

## Studi Pengaruh Variasi Bentuk Mata Pisau Pada Mesin Pemotong Rumput Dengan Simulasi Solidworks

### *Study Of The Effect Of Blade Shape Variations On Lawn Mower With Solidworks Simulation*

Moh. Febri<sup>1</sup>, Mojibur Rohman<sup>2\*</sup>, Ratna Fajarwati Meditama<sup>3</sup>,  
Bella Cornelia Tjiptady<sup>4</sup>

<sup>1, 2\*, 3, 4</sup>Program studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknologi,  
Universitas Islam Raden Rahmat, Malang, Indonesia

Email: <sup>1</sup> [feb.moh1996@gmail.com](mailto:feb.moh1996@gmail.com), <sup>2\*</sup> [mujiburrohman1988@gmail.com](mailto:mujiburrohman1988@gmail.com)  
<sup>3</sup> [ratna.fajarwati@uniramalang.ac.id](mailto:ratna.fajarwati@uniramalang.ac.id), <sup>4</sup> [bella\\_tjiptady@uniramalang.ac.id](mailto:bella_tjiptady@uniramalang.ac.id)

#### Abstrak

Rumput adalah tanaman yang mudah dijumpai. Namun untuk memotong rumput masih menggunakan sabit. Maka diperlukan inovasi mesin pemotong rumput. Penelitian ini membuat desain mata pisau yang aman. Metode pengambilan data, mendesain variasi mata pisau, kemudian diberikan beban 650N dengan material *plain carbon steel*, melihat *stress*, *displacement* dan *factor of safety*. Berdasarkan hasil analisa pengaruh variasi pisau yaitu, Pengujian jajar genjang 1sisi dengan *force* 650N hasil *stress* 232,9N/mm<sup>2</sup>(MPa), *displacement* 0,22mm, dan *factor of safety* 2,84, pengujian 2sisi hasil *stress* 231,4N/mm<sup>2</sup>(MPa), *displacement* 0,28mm, dan *factor of safety* 2,86. Pengujian persegi panjang 1sisi hasil *stress* 203,9N/mm<sup>2</sup>(MPa), *displacement* 0,23mm, dan *factor of safety* 3,25, pengujian 2sisi hasil *stress* 201,2N/mm<sup>2</sup>(MPa), *displacement* 0,231mm, dan *factor of safety* 3,29. Pengujian trapesium 1sisi hasil *stress* 244,1N/mm<sup>2</sup>(MPa), *displacement* 0,24mm, dan *factor of safety* 2,71, pengujian 2sisi hasil *stress* 233,4N/mm<sup>2</sup>(MPa), *displacement* 0,239mm, dan *factor of safety* 2,83. Kesimpulan dari penelitian ini dapat dipilih dalam pembuatan mata pisau adalah persegi panjang

**Kata kunci :** Mata Pisau, *Solidworks*, Inovasi, Variasi Mata pisau, kinerja.

#### Abstract

Grass is an easy plant to find. But to mow the grass still use a sickle. Then we need innovation lawn mowers. This research makes a safe blade design. Data collection method, designing a variation of the blade, then given a load of 650N and the material *plain carbon steel*, sees *tress*, *displacement* and *safety* factors. According to analysis result of knife variations effect, namely, 1-sided parallelogram test with *force* 650N yield *stress* 232,9N/mm<sup>2</sup>(MPa), *displacement* 0.22mm, and *factor of safety* 2.84, 2-sided testing results *stress* 231,4N/mm<sup>2</sup>(MPa), *displacement* 0.28mm, and *factor of safety* 2.86. Testing the 1-sided rectangle results *stress* 203,9N/mm<sup>2</sup>(MPa), *displacement* 0,23mm, dan *factor of safety* 3.25, 2-sided testing results *stress* 201.2 N/mm<sup>2</sup>(MPa), *displacement* 0.231mm, and *factor of safety* 3,29. Trapezoid test 1-sided results *stress* 244,1N/mm<sup>2</sup>(MPa), *displacement* 0.24mm, and *factor of safety* 2.71, 2-sided testing results *stress* 233,4N/mm<sup>2</sup>(MPa), *displacement* 0,239 mm, dan *factor of safety* 2.83. The conclusion from this research can be chosen in making the blade is rectangular.

**Keywords:** Blade Edge, Solidworks, Innovation, Blade Variation, performance.

## 1. PENDAHULUAN

Rumput merupakan jenis tanaman sering dijumpai dan dapat tumbuh bebas secara alami tanpa melalui bantuan tangan manusia (Enyoghasi & Badurdeen, 2021). Sering kali tanaman ini dianggap sebagai hama atau tanaman yang mengotori pekarangan rumah, lahan pertanian, dan lapangan sepak bola (Nawir et al., 2023). Ada beberapa jenis rumput yang sering kita temui yakni rumput jepang, rumput teki, rumput swiss, rumput manila, rumput babat, rumput peking, ilalang dan rumput gajah (Choong et al., 2020). Namun ada jenis rumput yang sengaja di tanam untuk kebutuhan pakan ternak yakni jenis rumput gajah yang mengandung nutrisi tinggi bagi ternak seperti sapi, gajah, dan kambing. Mesin pemotong rumput biasanya bersumber dari energi listrik maupun dari bahan bakar atau sering kita sebut motor bakar 4 *stroke* dan 2 *stroke* (Craig et al., 2020). Namun sepertinya masih belum ada memperhatikan dalam segi keamanan desain mata pisaunya (Fonte et al., 2019). Kali ini penulis akan mensimulasikan mata pisau pada *software solidworks* dengan menganalisis kinerja mata pisau terhadap *stress*, *displacement* dan *factor of safety* (Kamble et al., 2020). Namun butuh banyak penelitian lebih lanjut untuk membuat mata pisau potong rumput dengan desain yang aman melalui studi pengaruh variasi bentuk mata pisau dengan media perangkat lunak menggunakan *software solidworks premium 2013*, yakni dengan cara merencanakan desain mata pisau, dan pengambilan data, yang akan dibuat sesuai dengan keinginan. Untuk itu desain pisau pemotong rumput, tentunya masih membutuhkan pengembangan lebih lanjut agar mendapatkan hasil yang maksimal (Tjiptady et al., 2020).

Peneliti menggunakan literatur sebagai kajian pustaka, pada penelitian ini penulis memakai aplikasi *Solidworks* untuk menganalisis hubungan kontruksi statis. Maka penulis melakukan analisis pada penelitian terdahulu. Riset ini bertujuan guna mengenali pengaruh ketajaman mata pisau dikala mesin pemotong rumput digunakan guna mengenali hasil pemotong dari kedua tipe mata pisau. Prosedur pengujian memakai 2 kategori mata pisau yang berbeda serta pengujian dicoba dengan metode satu persatu guna mendapatkan hasilnya masing masing. Rumusan permasalahan dari riset ini ialah bagaimana pengaruh alterasi wujud mata pisau pada hasil pemotongan rumput dengan putaran mesin 1500 rpm, 2000 rpm, serta 2500 rpm mampu memperoleh berapa jarak pemotongan. Berdasarkan hasil pengujian sejumlah 3 kali pengetesan untuk pemotongan mata pisau yang ada dipasaran serta mata pisau merubah bentuk bilahnya.

Berdasarkan hasil penelitian tentang analisa simualsi numerik kekuatan mata pisau mesin pencacah sampah organik kapasitas 100 kg/jam menggunakan aplikasi *solidworks* (Siva et al., 2020). Dalam penelitian ini dilakukan simulasi numerik pada mata pisau mesin pencacah sampah *organic* dengan menggunakan *software solidworks*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan mata pisau pada mesin yang digunakan agar mendapatkan kualitas bahan dan mata pisau kuat saat diberi pembebanan. Analisa numerik pembebanan mata pisau ini menggunakan aplikasi *solidworks* sebagai solusi simulasi perhitungannya (Kampker et al., 2019). Dan dari hasil simulasi diperoleh total *stress* 1 akibat pembebanan = Max 5,414e+08 (n/m<sup>2</sup>), *displacement* 1 akibat pembebanan = Max 1,327e+01 (mm), equivalent strain akibat pembebanan = Max 1,830e-03 (mm), Faktor keamanan (*factor of safety/fos/sf*) pembebanan = minimal mencapai 3 perhitungan mata pisau ini difokuskan pada seluruh mata pisau dengan pemberian pembebanan 100 kg/jam. Dari hasil pembebanan mata pisau diperoleh bahwa mata pisau aman untuk menerima pembebanan 100 kg/jam dengan profil mata pisau menggunakan jenis bahan AISI 1045. Analisa pembebanan juga aman dengan system penyambung.

(Kumar et al., 2019) pada penelitiannya analisis *stress von misses*, *displacement*, dan *factor of safety*. Poros mesin pengiris bekerja dengan menerima beban lentur, tarikan, tekan serta punter (Lu et al., 2020). Dari hasil rancangan poros terdiri dari poros transmisi, gandar, poros spindle dimana poros hendak menerima beban punter terus-menerus, beban lentur serta keduanya. Pada *analysis* kekuatan poros mesin pengiris akan diberikan beban sebesar = 58, 86 N, serta momen torsi 5886 Nm. Gaya serta torsi yang telah ditetapkan sehingga mendapati hasil yang optimal dari pengujian *stress* 4467 N/ mm<sup>2</sup>(Mpa), titik luluh optimal 8, 15 mm, serta nilai *factor of safety* 1,8.

Tujuan dari penelitian yang dilakukan disini adalah untuk mengetahui bagaimana cara perencanaan desain dan simulasi pengujian mata pisau dengan menggunakan *Solidworks*. Selain itu tujuan penelitian ini juga untuk mengetahui bagaimana pengaruh variasi bentuk mata pisau terhadap *stress*, *displacement* dan *factor of safety* dan kinerja mata pisau. Dan yang terakhir yakni membuat desain mata pisau pemotong rumput dengan desain yang aman, sehingga dapat mempermudah pekerjaan agar lebih cepat.

## 2. METODE

Penulis melakukan penelitian ini pada bulan September 2022 sampai dengan Januari 2023 bertempat di Laboratorium UNIRA Malang Program Studi Teknik Mesin dan pengambilan data menggunakan aplikasi *software solidworks*. Penulis juga menggunakan laptop, mistar sorong, printer, kertas, dan jaringan internet sebagai alat dan bahan penelitian.

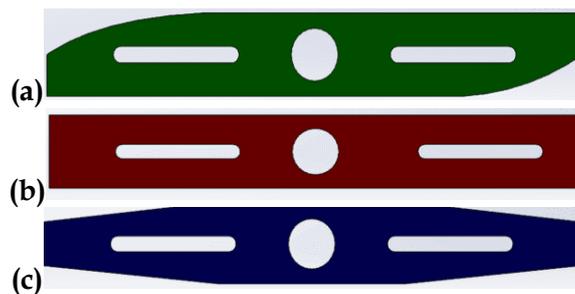
### A. Variabel Penelitian

Dimensi mata pisau dan pemilihan material bahan yang digunakan untuk menentukan dimensi mata pisau ukuran akan disamakan dengan yang ada dipasaran, dan pemilihan material bahannya (Ma et al., 2020). Desain Mata Pisau atau jenis- jenis mata pisau yang digunakan untuk memotong rumput adalah jenis *Blade* Mata Pisau model Jajar Genjang, Pisau model Persegi Panjang, Pisau model Trapesium. Maka dimensi spesimen dan material dapat dilihat pada tabel 1.1

Tabel 1. Dimensi Spesimen Mata Pisau

Jenis Mata Pisau	Material Bahan	Ukuran Dimensi Pisau P x L (mm)	Ketebalan pisau (mm)
Model Jajar Genjang	<i>Carbon Steel</i>	290 x 40	2
Model Persegi Panjang	<i>Carbon Steel</i>	290 x 40	2
Model Trapesium	<i>Carbon Steel</i>	290 x 40	2

### B. Desain Mata Pisau



Gambar 1. Desain Mata Pisau (a) Jajar Genjang, (b) Persegi Panjang, (c) Trapesium

### C. Desain Simulasi Analisis *Solidworks*

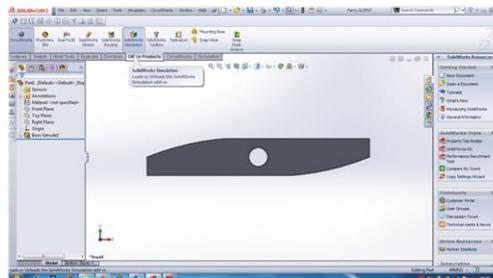
Analisis yang dipakai yaitu metode elemen hingga ( FEM) ialah untuk menganalisa kekuatan desain pisau pemotong rumput menurut pemilihan material serta gaya yang di peroleh (Tjiptady et al., 2021). Secara khusus proses analisis dengan menggunakan *Software Solidworks* dengan fitur *Simulation Xpress* ialah sebagai berikut:

1. Tahap awal adalah dengan cara membuka *Softwore solidworks*, dengan memilih *shortcut* dari program *solidworks*. Setelah program terbuka, langkah selanjutnya arahkan *cursor* pada menu *file* guna mencari *file* yang dituju atau pada tombol CTRL + O.



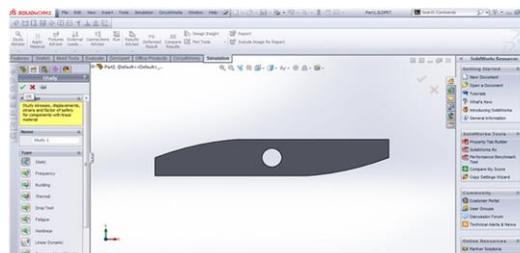
Gambar 2. Memilih *Shortcut* dari Program *SolidWorks*

2. Jika *file* sudah terbuka maka pilih menu "*solidwords add-ins*" menuju "*solidworks simulation*" hingga terlihat "*simulation*" arahkan kekanan pada menu "*solidworks add-in*". lihat pada pada gambar.



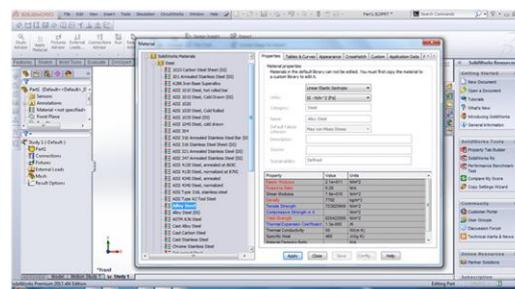
Gambar 3. *Solidworks Simulation*

3. Kemudian *cursor* diarahkan ke atas, serta klik "*Study Advisor*". Maka dapat terlihat 2 pilihan menu, langsung saja klik "*New Study*" dan pilih atu klik *static* untuk memulai pengujian material.



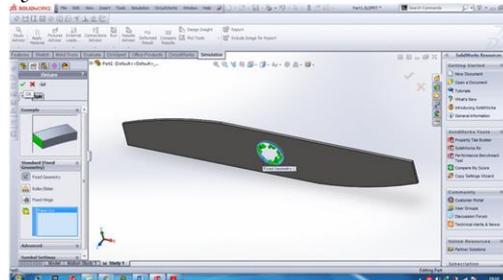
Gambar 4. Menu *New Study*

4. Pemilihan material



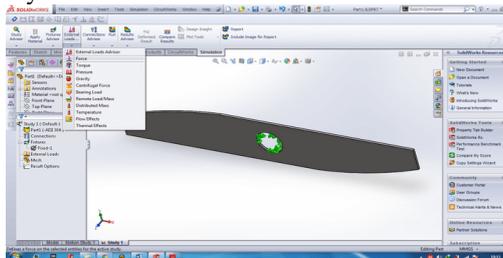
Gambar 5. Memilih Material Yang Digunakan

5. Menentukan letak *geometry*.



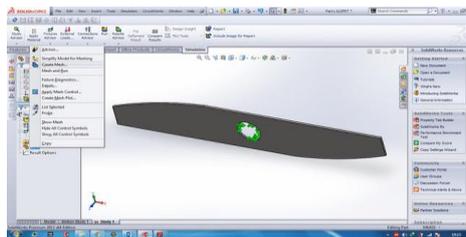
Gambar 6. Menentukan Letak *Geometry*

6. Tahap selanjutnya adalah pemberian beban pada material uji dengan beban yang telah ditetapkan pada analisisnya.



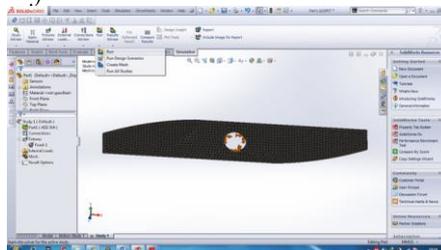
Gambar 7. Pemberian beban material

7. Jadi sebelum melakukan prosedur *analysis*, lakukan *meshing* untuk mengetahui fraktur bahan



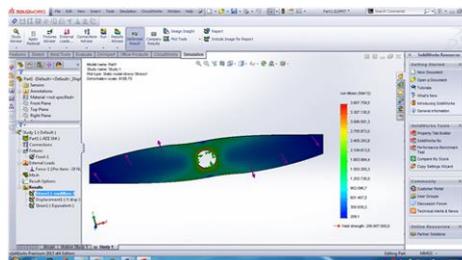
Gambar 8. *Meshing*

8. Memilih Menu *Run This Study*.



Gambar 9. Memilih Menu *Run This Study*

9. Proses Hasil Analisis



Gambar 10. Tampilan Hasil Analisis

**D. Cara Pengambilan Data**

Pengambilan data dilakukan dengan melihat hasil *stress*, *displacement* dan *factor of safety* (Schuh et al., 2020). Proses simulasi harus mendapatkan desain pisau dengan baik. Cara melihat hasilnya adalah menggunakan aplikasi *Solidworks AnalysisXpress premium 2013*.

Adapun untuk mencari hasil data penelitian lebih mudah yakni, ditunjukkan pada tabel. 2

Tabel 2. Pengambilan Data.

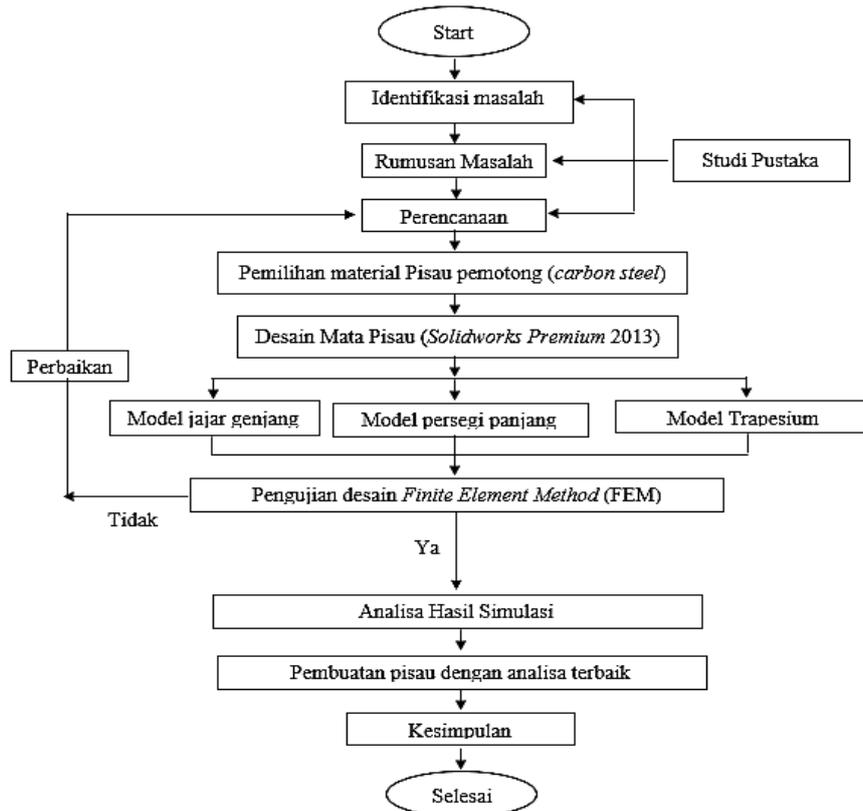
Variasi Pisau	Beban (N)	Simulatoin Xpres Analysis SolidWorks					
		Stress N/mm2 (MPa)		Displacement (mm)		Factor Of Safety	
		1 sisi	2 sisi	1 sisi	2 sisi	1 sisi	2 sisi
Model Jajar Genjang							
Model Persegi Panjang							
Model Trapesium							
Standar yang diijinkan							

**E. Analisisa Data**

Pada tahap ini hasil dari simulasi statik akan di analisis dengan menggunakan bantuan *software Solidworks* sebagai salah satu untuk melakukan analisis terhadap pengaruh variasi bentuk mata pisau. Objek penelitian dilakukan mendesain pisau dengan ukuran yang telah dibuat, serta data yang diperoleh digunakan sebagai desain pada *software Solidworks*. Maka Selanjutnya diberikan perlakuan pada material serta beban, kemudian menganalisis dan membuka *software Solidworks Premium 201* digunakan melihat nilai *stress*, *displacement* serta *factor of safety*. Hasil analisis dibuat pembahasan, serta dibuat perbandingan. Pada hasil *analysis* yang dilakukan oleh penulis, maka dapat dibuat kesimpulan, nilai dari *stress*, *displacement* dan *factor of safety* ketika diberi pembebanan. Kemudian desain terbaik disarankan untuk diaplikasikan dalam pembuatan mata pisau mesin pemotong rumput. Dari hasil analisis penelitian ini dipakai seperti bahan rujukan kajian ilmiah mengenai analisis desain mata pisau yang aman dan menjadi acuan dalam pembuatan atau pengembangan mata pisau mesin pemotong rumput.

**F. Alur Kerangka Operasional**

Penulis melakukan proses pengerjaan desain pembuatan mata pisau dan pengambilan data, pada mesin pemotong rumput tentunya ada alur yang harus dikerjakan terlebih dahulu agar memudahkan dan membuat *flowchartnya*, dari proses pembuatan desain mata pisau hingga penelitian pengaruh variasi bentuk mata pisau sampai selesai, yang ditunjukkan pada Gambar 1.11



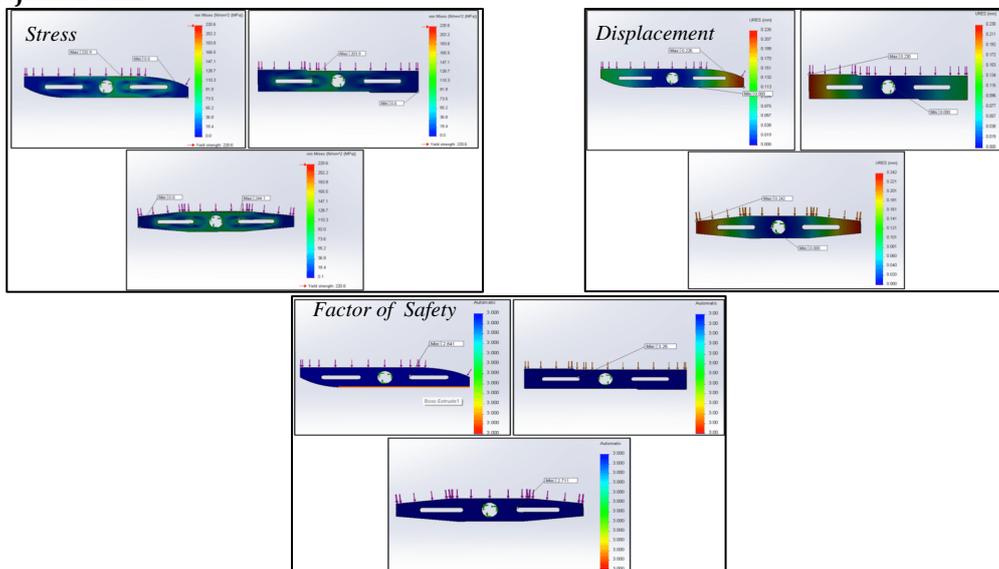
Gambar 11. flowchart Desain Pisau Mesin Pemotong Rumput

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Program Studi Teknik Mesin Fakultas SAINTEK Universitas Islam Raden Rahmat Malang (UNIRA MALANG), penelitian disini meliputi desain variasi bentuk mata pisau, dan pengujian mata pisau dengan analisa *Finite Element Method (FEM)* menggunakan bantuan *Software Solidworks*. Kemudian desain terbaik diaplikasikan dalam pembuatan mata pisau mesin pemotong rumput.

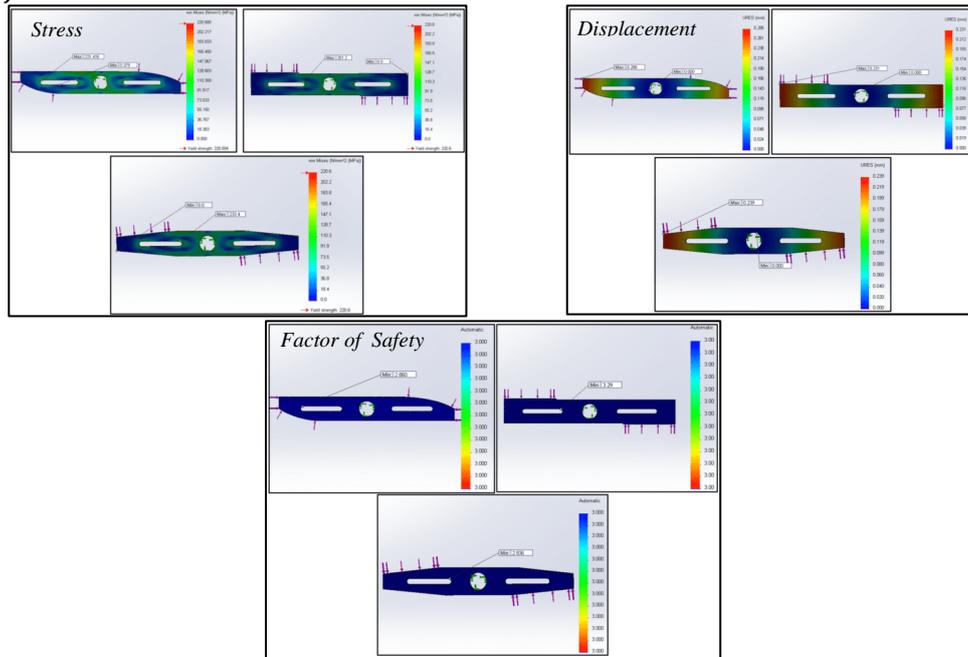
#### A. Analisa *Finite Element Method (FEM)*

##### a. Pengujian 1 sisi



Gambar 12. Pengujian 1 sisi Stress, Displacement, dan Factor Of Safety

**b. Pengujian 2 Sisi**



Gambar 13. Pengujian 1 sisi Stress, Displacement, dan Factor Of Safety

**B. Hasil Analisa**

Tabel 3. Hasil Analisa Data

*Simulation Xpress Analysis Solidworks*

Variasi Pisau	Beban (N)	Stress N/mm <sup>2</sup> (Mpa)		Displacement (mm)		Factor Of Safety	
		1 sisi	2 sisi	1 sisi	2 sisi	1 sisi	2 sisi
Model Jajar Genjang	650	232,9	231,4	0,226	0,285	2,84	2,84
Model Persegi Panjang	650	203,9	201,2	0,23	0,231	3,25	3,29
Model Trapesium	650	244,1	233,4	0,242	0,239	2,71	2,83
Standar yang diijinkan		220,6				3	

Hasil analisis ini dapat digunakan sebagai desain mata pisau yang aman dan menjadi acuan dalam pembuatan mata pisau mesin pemotong rumput. Penulis melakukan perbandingan pada variasi mata pisau antara lain sebagai berikut.

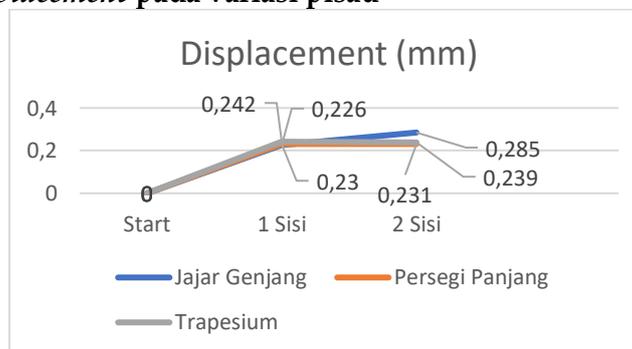
1. Perbandingan, *Stress* pada variasi pisau



Gambar 14. Grafik *Stress* Pada Variasi Mata Pisau

Pada grafik didapatkan tegangan maksimum untuk sisi 1 model trapesium sejumlah 244,1 N/mm<sup>2</sup> (MPa), serta minimum untuk model persegi panjang sejumlah 203,9 N/mm<sup>2</sup> (MPa). Sedangkan tegangan maksimum untuk 2 sisi model trapesium sejumlah 233,4 N/mm<sup>2</sup> (MPa), serta minimum untuk model persegi panjang sejumlah 201,2 N/mm<sup>2</sup> (MPa). Maka mata pisau yang memiliki tegangan yang dianjurkan pada 1 sisi dan 2 sisi yang dapat dipilih adalah mata pisau persegi panjang.

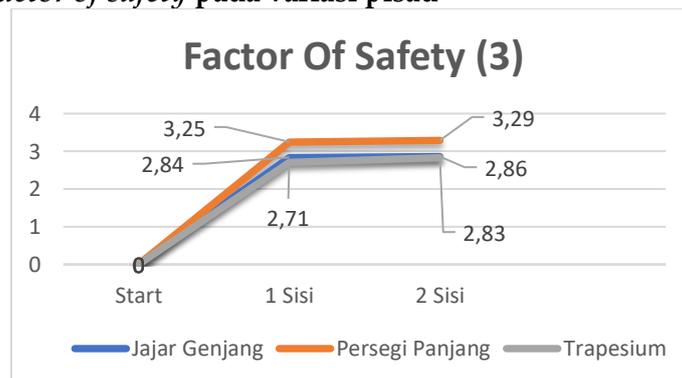
2. Perbandingan *Displacement* pada variasi pisau



Gambar 15. Grafik *Displacement* Pada Variasi Mata Pisau

Pada grafik didapatkan *displacement* maksimum untuk sisi 1 model trapesium sejumlah 0,242 mm dan tminimum untuk model jajar genjang sejumlah 0,226 mm. Sedangkan *displacement* maksimum untuk 2 sisi model jajar genjang sejumlah 0,285 mm, serta minimum untuk model persegi panjang sejumlah 0,231 mm. Maka mata pisau yang memiliki *displacement* yang dianjurkan pada 1 sisi dan 2 sisi yang dapat dipilih adalah mata pisau persegi panjang.

2. Perbandingan *Factor of safety* pada variasi pisau



Gambar 16. Grafik *Factor of safety* Pada Variasi Mata Pisau

Dari grafik di atas diperoleh *Factor of safety* tertinggi pada sisi 1 pisau persegi panjang sebesar 3,25, dan terendah pada trapesium sebesar 2,71. Sedangkan *Factor of safety* tertinggi pada 2 sisi pisau Persegi panjang sebesar 3,29, dan terendah pada pisau trapesium sebesar 2,83. Maka mata pisau yang memiliki *Factor of safety* yang dianjurkan pada 1 sisi dan 2 sisi yang dapat dipilih adalah mata pisau persegi panjang.

Jadi hasil analisis desain terbaik yang disarankan untuk diaplikasikan dalam pembuatan mata pisau mesin pemotong rumput adalah pada variasi bentuk mata pisau persegi panjang, karena pada pengujian *stress*, *displacement*, dan *factor of safety* sudah memenuhi standar dan aman pada penggunaan bahan material pisau *plain carbon steel* dibandingkan dengan desain mata pisau jajar genjang dan trapesium.

Hasil temuan ini dipilih melalui irisan sangat rata serta rapih ialah mata pisau bawaan dari visual maksimum rumput, kerapian serta besar dimensi irisan lebih luas serta irisan paling minimum adalah 6 cm. Dari penelitian lain yang dilakukan oleh (Lu et al., 2020) ditemukan hasil pembebanan mata pisau diperoleh bahwa mata pisau aman untuk menerima pembebanan 100kg/jam dengan profil mata pisau yang menggunakan jenis dari bahan AISI 1045. Analisa pembebanan juga aman dengan system penyambung. Penelitian yang dilakukan oleh (Seloane et al., 2020) juga menunjukkan hasil pemotongan rumput dengan menggunakan putaran mesin antara 1500 rpm, 200 rpm, serta 2500 rpm serta memperoleh celah pemotongan setelah melakukan sejumlah 3 kali pengetesan untuk pengetesan pemotongan mata pisau yang ada dipasaran serta mata pisau merubah bentuk bilahnya.

### 3. KESIMPULAN DAN SARAN

#### Kesimpulan

Berdasarkan hasil perencanaan desain variasi bentuk mata pisau jajar genjang, persegi panjang, dan trapesium dengan ukuran keseluruhan pisau yaitu dengan panjang 290 mm, lebar 40 mm dan tebal plat 2 mm, gambar desain mata pisau bisa dilihat pada lampiran. Bahan yang digunakan untuk membuat mata pisau adalah *plain carbon steel* dengan *yield stress* 220,6 N/mm<sup>2</sup>(MPa), dan *Factor of safety* dengan nilai 3 pada *Simulation Xpress Analysis SolidWorks* 2013. Berdasarkan hasil analisa pada pengaruh variasi bentuk mata pisau yaitu:

Pisau model Jajar Genjang ada dua variabel pengujian yakni pengujian 1 sisi dengan pembebanan (*Force*) 650 N menghasilkan *Stress* 232,9 N/mm<sup>2</sup>(MPa), *Displacement* 0,226 mm, dan *Factor of safety* 2,84. Dan pengujian 2 sisi dengan pembebanan (*Force*) 650 N menghasilkan *Stress* 231,4 N/mm<sup>2</sup>(MPa), *Displacement* 0,285 mm, dan *Factor of safety* 2,86.

Pisau model Persegi Panjang ada dua variabel pengujian yakni pengujian 1 sisi dengan pembebanan (*Force*) 650 N menghasilkan *Stress* 203,9 N/mm<sup>2</sup>(MPa), *Displacement* 0,230 mm, dan *Factor of safety* 3,25. Dan pengujian 2 sisi dengan pembebanan (*Force*) 650 N menghasilkan *Stress* 201,2 N/mm<sup>2</sup>(MPa), *Displacement* 0,231 mm, dan *Factor of safety* 3,29.

Pisau model Trapesium ada dua variabel pengujian yakni pengujian 1 sisi dengan pembebanan (*Force*) 650 N menghasilkan *Stress* 244,1 N/mm<sup>2</sup>(MPa), *Displacement* 0,242 mm, dan *Factor of safety* 2,71. Dan pengujian 2 sisi dengan pembebanan (*Force*) 650 N menghasilkan *Stress* 233,4 N/mm<sup>2</sup>(MPa), *Displacement* 0,239 mm, dan *Factor of safety* 2,83.

Jadi dari hasil pengujian pada Analisa *Finite Element Methode* (FEM) dengan menggunakan *software solidworks* 2013 dapat di tarik kesimpulan yang sesuai dan disarankan untuk diaplikasikan dalam pembuatan pisau adalah tipe model Persegi Panjang. Karena pada pengujian *stress, displacement dan factor of safety* jenis pisau ini tidak melebihi nilai ambang batas yang di tentukan dengan jenis material bahan *plain carbon steel* dibandingkan dengan jenis variasi bentuk mata pisau jajar genjang dan trapesium.

### Saran

Membuat studi terkait desain mata pisau mesin pemotong rumput yang dibuat lebih kuat dan aman untuk memperoleh hasil yang makin optimal. Menganalisa dengan menggunakan program atau *software* lain, terkait desain mata pisau pada mesin pemotong rumput, yaitu meliputi pengujian *stress, displacement, dan factor of safety*, sehingga dapat dijadikan faktor perbandingan dengan *Software* desain teknik lainnya.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti menyampaikan kata terima kasih pada teman-teman yang sudah mendukung penelitian ini. Kepada kepala Lembaga yang telah mensupport penelitian ini sehingga penelitian dapat terselesaikan dengan baik.

### DAFTAR RUJUKAN

- Choong, G. Y. H., Canciani, A., & Defocatiis, D. S. A. (2020). An Adaptable Flexural Test Fixture for Miniaturised Polymer Specimens. *Polymer Testing*, 85, 106430. doi:10.1016/j.polymertesting.2020.106430
- Craig, O., Picavea, J., Gameros, A., Axinte, D., & Lowth, S. (2020). Conformable Fixture Systems With Flexure Pins For Improved Workpiece Damping. *Journal of Manufacturing Processes*, 50, 638–652. doi:10.1016/j.jmapro.2019.12.045
- Enyoghasi, C., & Badurdeen, F. (2021). Industry 4.0 for sustainable manufacturing: Opportunities at the product, process, and system levels. *Resources, Conservation and Recycling*, 166, 105362. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105362>
- Fonte, M., Reis, L., Infante, V., & Freitas, M. (2019). Failure Analysis of Cylinder Head Studs of a Four Stroke Marine Diesel Engine. *Engineering Failure Analysis*. doi:10.1016/j.engfailanal.2019.03.026
- Kamble, V. D., & Mathew, A. T. (2020). Brief Review of Methodologies for Creation of Cohesive Fixture Design. *Materials Today: Proceedings*, 22, 3353–3363. doi:10.1016/j.matpr.2020.04.285
- Kampker, A., Bergweiler, G., Hollah, A., Lichtenthäler, K., & Leimbrink, S. (2019). Design and Testing of The Different Interfaces In A 3D Printed Welding Jig. *Procedia CIRP*, 81, 45–50. doi:10.1016/j.procir.2019.03.009
- Kumar, S., Campilho, R. D. S. G., & Silva, F. J. G. (2019). Rethinking Modular Jigs' Design Regarding the Optimization of Machining Times. *Procedia Manufacturing*, 38, 876–883. doi:10.1016/j.promfg.2020.01.169

- Lu, R., Li, Y.-C., Li, Y., Jiang, J., & Ding, Y. (2020). Multi-agent Deep Reinforcement Learning Based Demand Response for Discrete Manufacturing Systems Energy Management. *Applied Energy*, 276, 115473. doi:10.1016/j.apenergy.2020.115473
- Ma, S., Zhang, Y., Yang, H., Lv, J., Ren, S., & Liu, Y. (2020). Data-driven Sustainable Intelligent Manufacturing Based on Demand Response for Energy-Intensive Industries. *Journal of Cleaner Production*, 123155. doi:10.1016/j.jclepro.2020.123155
- Nawir, H., Djalal, M. R., Hasri, A. A., & Fauziah, A. W. (2023). Modification of the Vertical Axis with Variations in the Number of Blades of the Savonius Wind Turbine. *Journal of Advanced Technology and Multidiscipline*, 2(1), 1-9. <https://doi.org/10.20473/jatm.v2i1.40610>
- Schuh, G., Bergweiler, G., Lichtenthäler, K., Fiedler, F., & Puente, R. S. (2020). Topology Optimisation and Metal Based Additive Manufacturing of Welding Jig Elements. *Procedia CIRP*, 93, 62-67. doi:10.1016/j.procir.2020.04.066
- Seloane, W. T., Mpofu, K., Ramatsetse, B. I., & Modungwa, D. (2020). Conceptual Design of Intelligent Reconfigurable Welding Fixture for Rail Car Manufacturing Industry. *Procedia CIRP*, 91, 583-593. doi:10.1016/j.procir.2020.02.217
- Siva, R., Siddardha, B., Yuvaraja, S., & Karthikeyan, P. (2020). *Improving the productivity and tool life by fixture modification and renishaw probe technique. Materials Today: Proceedings*, 24, 782-787. doi:10.1016/j.matpr.2020.04.386
- Tjiptady, B. C., Rahman, R. Z., Meditama, R. F., & Widayana, G. (2021). Jig and Fixture Redesign for Making Reamer on Head Cylinder. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, 9(1), 32-41.
- Tjiptady, B. C., Rohman, M., Sudjimat, D. A., & Ratnawati, D. (2020). Analisis tegangan, deformasi, dan retak pada gas turbine blade dengan metode elemen hingga. *Jurnal Taman Vokasi*, 8(2), 47-54.