk dikembangkan lebih lanjut.

3. Tahap Perancangan Desain

Konsep yang telah dipilih kemudian dikembangkan menjadi rancangan yang lebih detail. Dalam tahap ini ditentukan bentuk, ukuran, material, serta mekanisme kerja produk. Biasanya hasil dari tahap ini berupa gambar teknik atau model awal (*prototype*) yang dapat diuji secara fungsional.

4. Tahap Penyempurnaan Desain

Tahap terakhir berfokus pada penyempurnaan hasil *desain* hingga siap untuk proses produksi. Semua gambar kerja, spesifikasi bahan, dan daftar komponen disusun secara lengkap agar produk dapat diproduksi dengan tepat dan efisien.

• Keunggulan Metode *VDI 2222*

Kelebihan metode ini adalah langkah-langkahnya yang sistematis dan terarah, sehingga memudahkan perancang dalam mengontrol setiap proses perancangan. Metode ini dapat diterapkan pada berbagai bidang teknik, seperti rekayasa mesin, perancangan alat, maupun *desain* produk industri. Selain itu, metode ini juga memungkinkan adanya kolaborasi antarbidang ilmu, karena setiap tahap membutuhkan masukan dari berbagai disiplin. Dengan demikian, hasil produk tidak hanya memenuhi aspek teknis, tetapi juga mempertimbangkan aspek ekonomi, *ergonomi*, dan lingkungan. Secara keseluruhan, metode *VDI 2222* memberikan panduan yang jelas dalam proses rancang bangun dan pengembangan produk teknik. Dengan mengikuti tahapan yang ada, proses *desain* dapat dilakukan secara lebih terencana, efisien, dan terukur,

sehingga produk yang dihasilkan dapat memenuhi kebutuhan pengguna dan memiliki kualitas yang baik.

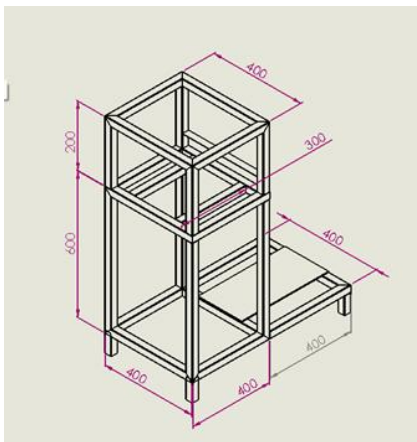
KONSEP RANGKA MESIN CETAK PELET

Rangka mesin pencetak pelet pakan ternak dirancang sebagai struktur utama yang berfungsi menopang seluruh komponen mesin selama proses operasi berlangsung [12]. Struktur rangka dibuat menggunakan material baja *hollow* yang memiliki kekuatan dan kekakuan yang memadai untuk menahan beban komponen seperti motor listrik, sistem transmisi, *hopper*, serta unit *extruder* [14]. Selain itu, rangka juga berfungsi menjaga kestabilan mesin saat beroperasi sehingga getaran yang dihasilkan dari putaran motor dan sistem transmisi dapat diminimalkan. Berdasarkan tampak samping [13], rangka mesin memiliki bentuk konstruksi persegi panjang yang dirancang untuk menempatkan motor listrik sebagai sumber tenaga utama. Motor listrik tersebut dihubungkan dengan sistem transmisi berupa *pulley* dan *V-belt* yang berfungsi untuk meneruskan putaran menuju poros *extruder*. Putaran poros *extruder* selanjutnya digunakan untuk menekan dan membentuk bahan pakan menjadi pelet dengan ukuran tertentu.

Pada bagian atas rangka terdapat dudukan *hopper* yang berfungsi sebagai tempat masuknya bahan baku pakan sebelum diproses oleh sistem *extruder*. *Hopper* dirancang dengan posisi yang strategis agar bahan pakan dapat masuk ke dalam sistem *extruder* secara lancar melalui bantuan gaya gravitasi [15]. Sementara itu, unit *extruder* ditempatkan pada bagian tengah rangka dengan posisi horizontal sehingga proses pencetakan pelet dapat berlangsung secara optimal. Selain sebagai penopang komponen mesin, rangka juga dirancang dengan mempertimbangkan aspek kemudahan dalam proses pembuatan, perakitan, serta perawatan mesin. Tata letak komponen yang disusun secara seimbang bertujuan untuk menjaga kestabilan mesin selama proses produksi berlangsung. Dengan *desain* rangka yang kokoh dan simetris [16], mesin diharapkan mampu bekerja secara optimal serta memiliki tingkat keamanan yang baik saat digunakan.

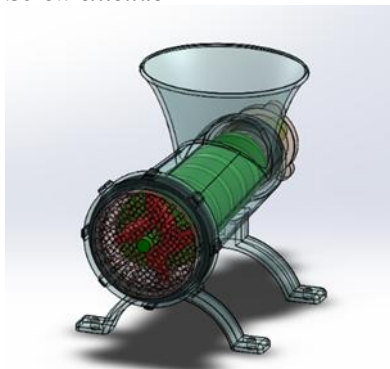
Perancangan rangka mesin cetak pelet juga mempertimbangkan aspek *ergonomi* agar operator dapat bekerja dengan aman dan nyaman selama proses pengoperasian. Tinggi rangka sebesar 600 mm dirancang untuk memudahkan operator dalam memasukkan bahan pakan ke dalam *hopper* tanpa harus membungkuk secara berlebihan. Meja samping dengan ukuran 400 mm × 400 mm difungsikan sebagai tempat penampung bahan pakan sehingga proses kerja menjadi lebih efisien dan terorganisir. Penentuan tinggi rangka mesin dilakukan dengan mempertimbangkan data *antropometri* manusia Indonesia, terutama tinggi siku berdiri dan tinggi pinggang operator. Rata-rata tinggi badan manusia Indonesia berada pada kisaran 160–170 cm, dengan tinggi siku berdiri sekitar 95–105 cm dan tinggi pinggang sekitar 85–95 cm. Berdasarkan data tersebut, tinggi rangka mesin dirancang sekitar 600 mm agar operator dapat memasukkan bahan pakan ke dalam *hopper* dengan posisi kerja yang lebih nyaman tanpa harus membungkuk secara berlebihan.

Posisi kerja yang sesuai ini dapat membantu mengurangi beban pada punggung dan tangan serta meningkatkan stabilitas saat pengoperasian mesin. Selain itu, posisi duduk *extruder* pada bagian atas dirancang agar mudah dijangkau oleh operator saat melakukan perawatan maupun pembersihan mesin [17]. Aspek *ergonomi* lainnya mencakup kestabilan rangka untuk meminimalkan getaran saat mesin beroperasi, ruang kerja operator yang cukup luas, serta kemudahan akses terhadap setiap komponen mesin. Dengan penerapan prinsip *ergonomi* dalam perancangan rangka, mesin cetak pelet diharapkan mampu meningkatkan efisiensi kerja, mengurangi tingkat kelelahan operator, serta memberikan tingkat keselamatan yang lebih baik selama proses produksi berlangsung [18]. Gambar 2. Konsep *desain* rangka mesin pencetak pelet pakan ternak.



Gambar 2. Rangka mesin Cetak Pelet Tampak Isometri

• *Desain Screw extruder*



Gambar 3. Desain Extruder Tampak Isometri

Screw extruder merupakan salah satu komponen utama pada mesin pencetak pelet pakan ternak yang berfungsi untuk mendorong dan memadatkan bahan pakan menuju cetakan pelet. Prinsip kerja *screw extruder* didasarkan pada mekanisme ekstrusi, yaitu proses pendorongan material menggunakan ulir yang berputar sehingga bahan mengalami tekanan sebelum keluar melalui cetakan dalam bentuk pelet. Perancangan *screw extruder* dilakukan menggunakan perangkat lunak *SolidWorks* dengan mempertimbangkan beberapa parameter utama seperti diameter *screw*, *pitch* ulir, panjang *screw*, serta material yang digunakan. Parameter tersebut sangat berpengaruh

terhadap kemampuan *screw* dalam menghasilkan tekanan yang diperlukan selama proses ekstrusi bahan pakan. Perhitungan kapasitas produksi pada mesin *single-screw extruder* digunakan untuk mengetahui kemampuan mesin dalam menghasilkan produk dalam satuan waktu tertentu. Perhitungan ini didasarkan pada parameter *desain screw* dan karakteristik bahan yang digunakan. Persamaan yang digunakan untuk menghitung laju produksi *extruder* adalah sebagai berikut [19].

$$Rate = \frac{(60 \cdot \rho b \cdot N \cdot \eta F \cdot \pi^2 \cdot H \cdot Db \cdot (Db - H) \cdot W \cdot \sin\theta \cdot \cos\theta)}{(W + flt)} \dots(1)$$

TEORI TEORI TEGANGAN VON MISES, DISPLACEMENT, STRAIN, DAN SAFETY FACTOR RANGKA MESIN DAN SCREW EXTRUDER

Tegangan *Von Mises* merupakan salah satu kriteria kegagalan material yang digunakan untuk menentukan kemungkinan terjadinya luluh pada material akibat kombinasi tegangan yang bekerja. Teori ini menjelaskan bahwa material akan mengalami deformasi plastis ketika tegangan ekuivalen *Von Mises* yang terjadi melebihi tegangan luluh material tersebut. Oleh karena itu, tegangan *Von Mises* sering digunakan sebagai parameter utama dalam analisis kekuatan struktur, terutama pada simulasi menggunakan metode *Finite Element Analysis (FEA)*. Apabila nilai tegangan *Von Mises* yang diperoleh lebih kecil dibandingkan dengan tegangan luluh material, maka struktur masih berada dalam kondisi aman. Sebaliknya, jika nilai tegangan tersebut melampaui tegangan luluh material, maka struktur memiliki potensi mengalami kegagalan atau kerusakan [20].

$$\sigma_{max} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2} \dots(2)$$

Keterangan:

- σ_{max} = Tegangan normal maksimum yang bekerja (MPa)
- σ_x = Tegangan pada sumbu x (MPa)
- σ_y = Tegangan pada sumbu y (MPa)
- τ_{xy} = Tegangan geser (MPa)

Displacement merupakan perpindahan atau pergeseran posisi suatu titik pada struktur yang terjadi akibat adanya beban yang bekerja. Parameter ini digunakan untuk mengetahui besarnya deformasi yang dialami oleh rangka mesin selama menerima beban kerja. Nilai *displacement* yang kecil menunjukkan bahwa struktur memiliki tingkat kekakuan yang baik sehingga mampu mempertahankan bentuknya, sedangkan nilai *displacement* yang besar mengindikasikan terjadinya deformasi yang cukup signifikan pada struktur. Dalam analisis kekuatan struktur, *displacement* umumnya dinyatakan dalam satuan *milimeter* (mm) dan digunakan sebagai salah satu indikator untuk menilai kestabilan dan kekuatan rangka mesin [21].

$$\delta = \frac{FL}{AE} \dots(3)$$

Keterangan:

- δ = *displacement* linier (mm)
- F = gaya aksial (N)
- L = panjang batang (mm)
- A = luas penampang (mm²)

E = modulus elastisitas material (N/mm²)

Strain merupakan regangan yang terjadi pada material sebagai akibat dari gaya atau tegangan yang bekerja pada struktur. *Strain* menyatakan perbandingan antara perubahan panjang material terhadap panjang awalnya sehingga tidak memiliki satuan. Parameter ini digunakan untuk mengetahui tingkat deformasi yang terjadi pada material serta untuk menentukan apakah material masih berada dalam daerah elastis atau telah mendekati batas plastisnya. Nilai *strain* yang kecil menunjukkan bahwa material masih dalam kondisi aman, sedangkan nilai *strain* yang besar menunjukkan bahwa material mengalami deformasi yang cukup tinggi dan berpotensi mendekati kegagalan [22].

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \dots \dots (4)$$

Keterangan:

- ϵ = *strain* (regangan)
- ΔL = perubahan panjang (mm)
- L_0 = panjang awal (mm)

Safety factor atau faktor keamanan merupakan perbandingan antara kekuatan maksimum yang dimiliki material dengan tegangan kerja yang terjadi pada struktur. Parameter ini digunakan untuk menilai tingkat keamanan suatu *desain* terhadap beban yang diterima selama proses operasi. Suatu struktur dinyatakan aman apabila nilai *safety factor* lebih besar dari satu, karena menunjukkan bahwa kekuatan material masih mampu menahan tegangan yang bekerja. Dalam perancangan mesin, nilai *safety factor* umumnya berada pada kisaran 2 hingga 4 untuk menjamin keandalan, keselamatan, serta umur pakai struktur selama digunakan [22].

$$SF = \frac{\sigma_{yield}}{\sigma_{kerja}} \dots \dots (5)$$

• **Rumus Kekuatan Rangka Mesin**

1. Tegangan Normal (*Axial Stress*)

Digunakan untuk menghitung kekuatan rangka akibat beban tekan atau tarik [23].

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots \dots (6)$$

Keterangan:

- σ = tegangan (MPa)
- F = gaya/beban (N)
- A = luas penampang (mm²)

2. Tegangan Lentur (*Bending Stress*)

Digunakan untuk rangka yang menerima beban di tengah atau ujung [24].

$$\sigma = \frac{M}{Z} \dots \dots (7)$$

Keterangan:

- σ = tegangan lentur (MPa)
- M = momen (Nmm)
- Z = modulus penampang (mm³)

3. Momen Lentur

Digunakan untuk mencari momen pada rangka [25].

$$M = F \times L \dots \dots (8)$$

Keterangan:

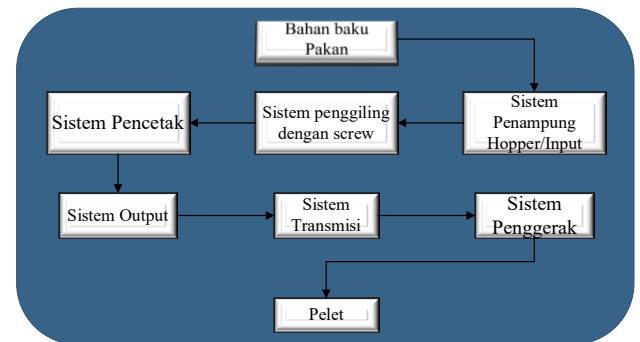
- M = momen (Nmm)
- F = gaya (N)
- L = panjang batang (mm)

SKEMA PENGURAIAN FUNGSI

Pada tahap ini, permasalahan dianalisis dengan cara memecah sistem menjadi beberapa fungsi utama. Metode yang digunakan adalah analisis, yaitu pendekatan yang meninjau sistem berdasarkan hubungan antara masukan (*input*) dan keluaran (*output*) tanpa membahas secara rinci mekanisme internalnya. Melalui skema gambar, mesin pencetak pelet dipandang sebagai satu kesatuan sistem yang mengubah bahan baku menjadi produk jadi. Pendekatan ini membantu dalam mengidentifikasi fungsi utama mesin sebelum dilakukan analisis lebih detail pada Gambar 4 pada setiap komponennya. Gambar 5 di bawah ini merupakan perencanaan dari mesin pencetak pelet untuk pakan ternak.

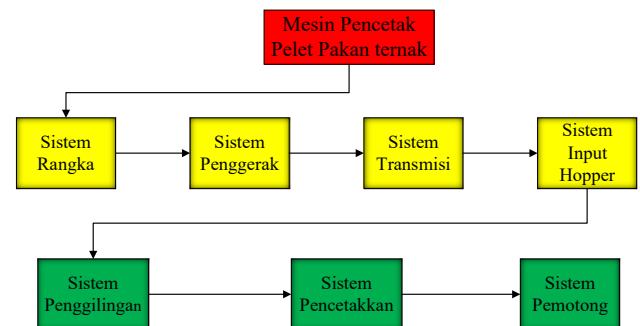


Gambar 4. Skema Penguraian Fungsi



Gambar 5. Skema Struktur Fungsi Mesin Pencetak Pelet

Berdasarkan Skema Struktur dan ruang lingkup di atas, selanjutnya akan dirancang alternatif solusi perancangan mesin pencetak pelet untuk pakan ternak ayam, lele, sapi, itik, dan hewan ternak lainnya berdasarkan diagram fungsi bagian yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Skema Fungsi Bagian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan mesin pencetak pelet pakan ternak dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *VDI 2222* [26], yaitu metode perancangan produk secara sistematis yang banyak diterapkan dalam bidang rekayasa

mesin. Metode ini bertujuan untuk menghasilkan desain produk yang optimal melalui tahapan perancangan yang terstruktur mulai dari identifikasi kebutuhan hingga tahap perancangan detail. Penerapan metode *VDI 2222* berfokus pada *desain* rangka dan *extruder* [27]. Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan utama, yaitu tahap perencanaan, perancangan konsep, perancangan bentuk, serta perancangan detail.

• Tahap Perencanaan (Planning)

Tahap perencanaan merupakan tahap awal dalam proses perancangan yang bertujuan untuk mengidentifikasi kebutuhan pengguna serta menentukan spesifikasi dasar dari mesin yang akan dirancang. Berdasarkan hasil observasi lapangan dan kajian literatur, diperoleh beberapa kebutuhan utama dalam perancangan mesin pencetak pelet pakan ternak, antara lain:

- Mesin mampu menghasilkan pelet dengan kapasitas produksi sekitar 20 kg/jam
- Mesin mudah dioperasikan oleh pengguna
- Struktur mesin memiliki kekuatan dan kestabilan yang baik saat beroperasi
- Komponen mesin mudah dilakukan perawatan
- Biaya pembuatan mesin relatif ekonomis

Berdasarkan kebutuhan tersebut, ditentukan spesifikasi awal mesin yang meliputi penggunaan motor listrik sebagai sumber penggerak, sistem transmisi berupa *pulley* dan *V-belt*, serta mekanisme pencetakan menggunakan *screw extruder*.

• Tahap Perancangan Konsep (Conceptual Design)

Pada tahap perancangan konsep dilakukan pengembangan beberapa alternatif konsep *desain* mesin yang selanjutnya dianalisis untuk menentukan konsep yang paling sesuai. Pemilihan konsep dilakukan dengan mempertimbangkan aspek fungsionalitas, kemudahan proses manufaktur, serta efisiensi biaya produksi. Konsep mesin yang dipilih terdiri atas beberapa komponen utama, yaitu motor listrik sebagai sumber tenaga penggerak, sistem transmisi *pulley* dan *V-belt*, *hopper* sebagai tempat penampung bahan baku, *screw extruder* sebagai mekanisme pencetak pelet, serta rangka mesin sebagai struktur penopang seluruh komponen. Konsep tersebut dipilih karena memiliki konstruksi yang relatif sederhana, mudah dalam proses pembuatan, serta mampu memberikan kinerja yang cukup baik dalam proses produksi pelet pakan ternak.

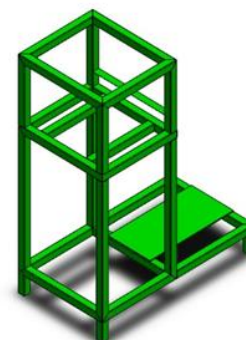
• Tahap Perancangan Bentuk (Embodiment Design)

Tahap perancangan bentuk bertujuan untuk mengembangkan konfigurasi dan tata letak komponen mesin secara lebih rinci. Pada tahap ini dilakukan pemodelan desain mesin menggunakan perangkat lunak *SolidWorks* untuk menghasilkan model tiga dimensi dari mesin yang dirancang. Dalam proses perancangan bentuk, beberapa aspek teknis yang menjadi pertimbangan antara lain kekuatan struktur rangka, kestabilan mesin selama beroperasi, kemudahan dalam proses perakitan komponen, serta kemudahan dalam proses perawatan mesin. Hasil dari tahap ini berupa desain tiga dimensi mesin yang terdiri dari komponen utama seperti rangka mesin, motor listrik, *hopper*, sistem transmisi, dan *screw extruder*.

• Tahap Perancangan Detail (Detail Design)

Tahap perancangan detail merupakan tahap akhir dalam metode *VDI 2222* yang bertujuan untuk menentukan dimensi, spesifikasi material, serta detail teknis dari setiap komponen mesin. Pada tahap ini dilakukan perancangan secara rinci terhadap komponen utama mesin, yaitu rangka mesin dan *screw extruder*, karena kedua komponen tersebut memiliki peran penting dalam menentukan kekuatan struktur serta kinerja mesin secara keseluruhan.

Desain Rangka Mesin



Gambar 6. Desain rangka Mesin Cetak Pelet

Rangka mesin merupakan komponen struktural yang berfungsi sebagai penopang seluruh komponen mesin. Oleh karena itu, rangka harus dirancang dengan mempertimbangkan kemampuan dalam menahan beban yang berasal dari komponen mesin seperti motor listrik, *hopper*, sistem transmisi, serta unit *screw extruder*. Material yang digunakan pada rangka mesin adalah baja profil *hollow*. Pemilihan material ini didasarkan pada beberapa pertimbangan, yaitu memiliki kekuatan yang cukup baik, mudah dalam proses fabrikasi seperti pengelasan, bobot yang relatif ringan, serta biaya material yang relatif ekonomis. Proses perancangan rangka dilakukan menggunakan perangkat lunak *SolidWorks* untuk menghasilkan model tiga dimensi yang dapat menggambarkan bentuk dan dimensi rangka secara lebih jelas. Dimensi rangka disesuaikan dengan ukuran komponen utama mesin sehingga seluruh komponen dapat dipasang dengan baik serta memberikan kestabilan yang optimal selama mesin beroperasi. Selain itu, desain rangka juga mempertimbangkan distribusi beban agar tidak terjadi konsentrasi tegangan yang berlebihan pada bagian tertentu dari struktur rangka.

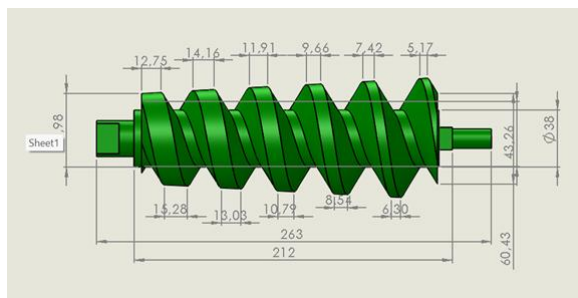
• Analisis Kekuatan Rangka

Analisis kekuatan rangka dilakukan untuk memastikan bahwa struktur rangka mampu menahan beban kerja selama mesin beroperasi. Analisis ini dilakukan menggunakan metode *Finite Element Analysis (FEA)* [28], dengan bantuan perangkat lunak *SolidWorks Simulation*. Tahapan analisis meliputi pembuatan model rangka, penentuan jenis material, penetapan kondisi batas (*boundary condition*) [29], pemberian pembebanan, proses *meshing* [30], serta analisis hasil simulasi. Pada simulasi ini diberikan pembebanan statis sebesar 150 kg, yang merepresentasikan berat komponen mesin serta beban kerja selama proses pencetakan pelet. Hasil simulasi

menunjukkan bahwa nilai tegangan maksimum (*von Mises stress*) yang terjadi pada rangka sebesar 72,6 MPa. Nilai tegangan tersebut masih berada di bawah batas luluh material sehingga struktur rangka masih dinyatakan aman untuk digunakan. Nilai perpindahan maksimum (*maximum displacement*) sebesar 9,516 mm menunjukkan bahwa deformasi yang terjadi pada rangka masih dalam batas yang dapat ditoleransi dan tidak mempengaruhi kestabilan mesin secara signifikan. Selain itu, nilai regangan maksimum (*maximum strain*) sebesar 0,0038 menunjukkan bahwa material rangka masih bekerja dalam daerah elastis sehingga tidak mengalami deformasi permanen. Nilai faktor keamanan minimum sebesar 1,689 menunjukkan bahwa rangka mesin masih memiliki margin keamanan terhadap beban kerja yang diberikan.

• **Analisis Kekuatan Screw Extruder**

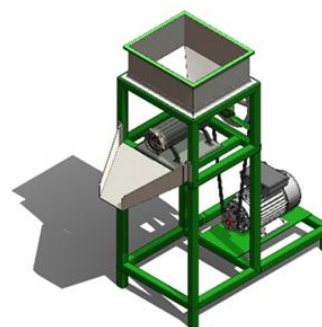
Untuk mengetahui kemampuan *screw extruder* dalam menahan beban kerja selama proses ekstrusi, dilakukan analisis kekuatan menggunakan metode *Finite Element Analysis (FEA)*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa tegangan maksimum yang terjadi pada *screw extruder* sebesar $6,14 \times 10^4 \text{ N/m}^2$. Nilai tersebut masih berada dalam batas elastis material sehingga komponen *extruder* tidak mengalami kerusakan struktural selama proses operasi. Nilai perpindahan maksimum sebesar $8,313 \times 10^{-6} \text{ mm}$ menunjukkan bahwa deformasi yang terjadi sangat kecil sehingga tidak mempengaruhi performa *screw* selama proses pencetakan pelet. Selain itu, nilai regangan maksimum sebesar $1,804 \times 10^{-7}$ menunjukkan bahwa perubahan bentuk material yang terjadi masih sangat kecil dan berada dalam batas elastis material. Berdasarkan hasil analisis tersebut dapat disimpulkan bahwa *screw extruder* memiliki kekuatan struktur yang memadai untuk menahan beban kerja selama proses pencetakan pelet pakan ternak [19].



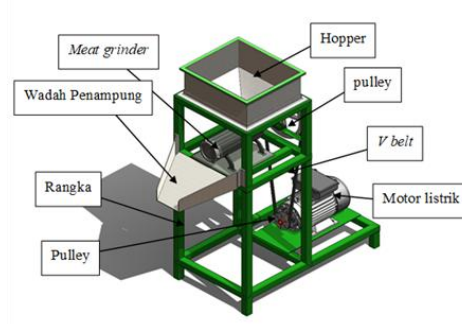
Gambar 7. Desain Single Srew Extruder

MEMBUAT KONSEP DESAIN

Pembuatan desain alat dilakukan untuk memenuhi kebutuhan dalam proses perancangan dan pembuatan mesin. Tahap pembuatan desain gambar dilakukan setelah sebelumnya melakukan pengamatan langsung di lapangan [31]. melakukan tinjauan pustaka, serta menentukan permasalahan utama yang akan diselesaikan melalui perancangan alat ini. Desain yang dibuat mencakup rangka utama, keseluruhan bentuk mesin pencetak pelet, serta sistem penggerak yang digunakan agar alat dapat bekerja dengan optimal pada gambar 10 [8].



Gambar 8. Desain Keseluruhan Mesin Cetak Pelet



Gambar 9. Desain Keseluruhan Mesin Cetak Pelet



Gambar 10. Alat Pencetak Pelet Yang Sudah Dirakit

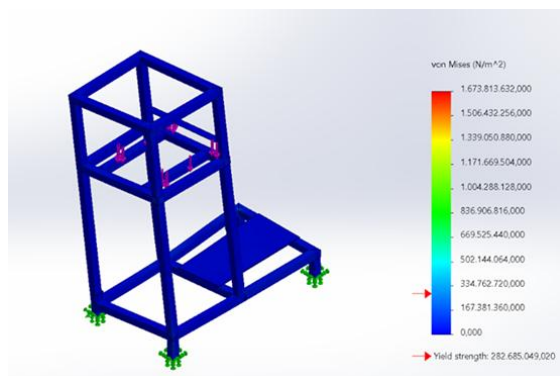
SIMULASI RANGKA DESAIN

Setelah proses *desain* rangka mesin selesai, langkah berikutnya ialah melakukan simulasi terhadap struktur tersebut [32]. Material yang digunakan dalam analisis adalah *Alloy Steel (SS)*, dan pembebanan diterapkan pada area tertentu dari kerangka mesin [14].

Hasil Simulasi Von misses

Hasil simulasi struktur pada rangka mesin cetak pelet pakan ternak menunjukkan distribusi tegangan Von Mises dalam satuan N/m^2 (Pa). Berdasarkan skala warna pada legenda, tegangan maksimum yang terjadi adalah sebesar 72.594 N/m^2 atau 72,6 MPa, dengan konsentrasi tegangan terbesar berada pada bagian bawah rangka, terutama pada area tumpuan atau kaki penyangga. Pada bagian rangka lainnya, tegangan yang muncul relatif lebih kecil dan terdistribusi secara merata. Material rangka yang

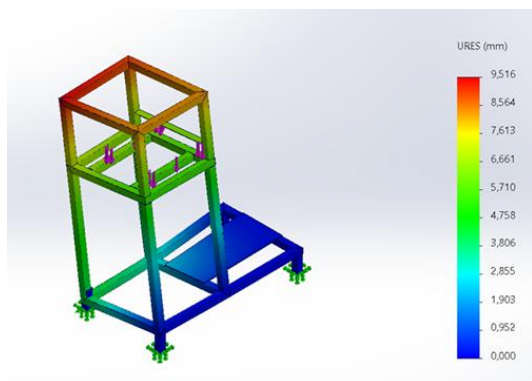
digunakan memiliki nilai tegangan luluh (yield strength) sebesar 172 MPa, sehingga tegangan maksimum hasil simulasi masih berada di bawah batas luluh material. Kondisi ini menunjukkan bahwa rangka masih bekerja dalam wilayah elastis dan belum mengalami deformasi plastis. Perhitungan faktor keamanan menghasilkan nilai 2,37, yang menandakan bahwa konstruksi rangka berada dalam kondisi aman dan telah memenuhi kriteria perancangan struktur mesin sesuai standar VDI, sehingga rangka dinyatakan layak untuk menahan beban kerja yang diberikan. Hasil simulasi tersebut ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Hasil Analisis Von Mises

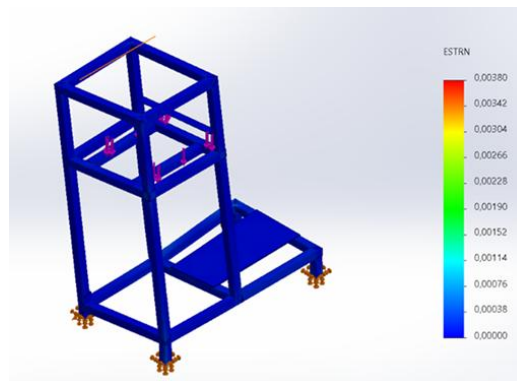
Hasil Simulasi Displacement

Berdasarkan hasil simulasi perpindahan total, distribusi deformasi pada struktur rangka ditampilkan dalam satuan milimeter. Perpindahan total menunjukkan besarnya lendutan struktur akibat pembebanan yang bekerja. Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai perpindahan maksimum sebesar 9,516 mm terjadi pada bagian atas rangka, terutama pada sudut dan balok horizontal bagian atas yang ditandai dengan warna merah. Sementara itu, pada bagian dasar rangka yang terhubung dengan tumpuan, nilai perpindahan sangat kecil hingga mendekati nol dan ditunjukkan dengan warna biru. Pola distribusi ini menunjukkan bahwa deformasi meningkat seiring dengan ketinggian struktur akibat pengaruh beban yang bekerja. Meskipun terjadi lendutan pada bagian atas, nilai perpindahan yang dihasilkan masih berada dalam batas aman sehingga tidak menyebabkan kerusakan maupun ketidakstabilan pada struktur rangka. Hasil simulasi perpindahan total [33], bisa dilihat pada gambar 12



Gambar 12. Hasil Simulasi Displacement

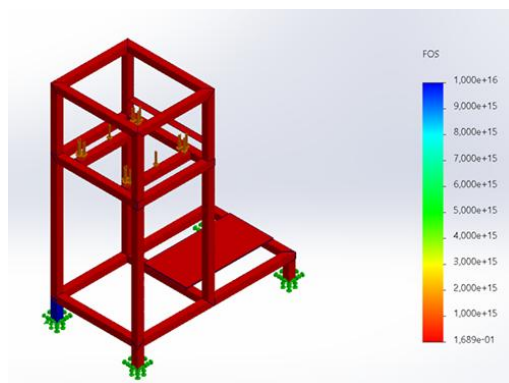
Hasil Simulasi Strain



Gambar 13. Hasil Simulasi Strain

Regangan tertinggi teridentifikasi pada bagian atas sambungan rangka, yang terlihat dengan indikator warna merah pada hasil analisis. Nilai strain maksimum yang tercatat sebesar 0,00380, menunjukkan bahwa area tersebut mengalami deformasi paling besar akibat beban yang bekerja. Sebaliknya, pada bagian bawah rangka yang ditandai dengan warna biru, nilai regangan yang terjadi sangat kecil, bahkan mendekati 0. Kondisi ini mengindikasikan bahwa daerah tersebut hampir tidak mengalami perubahan bentuk yang berarti karena berada pada area tumpuan atau penahan struktur, sehingga pengaruh pembebanan relatif minimal bisa dilihat pada Gambar 13.

Hasil Simulasi Safety Factor



Gambar 14. Hasil Simulasi Safety Factor

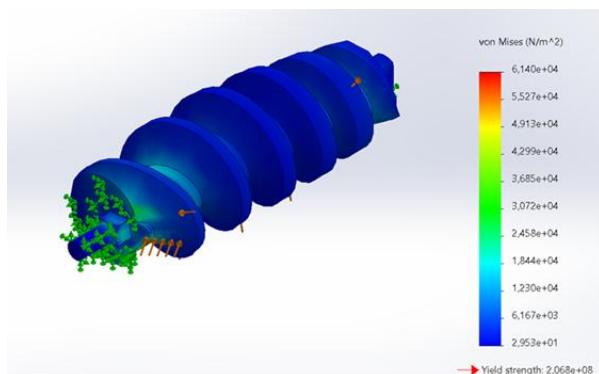
Nilai Safety Factor terendah berdasarkan hasil simulasi terjadi pada bagian sambungan tengah rangka yang ditunjukkan dengan warna merah pada kontur hasil analisis. Nilai minimum yang diperoleh sebesar 1,528. Nilai ini menunjukkan bahwa tegangan maksimum yang terjadi pada struktur masih lebih kecil dibandingkan dengan tegangan luluh (yield strength) material yang digunakan. Secara teori, apabila nilai Safety Factor berada di bawah 1 ($SF < 1$), maka komponen atau produk tersebut dinyatakan tidak aman karena tegangan kerja telah melampaui batas kekuatan material. Kondisi tersebut berpotensi menyebabkan kegagalan struktur saat digunakan dan dapat membahayakan pengguna. Karena nilai Safety Factor minimum yang diperoleh sebesar 1,689

($SF > 1$), maka struktur rangka masih berada dalam kondisi aman dan layak digunakan pada pembebanan yang disimulasikan [22]. Dengan demikian, *desain* rangka telah memenuhi kriteria keamanan dasar berdasarkan hasil analisis statik yang dilakukan, yang bisa dilihat pada Gambar 14.

SIMULASI SCREW EXTRUDER

Simulasi *screw extruder* dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem ekstrusi yang telah dirancang [34]. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan alat dalam menghasilkan kapasitas produksi, memahami aliran material di dalam *barrel* [35], serta menilai kemampuan *screw* dalam mendorong bahan sepanjang *barrel* hingga mencapai bagian keluaran. Proses analisis dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa parameter desain seperti diameter *screw*, kedalaman *channel*, sudut *heliks*, kecepatan putaran *screw*, serta karakteristik bahan yang digunakan [36].

Hasil Analisis Tegangan (Von Mises Stress)



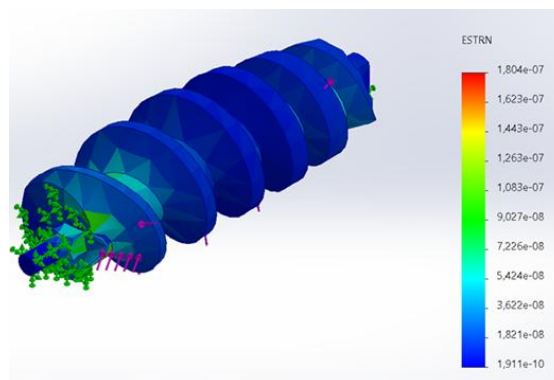
Gambar 15. Hasil Analisis Tegangan (Von Mises Stress)

Berdasarkan hasil simulasi, distribusi tegangan *von Mises* pada *screw extruder* menunjukkan nilai tegangan maksimum sebesar $6,14 \times 10^4 \text{ N/m}^2 = 61.400 \text{ N/m}^2 / 0,0614 \text{ MPa}$. Tegangan maksimum tersebut terjadi pada bagian awal ulir *screw* yang menerima beban terbesar dari material yang didorong selama proses ekstrusi. Jika dibandingkan dengan *yield strength* material *stainless steel* sebesar $2,068 \times 10^8 \text{ N/m}^2$, maka nilai tegangan 3368 yang terjadi masih jauh di bawah batas luluh material. Hal ini menunjukkan bahwa komponen *screw extruder* masih berada dalam kondisi aman dan tidak mengalami kegagalan struktur selama proses kerja [37]. gambar 15. Hasil analisis tegangan (Von Mises stress). Perhitungan ini didasarkan pada parameter *desain screw extruder* serta karakteristik material yang digunakan dalam proses ekstrusi. Parameter yang diperhitungkan meliputi diameter *screw*, *pitch* ulir, kecepatan putaran, dan sifat material pakan ternak. Persamaan yang digunakan untuk menghitung tegangan *von Mises* pada *screw extruder* bisa dilihat pada persamaan rumus 2 [38].

Hasil Simulasi Strain

Berdasarkan hasil simulasi regangan (strain) pada komponen *screw extruder*, diperoleh distribusi regangan yang ditunjukkan oleh kontur warna pada model, di mana regangan maksimum sebesar $3,07 \times 10^{-4}$ terjadi pada

bagian awal ulir *screw* yang berada dekat dengan area pembebanan, sedangkan regangan minimum mendekati nol terdapat pada bagian yang tidak menerima beban. Regangan terbesar pada bagian awal ulir disebabkan oleh gaya dorong material yang paling besar selama proses ekstrusi berlangsung, sementara bagian lainnya mengalami regangan yang relatif kecil yang ditunjukkan oleh dominasi warna biru pada model. Perhitungan regangan dilakukan berdasarkan hubungan antara tegangan dan modulus elastisitas material dengan persamaan $\epsilon = \sigma/E$, di mana ϵ adalah regangan, σ adalah tegangan von Mises maksimum sebesar 61,4 MPa, dan E adalah modulus elastisitas *stainless steel* sebesar 200 GPa (200.000 MPa). Maka perhitungan regangan diperoleh $\epsilon = 61,4 \div 200.000 = 0,000307$ atau $3,07 \times 10^{-4}$. Nilai regangan tersebut masih berada dalam batas elastis material sehingga tidak menyebabkan deformasi permanen pada *screw extruder*. Dengan demikian, desain *screw extruder* dapat dinyatakan aman dan mampu menahan beban kerja selama proses ekstrusi tanpa mengalami kegagalan struktur. Perhitungan ini didasarkan pada parameter desain *screw extruder* serta karakteristik material yang digunakan dalam proses ekstrusi. Parameter yang diperhitungkan meliputi diameter *screw*, *pitch* ulir, kecepatan putaran, dan sifat material pakan ternak. Persamaan yang digunakan untuk menghitung tegangan strain pada *screw extruder* adalah sebagai berikut. Hasil simulasi strain dapat dilihat pada Gambar 16. Persamaan yang digunakan untuk menghitung tegangan strain pada *screw extruder* bisa dilihat di Persamaan Rumus 4 [39].

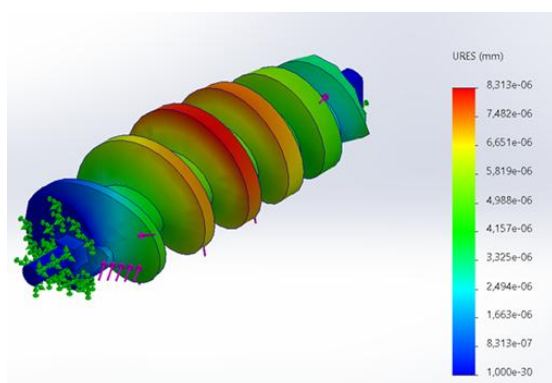


Gambar 16. Hasil Simulasi Strain

Hasil Analisis Perpindahan (Displacement)

Analisis perpindahan dilakukan untuk mengetahui besarnya deformasi yang terjadi pada komponen *screw extruder* akibat pembebanan selama proses kerja. Simulasi ini dilakukan menggunakan SolidWorks Simulation pada SolidWorks dengan material *stainless steel*. Berdasarkan hasil simulasi yang ditunjukkan pada gambar, distribusi perpindahan total (URES) pada *screw extruder* ditampilkan dalam bentuk kontur warna. Nilai perpindahan maksimum yang terjadi adalah sebesar $8,313 \times 10^{-6} \text{ mm}$. Deformasi terbesar terjadi pada bagian tengah ulir karena bagian ini menerima momen puntir terbesar 0,0000083 mm, sedangkan nilai perpindahan minimum mendekati 0 mm yang ditunjukkan oleh warna biru pada bagian yang mengalami penahanan (fixture). Perpindahan terbesar terlihat pada bagian tengah hingga ujung ulir *screw* yang

menerima pengaruh pembebanan selama proses ekstrusi. Sementara itu, bagian yang ditahan menunjukkan nilai perpindahan yang sangat kecil karena terikat pada sistem penggerak. Nilai deformasi yang dihasilkan tergolong sangat kecil sehingga tidak mempengaruhi bentuk maupun kinerja screw extruder secara signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa struktur screw memiliki kekakuan yang cukup baik untuk menahan beban kerja selama proses ekstrusi berlangsung [40]. Dengan demikian, desain screw extruder dapat dikatakan stabil dan aman digunakan dalam kondisi operasi yang direncanakan (Gambar 17). Hasil Analisis Perpindahan (Displacement), dan Persamaan yang digunakan untuk menghitung tegangan Strain pada screw extruder pada persamaan rumus 3 adalah sebagai berikut [41].



Gambar 17. Hasil Analisis Perpindahan (Displacement)

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, pengujian, dan analisis yang telah dilakukan, mesin pencetak pelet pakan ternak berhasil dikembangkan dengan komponen utama berupa rangka dan *screw extruder* yang mampu beroperasi secara optimal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa mesin

memiliki kapasitas produksi sebesar 20 kg/jam, sehingga dapat meningkatkan efisiensi proses pembuatan pakan dibandingkan dengan metode manual.

Berdasarkan analisis kekuatan struktur menggunakan metode *Finite Element Analysis (FEA)*, diperoleh tegangan maksimum pada rangka sebesar 72,6 MPa, dengan nilai *displacement* maksimum sebesar 9,516 mm, serta faktor keamanan minimum sebesar 1,689. Nilai tersebut menunjukkan bahwa struktur rangka masih berada dalam kondisi aman karena tegangan kerja tidak melampaui batas luluh material. Sementara itu, pada komponen *screw extruder* diperoleh tegangan maksimum sebesar $6,14 \times 10^4$ N/m², *displacement* maksimum sebesar $8,313 \times 10^{-6}$ mm, serta *strain* sebesar $1,804 \times 10^{-7}$, yang menandakan bahwa deformasi yang terjadi sangat kecil dan masih berada dalam batas elastisitas material.

Secara keseluruhan, hasil pengujian dan analisis menunjukkan bahwa mesin memiliki performa yang baik, baik dari sisi kapasitas produksi maupun kekuatan struktur. Dengan demikian, mesin pencetak pelet pakan ternak yang dirancang dinyatakan layak untuk digunakan karena memiliki tingkat keamanan yang cukup, stabil selama pengoperasian, serta mampu menghasilkan pelet secara lebih efisien dan seragam. Mesin ini diharapkan dapat menjadi alternatif solusi bagi peternak dalam memproduksi pakan secara mandiri dengan biaya yang lebih terjangkau.

UCAPAN TERIMA KASIH

Saya menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sidoarjo atas segala ilmu, arahan, serta pengalaman berharga yang telah saya peroleh selama menempuh pendidikan hingga proses penyusunan penelitian ini. Semoga segala kebaikan, dukungan, dan kontribusi yang telah diberikan mendapatkan balasan yang setimpal serta menjadi amal yang bermanfaat bagi semua.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. D. Prayoga And H. Herlina, "Perancangan Alat Cetak Pelet Ayam Portabel Guna Mengurangi Biaya Pembelian Pakan (Studi Kasus: Peternakan Pak Musraji)," *J. Tek. Ind. Terintegrasi*, Vol. 7, No. 2, Pp. 877–887, 2024, Doi: 10.31004/Jutin.V7i2.27748.
- [2] Y. Yatno, S. Suparjo, And R. Murni, "Isolasi Protein Dan Produksi Konsentrat Protein Daun (Kpd) Sebagai Suplemen Pakan Ternak," *Pastura*, Vol. 7, No. 2, P. 88, 2019, Doi: 10.24843/Pastura.2018.V07.I02.P07.
- [3] M. D. R. Aji, *I | Page*, Vol. 1, No. May. 2017.
- [4] S. E. Lina, "Perancangan Mesin Cetak Pelet Berbasis Teknologi Hybrid," 2024, [Online]. Available: <https://Repository.Uma.Ac.Id/Jspui/Bitstream/123456789/24343/1/188120029> - Sonia Ester Lina Fulltext.Pdf
- [5] *Pemanfaatan Limbah Pasar Sebagai Pakan Ruminansia Sapi Dan Kambing Di Dki Jakarta Drh . Neng Risris Sudolar.*
- [6] S. P. Collins *Et Al.*, "Pemberian Pakan Dengan Energi Yang Berbeda Terhadap Pertumbuhan Benih Ikan Kerapu Tikus (*Cromileptes Altivelis*)," Vol. 1, No. 2, Pp. 167–186, 2021.
- [7] D. T. J. Drotman, "Design Of A Screw Extruder For Additive Manufacturing," P. 57, 2015.
- [8] R. Bamban Jakaria, I. Iswanto, E. Widodo, And P. Amelia Kusumawardani, *Perseptif Desain Produk : Merancang Atribut Produk.Pdf*. 2024.
- [9] P. Kroes, *Engineering Design*. 2009. Doi: 10.1002/9781444310795.Ch19.
- [10] K. Silak, J. Haurissa, And M. Mini, "Analysis Of The Impact Of Different Water Volumes In The Mixture Of Charcoal And Tapioca Flour On The Combustion Rate Of Biomass Briquettes The Purpose Of This Study Is To Analyze The Effect Of Varying Water Volumes In The Mixture Of Areca Palm," Vol. 18, No. November, 2025.
- [11] J. Nugroho, F. Sains, D. A. N. Teknologi, I. Negeri, S. Syarif, And K. Riau, "Perancangan Alat Perakitan Pallet Ergonomis

- Menggunakan Metode Verein Deutscher Ingenieure (Vdi),” Vol. 2222, No. Vdi, 2020.
- [12] A. B. Maulana, E. Widodo, A. Fahrudin, And S. Yulianto, “Design Of A Single Screw Extruder Machine For 3d Printing Filament Production Application,” *Sintek J. J. Ilm. Tek. Mesin*, Vol. 17, No. 1, P. 24, 2023, Doi: 10.24853/Sintek.17.1.24-30.
- [13] T. A. Kristiawan, A. Dhimas, P. Yanuar, And T. Setiyawan, “Analisa Penggunaan Support Frame Lama Pada Desain Baru Screw Conveyor Machine Menggunakan Metode Elemen Hingga,” Vol. 6, No. 1, Pp. 35–46, 2023.
- [14] A. R. Prasetyo, Sulis Yulianto, And Edi Widodo, “Rancangan Prototipe Mesin Pengereng Gabah Berbasis Teknologi Hybrid,” *J. Konversi Energi Dan Manufaktur*, Vol. 9, Pp. 32–42, 2023, Doi: 10.21009/Jkem.9.1.4.
- [15] L. Hernando And N. Fajrah, *Optimalisasi Sistem Kerja Manusia-Mesin Di Era*.
- [16] D. Kurnia, A. Firizky, N. R. Wibowo, And R. Pratindy, “Structural Evaluation Of The Textile Machine Monitoring System Support Frame Using The Finite Element Method,” Vol. 13, No. 1, Pp. 170–176, 2026, Doi: 10.37373/Tekno.V13i1.1988.
- [17] A. Lawi *Et Al.*, *Ergonomi Industri*.
- [18] P. Studi, P. Teknik, F. Universitas, And S. Maret, “Tinjauan Prinsip-Prinsip Ergonomi Dalam Perbaikan Sarana Pembelajaran Di Prodi Pendidikan Teknik Mesin Uns,” Vol. 5, No. 1, Pp. 87–92, 2006.
- [19] N. Nazaruddin, “Design And Manufacture Of A Fish Pellet Machine With A Screw Extruder Method Capacity Of Batter 2 . 35 Tons / Hour”.
- [20] 0073380288, “Mechanics Of Materials – Beer & Johnston – 6th Edition.”
- [21] J. K. N. Richard G. Budynas, “Shigley’s Mechanical Engineering Design, 11th Edition, Si Units.”
- [22] S. Suryady And A. D. Sapto, “Analisis Pembebanan Statis Terhadap Rangka Mesin Alat Pengaduk Untuk Adonan Donat Menggunakan Software Fea Jurnal Teknik Mesin : Vol . 13 , No . 1 , Februari 2024 Issn 2549-2888,” Vol. 13, No. 1, Pp. 22–29, 2024.
- [23] Hibbeler, “Mechanics,” https://www.researchgate.net/publication/262156788_Mechanics_Of_Materials.
- [24] O. M. E. S. Khayal, “لؤلؤة زجاج” Mechanics Of Materials Part One,” 2019.
- [25] J. P. D. Editor, *Introduction To Mechanical Engineering*.
- [26] P. Studi, T. Mesin, And U. M. Sidoarjo, “Penggunaan Metode Vdi 2222 Sebagai Dasar Perancangan Mesin Pencacah Sampah Plastik,” 2025.
- [27] R. Adhiharto, A. B. Nusantoro, A. I. Komara, And D. H. Wigenaputra, “Perancangan Ulang Dan Analisa Mesin Benchtop Injection Molding Dengan Metode Vdi 2222,” Vol. 5, No. 2, Pp. 153–168, 2023.
- [28] P. Sarda, A. Manjare, G. Raut, And P. Baskar, “Stress Optimization Of Frame With Reinforcement Technique By Fea,” Vol. 3, No. 5, Pp. 836–840, 2014.
- [29] I. P. Aondona, “Design And Production Of A Single Screw Fish Feed Extruder,” Vol. 1, No. 1, Pp. 9–35, 2024.
- [30] A. P. Olalusi, S. A. Olaoye, J. Isa, A. S. Oyerinde, C. Ayo-Olalusi, And D. O. Adesuyi, “Development And Performance Evaluation Of A Single Screw Extruder For The Production Of Floating Fish Feed,” Vol. 23, No. 12, Pp. 48–58, 2022, Doi: 10.9734/Jerr/2022/V23i12762.
- [31] D. Vries, *Manufacturable Design Operations*, Vol. 1, No. 1996. 2026. Doi: 10.6100/Ir461105.
- [32] A. Pratama, “Desain Dan Analisis Kekuatan Rangka Mesin Pres Batako Menggunakan Finite Element Method Design And Strength Analysis Of Brick Press Machine Frame Using Finite Element Method,” Vol. 5, Pp. 221–230, 2023.
- [33] S. O. Dapas, “Analisis Struktur Rangka Batang,” Vol. 1, No. 2, Pp. 156–160, 2011.
- [34] D. Chakraborty, B. A. Reddy, And A. R. Choudhury, “Extruder Path Generation For Curved Layer Fused Deposition Modeling” Vol. 40, Pp. 235–243, 2008, Doi: 10.1016/J.Cad.2007.10.014.
- [35] D. Straub, “Stabilization Of Filament Production Rate For Screw Extrusion-Based Polymer Three-,” Vol. 142, No. March, Pp. 1–10, 2020, Doi: 10.1115/1.4045560.
- [36] “Influence Of Extrusion Conditions On Extrusion Speed, Temperature, And Pressure In The Extruder And On Pasta Quality J. Abecassis, R. Abbou, M. Chaurand, M.-H. Morel, P. Vernoux.”
- [37] E. Unlu And J. F. Faller, “Formation Of Resistant Starch By A Twin-Screw Extruder,” No. C, Pp. 346–350, 1998.
- [38] C. Clason, “Introduction To Finite Element Methods”.
- [39] C. Learning, A. R. Reserved, And C. Learning, *Afirst Course In The Finite Element Method, Fifth Edition Daryl L. Logan*.
- [40] N. Simuiation And P. Extruder, “Numerical Simuiation. ’ , Of A Single Scelffi’l Plasticatinj Extruder Id Eric Agur, B.A.Sc . . , M.Eng.,” 1982.
- [41] M. Sibarani, M. P. Allan, And P. M. Santika, “Perancangan Unit Extruder Pada Mesin Extrusion Lamination Flexible Packaging,” Vol. 2, No. 2, Pp. 42–45, 2018.

