

Pengaruh kekuatan mata pisau mesin pencacah kompos menggunakan metode *finite element analysis*

Aji Abdillah Kharisma, Mahesa Dikta Ajiwiratama

¹Fakultas Teknologi Industri, Program Studi Teknik Mesin, Universitas Gunadarma
Jl. Margonda Raya 100, Depok, 16424
Email korespondensi: ajiabdillah@staff.gunadarma.ac.id

Abstrak

Sampah adalah limbah yang terdiri dari zat organik dan zat anorganik yang harus dikelola agar tidak membahayakan lingkungan, khususnya untuk sampah kompos. Kompos merupakan produk akhir suatu proses fermentasi tumpukan sampah atau bagian dari tanaman (jerami, rumput, daun pisang, daun tebu, dll). Salah satu alternatif yang perlu dilakukan terhadap sampah kompos yaitu merancang pembuatan mesin pencacah kompos dan menganalisis komponen yang digunakan seperti pisau pencacahnya. Mata pisau merupakan bagian komponen penting untuk melakukan proses pencacahan. Metode analisis simulasi model desain mata pisau dilakukan untuk menganalisis kinerja dari mata pisau berdasarkan kekuatan pembebanan yang diberikan. Permodelan simulasi dilakukan menggunakan software dan akan dibandingkan dengan perhitungan secara teoritis. Jenis material mata pisau adalah SS41, dan poros adalah S45C. Hasil yang diperoleh dari analisis permodelan desain menggunakan software meliputi tegangan maksimum (*von misses stress*) pada pembebanan 2,5 N untuk setiap 24 mata pisau totalnya sebesar 157 MPa, hasil displacement adalah 0,161 mm, serta hasil *safety factor* bernilai 3,05, sedangkan hasil perhitungan teoritis dari *von misses stress* adalah 168 MPa, displacement 0,03 mm, dan *safety factor* sebesar 3,18. Berdasarkan hasil nilai *safety factor* pada simulasi model mata pisau dinyatakan aman dan dapat dilanjutkan ke tahap proses manufaktur.

Kata kunci: desain mata pisau, *finite element analysis*, faktor keamanan.

Abstract

Garbage is solid waste consisting of organic and inorganic substances which are considered unusable and must be managed so as not to endanger the environment, especially to compost waste. Compost is a process of fermentation ultimate product from a pile of garbage or part of plants (straw, grass, banana leaves, sugarcane leaves, etc.). The blade is the essential component in chopping process of the compost chopper. The method analysis of the knife blade design model simulation is conducted to analyze the performance of the knife blade based on the given loading force. Modeling simulation is conducted using software-based applications and will be strengthened by theoretical comparisons. The knife blade material type is SS41, and the axle is S45C. The results obtained from the design modeling analysis using software include the maximum stress (*von misses stress*) at loading of 2.5 N for every 24 knife blades, the total is 157 MPa, the displacement result is 0.161 mm, and also the *safety factor* is 3.05, meanwhile the theoretical calculation result of *von misses stress* is 168 MPa, displacement 0.03 mm, and *safety factor* is 3.18. Based on the results of value *safety factor* analysis of knife blade design, it can be continued to the process stage manufacturing.

Keywords: blades design, *finite element analysis*, *safety factor*.

1. Pendahuluan

Sampah terdiri dari dua jenis, yaitu jenis organik dan anorganik. Rata-rata persentase bahan jenis organik sampah mencapai $\pm 57\%$ per tahun 2023, sehingga pengomposan merupakan alternatif penanganan yang sesuai [1]. Kompos merupakan produk akhir suatu proses fermentasi tumpukan sampah atau bagian dari tanaman (jerami, rumput, daun pisang, daun tebu, daun jagung, daun kesambi). Unsur yang terkandung dalam kompos adalah unsur makro dan unsur mikro yang telah terurai dan tersedia bagi tanaman [2]. Mata pisau merupakan salah satu komponen penting pada mesin pencacah pengolahan kompos. Model dari mata pisau perlu dilakukan untuk menganalisis kinerja dari mata pisau tersebut saat proses kinerja mesin tersebut dengan FEA untuk mendapatkan kekuatan struktur yang baik dengan metode elemen hingga [3].

Permodelan simulasi dilakukan menggunakan software CAE. Bentuk *meshing* pada permodelan mata pisau yaitu menggunakan *tetrahedral* dan rasio *meshing* dengan menunjang *von misses*, *displacement*, dan *safety factor* dengan variasi pembebanan [4]. Kajian ini difokuskan pada perancangan alat penghancur kotoran ternak. Metode yang digunakan adalah perhitungan numerik, simulasi menggunakan software Fusion 360, dan fabrikasi berdasarkan *Design for Manufacture and Assembly* (DFMA) [5]. Proses perancangan mesin penghancur daun kering dilakukan dengan tahapan yaitu perancangan fungsi, konsep produk dan analisis daya dan kecepatan yang terjadi pada poros menggunakan tenaga penggerak 900 sampai 1300 watt dengan hasil ukuran pencacahan sebesar 5–10 mm [6]. Kajian ini bertujuan untuk merancang mesin potong ergonomis

untuk pembuatan keripik talas semir. Mesin ini terdiri dari pemotong, kursi operator, dudukan produk, sumbu piringan pemotong, motor listrik dan sistem transmisi termasuk sabuk dan katrol. Kapasitas mesin teoritis dan aktual masing-masing adalah 47 kg/jam dan 38 kg/jam [7].

Merancang, membuat serta menguji mesin pencacah sampah organik pada poros, pisau tetap, pisau putar, rangka, casing, hopper, motor listrik serta sistem transmisi. Dengan kapasitas output sampah sebesar 70-80% [8].

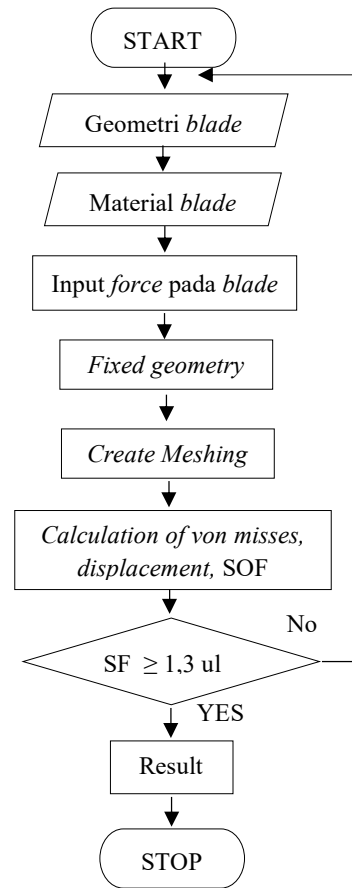
Desain, analisis, simulasi poros dan pisau pencacah mesin crushing botol plastik jenis material poros S35 C-D dan pisau S45C serta mengetahui nilai *yield strength*, *von misses*, *safety factor* pada poros dan mata pisau menggunakan software Solidwork [9].

Menganalisis model rancangan tersebut mengalami deformasi plastik atau tidak. Pada kajian ini akan dilakukan pengujian kekuatan salah satu komponen pada mesin pembuat begel yaitu penekuk menggunakan *Finite Element Method* [10].

Metodologi dalam kajian ini melalui tahapan desain permodelan *blade* tipe SS41, Dua metode perbandingan yang digunakan yaitu analisis simulasi menggunakan software Solidwork dan perhitungan secara teoritis, Simulasi model dari *blade* dilakukan untuk menganalisis kinerja dari *blade* saat beroperasi dari pembebanan yang diberikan ke *blade*. Kinerja dari *blade* ini tidak lepas dari perancangan yang dilakukan, tentu perlu dilakukan perhitungan yang detail. Hal yang perlu dipertimbangan dalam kekuatan desain adalah faktor keamanan (*safety of factor* atau SOF) [11]. Faktor keamanan yang baik memiliki nilai antara 1-10, semakin besar nilai SOF yang dihasilkan, maka desain semakin kuat, jika nilai SOF kurang dari 1 atau sama dengan 1, maka desain pada benda tersebut akan mengalami kegagalan (*failure*) [12]. Oleh karena itu, hasil akhir kajian ini yaitu untuk mengetahui *over design* pada kekuatan desain mata pisau terhadap nilai *von misses*, *displacement*, dan *safety of factor*. Output target dari hasil simulasi adalah 90% (galat *error* < 10%).

2. Metode

Konsep kajian yang akan dilakukan yaitu permodelan desain mata pisau dan uji analisis simulasi desain. Material mata pisau yang digunakan yaitu besi *plate carbon steel* SS41. Berdasarkan perancangan elemen mesin yang diperlukan yaitu poros, *belt*, *pulley*, *bearing*, motor listrik, dan mata pisau [13]. Kajian ini menggunakan metode pendekatan antara analisis simulasi dan perhitungan secara teoritis berdasarkan nilai tegangan *von misses*, *displacement*, dan *safety factor* sebagai acuan untuk memenuhi standar keamanan desain mata pisau. Tahapan kajian diperlihatkan pada Gambar 1.



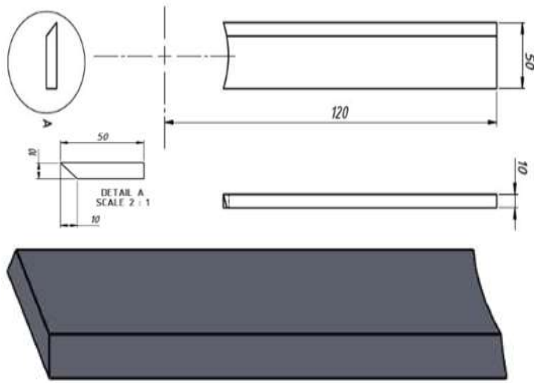
Gambar 1. Tahapan kajian.

Dimensi Desain Mata Pisau tipe SS41

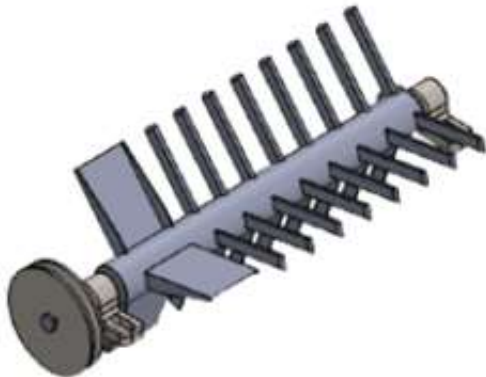
Spesifikasi ukuran mata pisau diperlihatkan pada Tabel 1 dan model desain mata pisau diperlihatkan pada Gambar 2 dan Gambar 3.

Tabel 1. Dimensi mata pisau jenis SS41.

Geometri	Ukuran	Satuan
Panjang	120	mm
Lebar	50	mm
Ketebalan	10	mm
Sudut kemiringan	10	° (degree)



Gambar 2. Geometri desain mata pisau.



Gambar 3. Desain mata pisau dengan jumlah 24.

Tabel 2. Mechanical properties mata pisau jenis plate carbon steel SS41 [14].

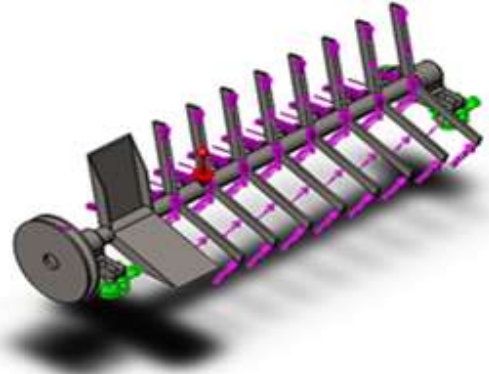
Mechanical Properties	Nilai	Satuan
Young modulus	200000	MPa
Tensile strength	650 – 880	MPa
Yield strength	350 – 500	MPa
Elongation	8 – 25	%

Data Operasi Kerja Mata Pisau

Adapun data yang digunakan dalam analisis simulasi untuk mengetahui kinerja dari desain mata pisau yang dibuat diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data operasi kerja mata pisau.

Data	Nilai	Satuan
Kecepatan putar	1342	RPM
Kapasitas cacahan	50	kg/jam
Gaya potong per blade	2,5	Newton
Torque	124,04	Nm
Centrifugal	22,3	rad/s



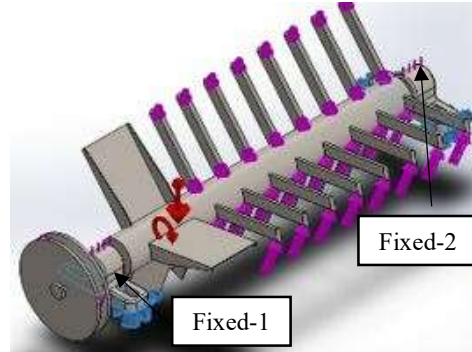
Gambar 4. Area pemberian force pada mata pisau.

Pada Gambar 4 diperlihatkan area pemberian beban gaya pada masing-masing mata pisau sebesar 2,5 N. Hasil tersebut mengacu pada perhitungan pada Persamaan 1.

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

Peletakan Fixed Geometry Desain Mata Pisau

Peletakan *fixed* atau *fixture* sebagai penahan pada objek [15]. Peletakan *fixed* dengan *entities 2 face* yang berada di permukaan rumah bearing dengan poros dan ujung poros disisi lainnya yang berjenis *fixed geometry*. Adapun peletakan *fixed* yang dilakukan diperlihatkan pada Gambar 5.



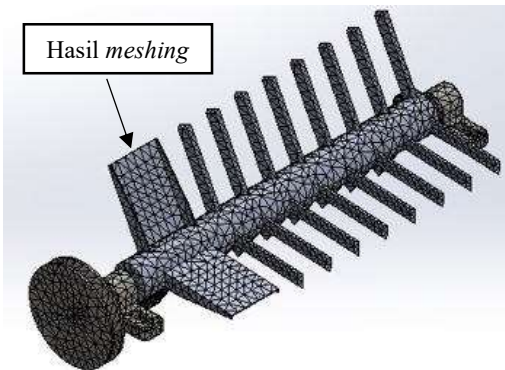
Gambar 5. Peletakan fixed pada desain.

Data pada Proses Meshing pada Mata Pisau

Data pada proses *meshing* pada mata pisau difungsikan untuk menghasilkan tingkat keakuratan hasil analisis yang dilakukan terhadap tiap titik atau *node* pada desain mata pisau. *Node* atau nodal dibuat dengan kepadatan tertentu di dalam seluruh bahan bergantung pada level *stress* atau tegangan yang akan diantisipasi pada daerah tertentu khususnya mata pisau [16]. Total *nodes* yang dilakukan pada proses *meshing* desain mata pisau adalah 24977 *nodes*. Adapun *meshing information* pada desain mata pisau diperlihatkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Data pada proses meshing pada mata pisau.

Data	Detail
Mesh type	Solid mesh
Mesher Used	Standard mesh
Mesh quality plot	High
Total Nodes	24977
Total Elements	13056
Geometry Mesh	Tetrahedral

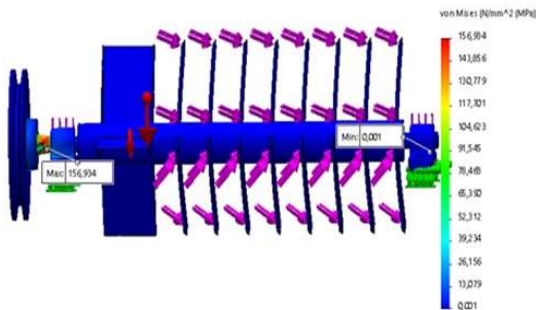


Gambar 6. Hasil proses meshing mata pisau.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil Analisis Von Misses Stress, Displacement, dan Safety Factor pada Kekuatan Desain Mata Pisau

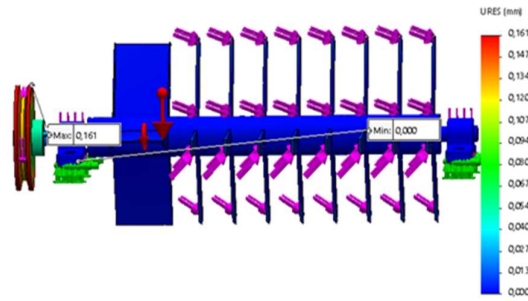
Proses analisis dilakukan dengan pembebanan 2,5 N pada setiap mata pisau, diambil satu desain mata pisau sebagai acuan dari proses analisis simulasi *software* yang menunjukkan kemampuan pembebanan mata pisau agar dapat bekerja dalam mencacah sampah kompos. Adapun hasil analisis simulasi yang didapatkan adalah sebagai berikut.



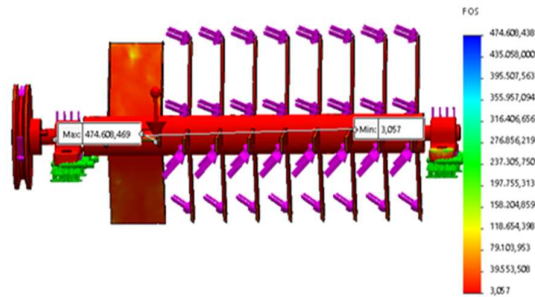
Gambar 7. Hasil analisis simulasi von misses stress [17].

Pada Gambar 7 hasil nilai *von misses stress* yang dihasilkan adalah 156,9 MPa, mengacu pada *mechanical properties* bahan SS41 pada mata pisau [16], bahwa nilai *von misses stress* yang dihasilkan tidak melebihi nilai *yield strength* pada material SS41 yaitu 500 MPa, sehingga desain *blade* tersebut memenuhi standar kekuatan desain yang baik dan nilai *displacement* yang dihasilkan tidak terlalu signifikan yaitu 0,161 mm, tidak ada deformasi atau perubahan bentuk secara elastis, sehingga tingkat

kegagalan yang terjadi sangat rendah, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Hasil analisis simulasi displacement [17].



Gambar 9. Hasil analisis simulasi safety factor [17].

Pada Gambar 9, menunjukkan hasil analisis simulasi *safety factor* pada desain mata pisau sebesar 3,057. Berdasarkan acuan nilai faktor keamanan yang diizinkan, pada sebuah desain memiliki nilai range yaitu >1,3, sehingga dari hasil simulasi *safety of factor* yang dihasilkan memenuhi standar keamanan pada kekuatan desain mata pisau yang telah dibuat, di mana semakin besar nilai *safety of factor* dari desain, maka desain akan sangat aman.

Hasil Perhitungan Teoritis Von Misses Stress, Displacement, dan Safety Factor pada Kekuatan Mata Pisau

Beberapa hasil perhitungan teoritis *von misses stress* melalui tahapan sebagai berikut [18].

Luas permukaan mata pisau (*A*) didapatkan sebesar 6000 mm² melalui Persamaan 2 berikut.

$$A = P \times L \tag{2}$$

Gaya potong mata pisau (*F*), mengacu pada Persamaan (1). Momen gaya (*M*) didapatkan sebesar 147 Nmm dengan Persamaan 3 berikut.

$$M = F \times \frac{1}{2} (\text{panjang mata pisau}) \tag{3}$$

Tegangan geser (τ_{xy}) didapatkan sebesar 0,001225 N/mm² dengan Persamaan 4 berikut.

$$\tau_{xy} = M / 2 \times A \times b \tag{4}$$

Titik Berat yang terjadi pada mata pisau, *c* = 60 mm. Momen inersia (*I*) didapatkan sebesar 1200 mm⁴ dengan Persamaan 5 berikut.

$$I = 1/3 \times (m \times l^2) \tag{5}$$

Tegangan permukaan (σ_x) didapatkan sebesar 7 MPa dengan Persamaan 6 sebagai berikut.

$$\sigma_x = (M \times c) / I \tag{6}$$

Tegangan *von mises stress* maksimal (σ_{max}) [19] didapatkan sebesar 7 MPa dengan Persamaan 7 berikut.

$$\sigma_{max} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2} \tag{7}$$

Berdasarkan hasil desain mata pisau yang digunakan pada mesin pencacah kompos berjumlah 24 mata pisau, sehingga nilai d dari tegangan *von mises stress* maksimal dikalikan dengan 24 jumlah mata pisau yang terdapat pada desain, sehingga hasil dari total tegangan maksimal (*von mises stress max*) adalah 168 MPa.

Hasil Perhitungan Teoritis Displacement

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya, didapatkan hasil sebagai berikut yang diperlihatkan pada Tabel 4 untuk menghitung nilai defleksi atau *displacement* yang terjadi pada desain mata pisau.

Tabel 4. Data untuk menghitung nilai defleksi yang terjadi pada desain mata pisau.

Parameter	Nilai	Satuan
Beban Gaya (F)	2,5	Newton
Lebar Mata Pisau (L)	50	mm
Young Modulus SS41 (E)	200000	MPa
Momen Inersia (I)	1200	mm ⁴
Tegangan luluh (<i>yield strength</i>) material SS41 Carbon Steel	500	MPa

Hasil nilai *displacement* atau defleksi gaya yang terjadi mata pisau didapatkan sebesar 0,03 mm [19], menggunakan Persamaan 8.

$$\delta = \frac{5 P.L^4}{384.E.I} \tag{8}$$

Hasil Perhitungan Teoritis Safety Factor

Kekuatan aktual (tegangan luluh/*yield strength*) material SS41 Carbon Steel adalah 500 MPa, sedangkan kekuatan yang dibutuhkan (*von mises max*) hasil analisis simulasi adalah 157 MPa, sehingga didapatkan nilai teoritis *safety of factor* sebesar 3,18 [20], menggunakan Persamaan 9.

$$\text{Faktor keamanan} = \frac{\text{Kekuatan aktual}}{\text{Kekuatan yang dibutuhkan}} \tag{9}$$

Hasil nilai faktor keamanan pada perhitungan teoritis yaitu 3,18, memenuhi standar keamanan pada desain mata pisau yaitu pada nilai > 1,3.

Hasil Galat Error Von Mises Stress, Displacement, dan Safety Factor

Berdasarkan dari hasil output simulasi yang diinginkan, bahwa nilai *over design* dan galat *error* yang terjadi adalah di bawah 10%. Berikut hasil perbandingan galat *error* yang terjadi pada analisis simulasi dengan perhitungan teoritis yang diperlihatkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan galat error analisis simulasi dan perhitungan teoritis.

Metode	Von mises (MPa)	Displacement	SOF
Simulasi FEA	157	0,161	3,057
Teoritis	168	0,03	3,18
Galat error (%)	6	4	3,7

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil kajian yang dilakukan, dapat diperoleh simpulan bahwa hasil analisis simulasi pada *software* yaitu nilai *von mises stress* adalah 157 MPa, *displacement* sebesar 0,161 mm dan *safety of factor* sebesar 3,057 yang terjadi pada pembebanan mata pisau, sedangkan hasil perhitungan teoritis *von mises stress* sebesar 168 MPa, *displacement* sebesar 0,03 mm dan *safety of factor* sebesar 3,18, sehingga nilai perbandingan galat atau *error* yang terjadi antara hasil analisis simulasi dan perhitungan teoritis dari *von mises stress* adalah 6%, *displacement* bernilai 4% dan *safety of factor* sebesar 3,7%. Berdasarkan hasil nilai *safety of factor* dari analisis simulasi dan perhitungan teoritis yang bernilai 3,05 dan 3,18, desain mata pisau memenuhi standar keamanan desain untuk permodelannya, sehingga desain mata pisau dapat dilanjutkan ke tahap proses manufaktur untuk mesin pencacah pengolahan kompos.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Tim Laboratorium CAR dan Laboratorium Gambar Teknik, Universitas Gunadarma E428 yang telah memberikan fasilitas dan kepada semua pihak atas dukungan serta saran dan masukan dalam pelaksanaan kajian.

Daftar Pustaka

[1] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia (KLHK). https://www.menlhk.go.id/site/single_post/5308, diakses 27 Februari 2023.

[2] Susanto, D. S. Hut., et.al, 2018. *Buku Panduan Pembuatan Pupuk Tricoderma, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO)* dan Fakultas Kehutanan Universitas Gadjah Mada (UGM).

[3] Abambres, M, & Arruda, M, 2016. *Finite Element Analysis of Steel Structures – A Review of*

- Useful Guidelines*. International Journal of Structural Integrity, Vol.7 .8, 490-515.
- [4] Pranoto, S.H., Yatnikasari, s., Noor, A.M., Yaqin, R., 2020. “Desain dan Analisis Mata Pisau Pencacah Untuk Pengolahan Sampah Plastik Menggunakan Finite Element Analysis”. *Jurnal Infotekmesin*, vol 11. 2, 147 – 152.
- [5] Zainal Arifin, Singgih Dwi Prasetyo, Teguh Triyono, Catur Harsito, Endang Yuniastuti, 2020. “Rancang bangun mesin pencacah limbah kotoran sapi”. *Jurnal Rekayasa Mesin*, Universitas Brawikaya, vol 11. 2, 187 – 197.
- [6] Sutrisna, A., Dedikarni, S., Raharjo, J., 2019. “Design of dry leaves shredder machine using five blades”, *Journal Renewable Energy & Mechanics (REM)*, vol 2 .2, 66 -80.
- [7] Wahyu K. Sugandi, Asep Yusuf, Ahmad Thoriq, 2017. “Rancang bangun mesin pengiris talas semir”, *Jurnal Rekayasa Mesin*, Universitas Brawijaya, vol 8. 2, 67 – 74.
- [8] Noviyanti, N, Dani, S, Sopan, S, & Nicholas, R, 2019. Rancang Bangun Mesin Pencacah Sampah Organik Rumah Tangga. *Jurnal Rekayasa Hijau*, Vol. 3. 3, 169-178.
- [9] Hartanto, J. Sedyono, T. Tjahjono, 2016. “Desain dan analisa mesin crushing botol plastik bekas untuk industri kecil dengan menggunakan simulasi”. Surakarta : Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [10] M, Ghifari F, Widianoro, H, Zainuddin, 2022. Analisis Elemen Hingga Bagian Penekuk pada Mesin Pembuat Begel Baja Tulangan 8 mm. *Jurnal Suara Teknik*, Vol. 13. 1, 6-11.
- [11] Wibawa, L, & Himawanto, D., 2018. Analisis Ketahanan Beban Dinamis Material Turbin Angin Terhadap Kecepatan Putar Rotor (Rpm) Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Simetris*, vol 9. 2, 803–808.
- [12] Aji Abdillah, K, Ahmad Fadel, G, Irvan, S.P, 2021. Desain Dan Analisis Kekuatan Tangki Fire Water Storage Tank Tipe Fix Cone Roof Kapasitas 1500 KL Dengan Perhitungan Aktual Dan Simulasi Software. *Jurnal Ilmiah Teknologi dan Rekayasa*, Vol 26. 1, 69-78.
- [13] Sularso, K. Suga, 1978. *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- [14] Henan BBN Steel co.,ltd. (2022, Desember 10). [Online]. Available : <http://www.bbnsteelplate.com/news/JIS-G3101-SS41-steel-plate.html> diakses 5 Januari 2023.
- [15] SolidWorks Corporation, 2015. *Introducing Solidwroks*. USA : DS Solidworks.
- [16] Febrinaldy, B, 2007. *Finite Element Models and Verfications Using MSC Patran/Nastran*. Bandung : Creative Creature Corporation.
- [17] Dassault System. (2022, Desember 22). [Offline]. Available : <https://www.solidworks.com/>
- [18] Aji Abdillah, K, M, Erlian, 2020. Analisis Kegagalan pada Rangka Mesin Perontok Padi Kapasitas 1 Ton/Jam Menggunakan Metode Von Misses. *Jurnal Rekayasa Mesin*, Vol 20. 2, 13-18.
- [19] G. Pahl, W. Beitz. 1996. *Engineering Design, Second Edition*. London : Springer.
- [20] Popov, E.P, 1984. “Mekanika teknik (*Mechanic of Material*), *second edition*”. Berkeley : University of California.