



## Desain dan Analisis Sistem Pencacah Brondol Sawit dengan Variasi Ketebalan *Spacer Cutter* Produk 3D FDM

Adhe Anggry<sup>1</sup>, Indra Feriadi<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung,  
adhe@polman-babel.ac.id

Received: 12 September 2022; Received in revised form: 9 Oktober 2022; Accepted: 13 Oktober 2022

### Abstract

The increase in oil palm plantations has an impact on increasing plantation waste produced, one of which is palm oil and has a positive impact on the development of palm oil waste processing technology. Palm kernel crushing machine as one of the supporting animal feed productions can produce shreds with fiber and cake dimensions that are suitable for animal feed. However, the types of livestock require varying dimensions of fiber and meal chips. The purpose of this research is a more effective completion of the project 'Design and Analysis of Palm Oil Palm Oil Counter System with 3D FDM Product *Spacer Cutter* Thickness'. The design process of a machine component must consider the stresses and deformations that occur so that it can be known whether the components designed are of good quality or not. The five steps of the problem-solving process are as follows: 1) Define requirements, 2) Gather/analyze information, 3) Develop several options, 4) Select the best option, and 5) Implement the design. Design simulations and analysis were carried out on the components of the chopping shaft, spacer cutter, and compression springs. From the simulation results obtained the design data of the chopping shaft using steel material, dimensions  $\varnothing 20\text{mm}/\varnothing 16\text{mm}$ , and uniform load  $w = 0.24 \text{ N/mm}$ . Analysis of maximum bending stress  $\sigma_B = 1.847 \text{ MPa}$ , torsional stress  $\tau = 0.103 \text{ MPa}$ , and deflection  $f_{max} = 4.201 \text{ microm}$ . The design of the spacer cutter component uses ABS material, dimensions  $\varnothing 70\text{mm}/\varnothing 20\text{mm}$  with a thickness variation of 10-15 mm, and a compressive load of  $F = 100 \text{ N}$ . Analysis of Von Mises Stress is  $0.0319665 \text{ MPa}$  and maximum displacement is  $0.0000713021 \text{ mm}$ . The design of the compressed spring components uses carbon steel, the wire dimensions are 2 mm, the inner diameter is 20 mm, and the length is 100 mm. The spring inspection analysis is positive.

**Keywords:** Design; crushing-sistem; palm kernel; spacer cutter; 3D FDM

### Abstrak

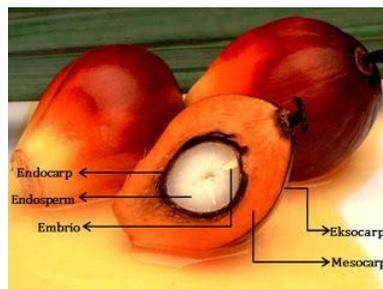
Meningkatnya luas areal perkebunan kelapa sawit berdampak pada meningkatnya limbah perkebunan yang dihasilkan, salah satunya brondol sawit dan berdampak positif terhadap perkembangan teknologi pengolahan limbah sawit. Mesin pencacah brondol sawit sebagai salah satu pendukung produksi pakan ternak mampu menghasilkan cacahan dengan dimensi serat dan bungkil yang layak untuk pakan ternak. Namun jenis ternak menuntut dimensi cacahan serat dan bungkil yang bervariasi pula. Tujuan penelitian ini adalah penyelesaian yang lebih efektif dari proyek 'Desain dan Analisis Sistem Pencacah Brondol Sawit dengan Variasi Ketebalan *Spacer Cutter* Produk 3D FDM'. Proses desain suatu komponen mesin harus memperhitungkan tegangan dan deformasi yang terjadi sehingga dapat diketahui apakah komponen yang didesain memiliki kualitas yang baik atau tidak. Lima langkah proses pemecahan masalah adalah sebagai berikut: 1) Tentukan persyaratan, 2) Kumpulkan/analisis informasi, 3) Kembangkan beberapa opsi, 4) Pilih opsi terbaik, dan 5) Implementasikan desain. Simulasi desain dan analisis dilakukan pada komponen poros pencacah, *spacer cutter*, dan pegas tekan. Dari hasil simulasi diperoleh data desain poros pencacah menggunakan bahan baja, dimensi  $\varnothing 20\text{mm}/\varnothing 16\text{mm}$ , dan beban merata  $w = 0,24 \text{ N/mm}$ . Analisis tegangan bending maksimum  $\sigma_B = 1,847 \text{ MPa}$ , tegangan torsi  $\tau = 0,103 \text{ MPa}$ , dan defleksi  $f_{max} = 4,201 \text{ microm}$ . Desain komponen *spacer cutter* menggunakan bahan ABS, dimensi

Ø70mm/ Ø20mm dengan variasi ketebalan 10-15 mm, dan beban tekan  $F= 100 N$ . Analisis *Von Mases Stress* sebesar 0,0319665 MPa dan *displacement* maksimum 0,0000713021 mm. Desain komponen pegas tekan menggunakan bahan baja karbon, dimensi kawat 2 mm, diameter dalam 20 mm, dan panjang 100 mm. Analisis pemeriksaan pegas bernilai positif.

**Kata kunci:** Desain; sistem-pencacah; brondol sawit; *spacer cutter*; 3D FDM

## 1. PENDAHULUAN

Luas areal perkebunan kelapa sawit di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung (Babel) terus meningkat, tercatat 224,5 ribu hektar (ha) pada 2018, 225,2 ribu ha pada 2019 dan menjadi 239,8 ribu ha pada 2020 dan pada 2021 mencapai 243,5 ribu ha [1]. Pada saat pemanenan, brondol yang terlepas dari tandannya tidak dikutip/dikumpul dengan bersih sehingga menjadi limbah. Brondol atau brondolan adalah istilah umum dalam perkebunan kelapa sawit untuk buah kelapa sawit yang telah terlepas atau terlepas dari tandannya (TBS) [2]. Jumlah brondol sawit yang tertinggal di piringan, di jalan pikul, di ketiak pelepah dan di bagian pengangkutan TBS cukup yaitu 0,18 kg/ha [3]. Berdasarkan data tersebut limbah brondol sawit yang dihasilkan dari luas areal perkebunan Babel sekitar 43,8 ribu kg. Setiap butir buah berdiameter 1,5 – 3 cm dan berat adalah 10 - 30 gram [4]. Buah terdiri dari tiga lapisan: a) Eksocarp, bagian kulit buah berwarna kemerahan dan licin, b) Mesocarp, serabut buah, c) Endocarp, cangkang pelindung inti, dan d) Inti sawit merupakan endosperm dan embrio. Morfologi butir buah sawit dapat dilihat pada Gambar 1. Brondol sawit memiliki potensi yang cukup besar untuk dijadikan sebagai pakan alternatif ternak. Komposisi 100-gram buah kelapa sawit adalah karbohidrat 12,5 gr, protein 1,9 gr, lemak 58,4 gr, serat 3,2 gr, abu 1,0 gr, dan H<sub>2</sub>O 23 gr [5]. Kandungan nutrisi bungkil sawit adalah protein 14,19–21,66%, lemak 9,5–10,5% dan serat kasar 12–63% [6].



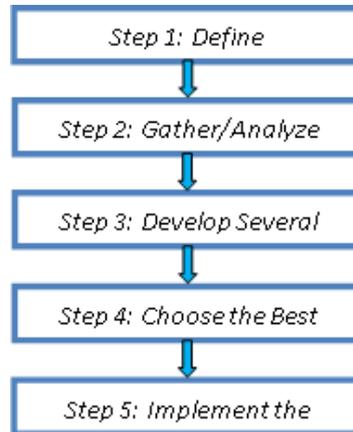
Gambar 1. Morfologi Butir Buah Sawit [5]

Mesin *crusher* adalah teknologi yang dapat digunakan untuk mengolah brondol untuk pakan ternak. *Crusher* adalah mesin yang didesain untuk mengurangi benda material padat yang besar menjadi volume yang lebih kecil, atau potongan yang lebih kecil sehingga dapat digunakan secara efisien untuk tujuan yang dimaksudkan [7]. Secara umum mesin *crusher* brondol sawit terdiri dari bagian/ sistem rangka, masukan (*hopper*), bagian *crusher* brondolan sawit, bagian penyaluran hasil *crusher* brondolan sawit, dan sistem transmisi daya. Salah satu mekanisme sistem pencacah yang tersedia adalah dengan sirkular pisau potong (*cutter*) aksi ganda. Pada metoda ini brondol melewati celah dua barisan *cutter* yang berputar berlawanan [8]. Mesin pencacah brondol sawit sebagai salah satu pendukung produksi pakan ternak mampu menghasilkan cacahan dengan dimensi serat dan bungkil yang layak untuk pakan ternak. Barisan pisau potong ini memiliki jarak antar pisau (*spacer cutter*) yang dapat menentukan dimensi cacahan yang dihasilkan, yaitu panjang serat dan volume butiran bungkil. Namun jenis ternak menuntut dimensi cacahan serat dan bungkil yang bervariasi pula.

Paper ini difokuskan pada penyelesaian yang lebih efektif dari proyek 'Desain dan Analisis Sistem Pencacah Brondol Sawit dengan Variasi Ketebalan *Spacer Cutter* Produk 3D FDM'. Proses desain suatu komponen mesin harus memperhitungkan tegangan dan deformasi yang terjadi sehingga dapat diketahui apakah komponen yang didesain memiliki kualitas yang baik atau tidak. Metode ini juga digunakan pada desain dan analisis *shaft driver mesin hammer mill*. Hasil simulasi desain menunjukkan bahwa maksimum *Von Mases Stress* sebesar 7,9 MPa dan perhitungan manual sebesar 7,3 MPa [9].

## 2. METODE PENELITIAN

Desain yang sukses dimulai dengan rencana yang logis dan sistematis. Dengan analisis lengkap tentang persyaratan fungsional mesin, sangat sedikit masalah desain yang terjadi. Ketika perancang melakukannya, kemungkinan beberapa persyaratan desain dilupakan atau diremehkan. Desain adalah proses pemecahan masalah, lima langkah proses pemecahan masalah dapat dilihat pada Gambar 2 [7].



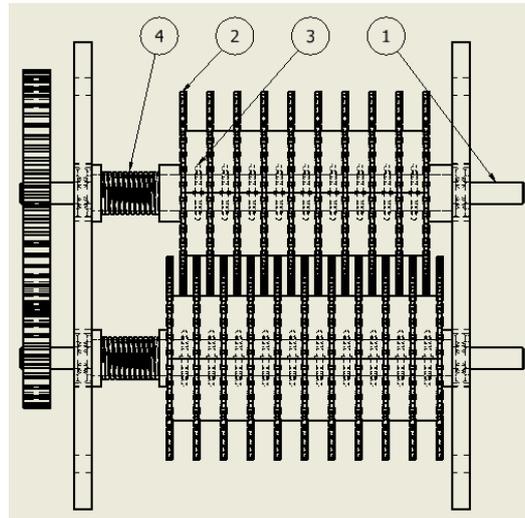
Gambar 2. General Design Procedure

Rincian lima langkah proses pemecahan masalah sebagai berikut:

- 1) Tentukan Persyaratan: Untuk memulai proses desain, nyatakan dengan jelas masalah yang harus dipecahkan atau kebutuhan yang harus dipenuhi. Persyaratan dari sistem pencacah brondol sawit sebagai berikut: *Spacer cutter* memiliki variasi ketebalan 10-15 mm, *Spacer cutter* menggunakan produk 3D FDM (*Fused Deposition Modelling*) berbahan ABS, dan *Spacer cutter* dirakit tanpa melakukan pembongkaran pada sistem pencacah. FDM merupakan salah satu teknik *rapid prototyping* tipe *additive*. Sistem kerja dari FDM adalah dengan cara membentuk *part* secara lapis demi lapis menggunakan material *thermoplastic* yang telah dipanaskan menjadi semi *liquid* [9]. Penggunaan 3D *printing* merupakan solusi dalam pengembangan produk khususnya untuk memecahkan permasalahan *lead time design process* [11].
- 2) Kumpulkan/Analisis Informasi: Kumpulkan semua data yang relevan dan kumpulkan untuk evaluasi. Sumber informasi utama adalah spesifikasi mesin. Spesifikasi sistem pencacah brondol sawit sebagai berikut: Poros pencacah: rasio putaran 3:1 dan *Cutter*: *circular saw* standar  $\text{Ø}110 \times \text{Ø}20 \times 2 \text{mm}$ .
- 3) Kembangkan Beberapa Opsi: Fase proses desain ini membutuhkan kreativitas paling banyak. Kecenderungan alami adalah memikirkan satu solusi, kemudian mengembangkan dan menyempurnakannya sambil menghalangi solusi lain yang mungkin lebih baik. Beberapa opsi telah dikembangkan untuk alternatif desain *spacer cutter*. Desain *spacer cutter* terdiri dari dua bagian sebagai solusi untuk perakitan tanpa melakukan pembongkaran pada sistem pencacah. Komponen pegas tekan digunakan sebagai solusi pengaturan variasi ketebalan *spacer cutter*.
- 4) Pilih Opsi Terbaik: Total biaya untuk memproduksi komponen dinyatakan sebagai rumus jumlah biaya operasi per potong, biaya pemasangan, dan biaya perkakas.
- 5) Implementasikan Desain: Fase terakhir dari proses *crushing machine* terdiri dari mengubah pendekatan desain yang dipilih menjadi kenyataan. Rincian akhir diputuskan, gambar akhir dibuat. Implementasi desain sistem pencacah mesin pencacah brondol sawit menggunakan perangkat lunak pemodelan 3D Autodesk Inventor. Fitur-fitur analisis yang digunakan adalah *Shaft Component Generator*: fitur ini untuk merancang bentuk, kalkulasi beban, tumpuan dan pemeriksaan kekuatan poros, *Compress Spring Component Generator*: fitur ini digunakan untuk mengatur parameter desain pegas tekan seperti panjang pegas atau diameter kawat dan perhitungan kekuatan, beban, atau bahan pegas, dan *Stress Analysis*: fitur ini digunakan untuk analisis tegangan yang didasarkan pada *Finite Element Method* (FEM). FEM juga bisa disebut sebagai FEA (*Finite Element Analysis*). *Stress Analysis* secara harfiah mengambil struktur yang kompleks dan mengubahnya menjadi bagian-bagian kecil (*mesh*) dan kemudian menyelesaikan perhitungan dengan sistem persamaan diferensial parsial, sistem ini memiliki input yang berbeda seperti konstrain, bahan dan beban [12].

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

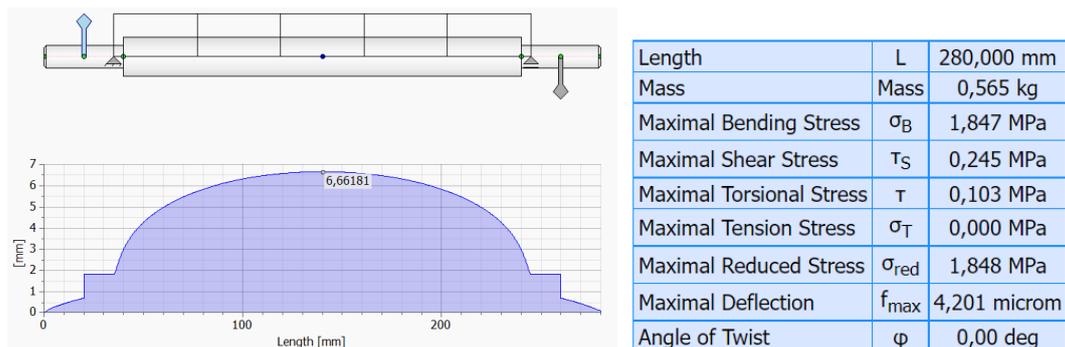
Konsep desain sistem pencacah dapat dilihat pada Gambar 3. Simulasi desain dan analisis dilakukan pada komponen 1) poros pencacah, 3) *spacer cutter* dan 4) pegas tekan.



Gambar 3. Konsep Desain Sistem Pencacah Mesin Pencacah Brondol Saw GEN-3

#### 3.1. Desain dan Analisis Poros Pencacah

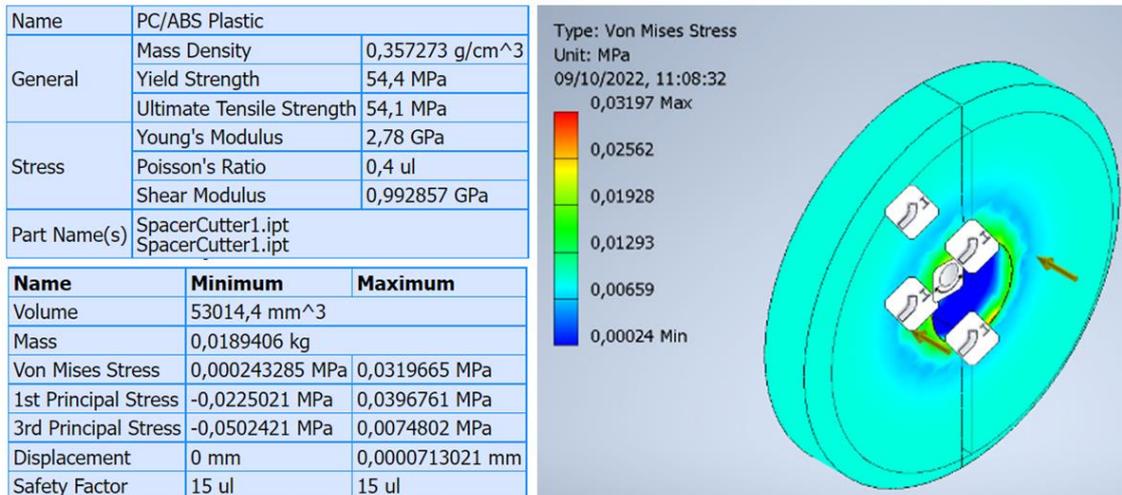
Input kalkulasi yang digunakan untuk desain poros pencacah adalah 1) Diameter poros,  $D = \text{Ø}20\text{mm} / \text{Ø}16\text{mm}$ , 2) Beban merata,  $w = 0,24 \text{ N/mm}$  yang diperoleh dari berat poros pencacah dan komponen yang terkait yaitu *cutter*, *spacer cutter*, pegas, dan *bush*, serta 3) Torsi  $T = 35 \text{ Nmm}$  yang diperoleh dari  $T = 60P/2\pi N$ , di mana  $P =$  daya motor penggerak = 6,5 Hp dan  $N =$  putaran = 1500 rpm. Hasil simulasi *Shaft Component Generator* untuk poros pencacah dapat dilihat pada Gambar 4. Dari data analisis diperoleh diameter ideal  $D = 6,7 \text{ mm}$ , jauh lebih kecil dibandingkan diameter poros yang digunakan dalam desain. Tegangan bengkok maksimum  $\sigma_B = 1,847 \text{ MPa}$  dan tegangan torsi  $\tau = 0,103 \text{ MPa}$ , hasil tersebut jauh di bawah batas izin bahan baja (*steel*)  $\sigma_{zin} = 112 \text{ MPa}$ . Defleksi yang terjadi pun sangat kecil yaitu sebesar  $f_{max} = 4,201 \text{ microm}$ .



Gambar 4. Desain dan Analisis Poros Pencacah

#### 3.2. Desain dan Analisis *Spacer Cutter*

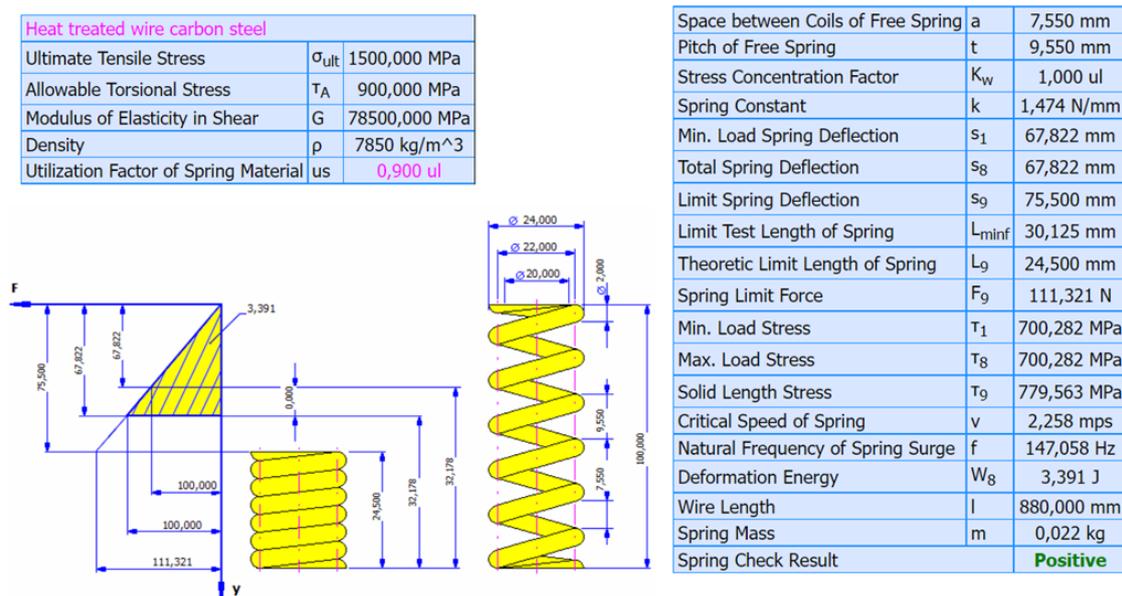
Input kalkulasi yang digunakan untuk desain *spacer cutter* adalah beban tekan  $F = 100 \text{ N}$  yang diperoleh dari gaya tekan dari tangan. Hasil simulasi *stress analysis* dapat dilihat pada Gambar 5. Dari data analisis diperoleh maksimum *Von Mises Stress* sebesar 0,0319665 MPa, hasil tersebut dapat dinyatakan aman terhadap batas izin = *Yeild Strength/Safety Factor* = 3,62 MPa. *Displacement* maksimum yang terjadi pun sangat kecil, yaitu 0,000713021 mm.



Gambar 5. Stress Analysis Spacer Cutter

### 3.2. Desain dan Analisis Pegas Tekan

Input kalkulasi yang digunakan untuk desain pegas tekan adalah beban tekan  $F = 100 \text{ N}$  yang diperoleh dari gaya tekan dari tangan dan dimensi pegas. Hasil simulasi *Compress Spring Component Generator* untuk pegas tekan dapat dilihat pada Gambar 6. Dari data analisis diperoleh kesimpulan *positive* atau perhitungan menunjukkan kepatuhan desain (*calculation indicates design compliance*).



Gambar 6. Desain dan Analisis Pegas Tekan

## 4. SIMPULAN

Berdasarkan desain dan analisis kekuatan maka diperoleh simpulan sebagai berikut:

- 1) Desain dan analisis menggunakan fitur-fitur Inventor dapat membantu mengurangi kesalahan dalam membuat desain, dengan demikian biaya dapat dikurangi dan *time to market* dapat dipercepat karena sudah disimulasikan sebelum masuk ke proses produksi.
- 2) Desain poros pencacah menggunakan bahan baja, dimensi  $\varnothing 20\text{mm}/\varnothing 16\text{mm}$ , dan beban merata  $w = 0,24 \text{ N/mm}$ . Analisis tegangan maksimum yang terjadi  $\sigma_B = 1,847 \text{ MPa}$  dan tegangan torsi  $\tau = 0,103 \text{ MPa}$ , dan defleksi  $f_{max} = 4,201 \text{ microm}$ .

- 3) Desain komponen *spacer cutter* menggunakan bahan ABS, dimensi  $\varnothing 70\text{mm}/\varnothing 20\text{mm}$  dengan variasi ketebalan 10-15 mm, dan beban tekan  $F= 100\text{ N}$ . Analisis *Von Mises Stress* sebesar 0,0319665 MPa dan *displacement* maksimum 0,0000713021 mm.
- 4) Desain komponen pegas tekan menggunakan bahan baja karbon, dimensi kawat 2 mm, diameter dalam 20 mm dan panjang 100 mm. Analisis pemeriksaan pegas bernilai positif.
- 5) Desain *spacer cutter* menggunakan produk 3D FDM filamen ABS sebagai solusi perakitan *spacer cutter* tanpa melakukan pembongkaran pada sistem pencacah mengandung langkah inventif.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. BPS, "Publikasi Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2021," Subdirektorat Statistik Tanaman Perkebunan, Jakarta, 2021.
- [2]. S. Risza, Kelapa Sawit, Upaya Peningkatan Produktifitas, Hal 88, Yogyakarta: Kanisius, 2004.
- [3]. S. & S. Y. Yelli, "Manajemen Panen Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) Di Kebun Tambusai," *Bul. Agrohorti*, vol. 2, no. 3, pp. 213-220, 2015.
- [4]. S. Risza, Kelapa Sawit, Upaya Peningkatan Produktifitas, Yogyakarta: Karnesius, 2004.
- [5]. I. Pahan, Panduan Lengkap Kelapa Sawit: Manajemen Agribisnis dari Hulu hingga Hilir, Jakarta: Swadaya, 2008.
- [6]. T. Pasaribu, "Upaya Meningkatkan Kualitas Bungkil Inti Sawit Melalui Teknologi Fermentasi dan Penambahan Enzim," *WARTAZOA*, vol. 28, no. 3, p. 120, 2018.
- [7]. A. P. U. ., F. P. M. ., B. B. ., S. T. S. ., R. K. A. ARUN K A, "Design and Analysis of Organic Waste Crushing Machine," *International Journal of Recent Research in Civil and Mechanical Engineering (IJRCME)*, vol. 3, no. 1, pp. 24-30, 2016.
- [8]. A. Adhe and Subkhan, "Uji Mesin Crusher Brondolan Sawit dengan Mata Potong Circular Saw Standar," *Manutech Jurnal Teknologi Manufaktur*, 11(01), pp. 14-19, 2019.
- [9]. D. Yagnik, "Fused Deposition Modeling – A Rapid Prototyping Technique for Product Cycle Time," *IOSR Journal of Mechanical and Civil*, pp. 62-68, 2014.
- [10]. K. S. Putra and U. R. Sari, "Pemanfaatan Teknologi 3D Printing Dalam Proses," in *Seminar Nasional Sistem Informasi dan Teknologi Informasi 2018*, Pontianak, 2018.
- [11]. Autodesk, "<https://knowledge.autodesk.com/>," Autodesk, 2022. [Online]. [Accessed September 2022].
- [12]. M. Firdaus, "ANALISIS PERBANDINGAN 3 MATERIAL SHAFT DRIVER HAMMER MILL TEPUNG BERAS DENGAN KECEPATAN 1465 rpm MENGGUNAKAN APLIKASI SOFTWARE "AUTODESK INVENTOR PROFESSIONAL 2015"," *Mechonversio: Mechanical Engineering Journal*, vol. 2, no. 2, pp. 11-18, 2019.