

ANALISA FAKTOR KEAMANAN PADA DESAIN ALAT DIE CUT MENGGUNAKAN SIMULASI *FINITE ELEMENT* *ANALYSYS*

Higan Pilargenta^a, Chynta Maharani P.^a, M. Daru Fathur R.^a, Mokh. Ausin Al
Qoroni¹ dan Ndaru Adyono^a

^aProgram Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran”
Jawa Timur.

*Email : ndaru.adyono.tm@upnjatim.ac.id
Phone: 088803401751

Abstrak: Penelitian ini menganalisa kekuatan dari material yang akan digunakan pada alat *die cut press* menggunakan metode *finite elemen analysis* (FEA) pada *software Solidworks*. Analisa ini dilakukan agar alat *die cut* terhindar mengalami kegagalan kerja sehingga alat *die cut press* tetap aman. Dengan menggunakan pembebanan sebesar 1726 Newton. Serta variabel bebas dari tiga material yaitu baja AISI 1020, baja ST-37 dan baja ASTM A-36. Serta variabel terikatnya yaitu *safety factor*. Dari hasil yang didapatkan pada analisa FEA menghasilkan nilai *safety factor* pada baja ST-37 yaitu 5,95, kemudian pada baja ASTM A-36 nilai *safety factor* nya yaitu 6,33 dan pada baja AISI 1020 menghasilkan nilai *safety factor* sebesar 8,87. Dari data sheet material menunjukkan bahwa salah satu nilai yang berupa *elastic modulus* pada baja ST-37 menghasilkan nilai 205 Gpa, kemudian pada baja ASTM A36 memiliki nilai 199 Gpa, dan baja AISI 1020 memiliki nilai 210 Gpa. Baja AISI 1020 memiliki keunggulan untuk digunakan sebagai alat *die cut press* meskipun dari ketiga material menunjukkan *safety factor* (FOS) > 1. Namun dengan pertimbangan variabel yang lain yaitu, *cost analysis*, *data sheet material* menunjukkan bahwa baja AISI 1020 lebih mudah untuk di proses dan lebih mudah untuk dicari bahan material bajanya

Keywords : *Safety Factor, Manual Die Cut, and Finite Elemen Analysis (FEA)*.

1. PENDAHULUAN

Mesin *die cut press manual* merupakan salah satu alat yang banyak digunakan dalam industri manufaktur untuk memotong berbagai jenis bahan, seperti kertas, plastik, dan logam tipis, dengan menggunakan cetakan atau *die*. Proses *die cutting* ini memegang peranan penting dalam produksi massal produk-produk yang memerlukan pemotongan presisi, seperti kemasan, label, dan komponen-komponen kecil dalam industri elektronik atau otomotif. Meski begitu, banyak mesin *die cut manual* yang masih menggunakan metode konvensional, sehingga efisiensinya sering kali terbatas dan memerlukan upaya fisik yang signifikan dari operator.

Untuk mengatasi tantangan ini, perancangan mesin *die cut press manual* yang lebih optimal dari segi kekuatan dan kenyamanan operasional menjadi fokus utama. Salah satu cara untuk mencapai hal ini adalah dengan melakukan analisis mendalam terhadap kekuatan dan daya tahan komponen utama mesin, khususnya pada tuas penekan yang menggerakkan mekanisme pemotongan. Penggunaan simulasi berbasis perangkat lunak, seperti SolidWorks atau metode *Finite Element Analysis* (FEA), dapat membantu dalam memprediksi performa struktur mesin di bawah berbagai kondisi beban, sehingga desain yang dihasilkan dapat lebih andal dan sesuai dengan kebutuhan industri.

Pada era saat ini perkembangan pada berbagai sektor telah dirasakan salah satunya sektor manufaktur. Dalam industri manufaktur terdapat proses pemotongan dan pembentukan material salah satunya yaitu alat *die cut*. Alat *die cut* merupakan alat pemotong yang digunakan untuk memotong berbagai jenis bahan seperti kayu, plastik, dan logam menggunakan cetakan (*dies*). Efisiensi dan keselamatan merupakan bagian penting dalam proses ini. Hal ini merupakan salah satu aspek yang penting serta krusial dalam perancangan alat *die cut press*. *Safety factor* yang memadai tidak hanya mencegah kegagalan struktural selama operasi tetapi juga meningkatkan umur pakai alat tersebut.

Analisis kekuatan struktur dari persoalan suatu desain dapat diselesaikan menggunakan metode elemen hingga [1]. Simulasi analisis elemen hingga (*Finite Element Analysis* atau FEA) telah menjadi metode yang efektif untuk menganalisis kekuatan dan stabilitas struktur mekanik [2]. Dalam metode elemen hingga FEA

menggunakan *software Solidworks*. *Solidworks* merupakan salah satu *software* perangkat lunak yang berbasis otomasi untuk membuat model 3D dan 2D [3]. FEA memungkinkan untuk memodelkan dan mengevaluasi respons alat terhadap berbagai kondisi pembebanan sebelum alat tersebut diproduksi, selain itu perangkat lunak FEA dapat memudahkan untuk menganalisa simulasi *thermal analysis*, *heat transfer*, *fluid mechanics*, dan bahkan *electromagnetics*. Jadi perangkat lunak FEA tidak hanya simulasi *solid mechanics* tapi banyak fungsinya. Ada tiga langkah utama yang perlu dipahami pada analisa menggunakan FEA yaitu, *Pre-processing*, Solusi, dan *Post processing*. Dalam suatu model dalam proses sangatlah penting. Serta dalam sebuah solusi elemen hingga sempurna dihitung adalah benar tidak ada nilai, jika masalah tersebut salah [4].

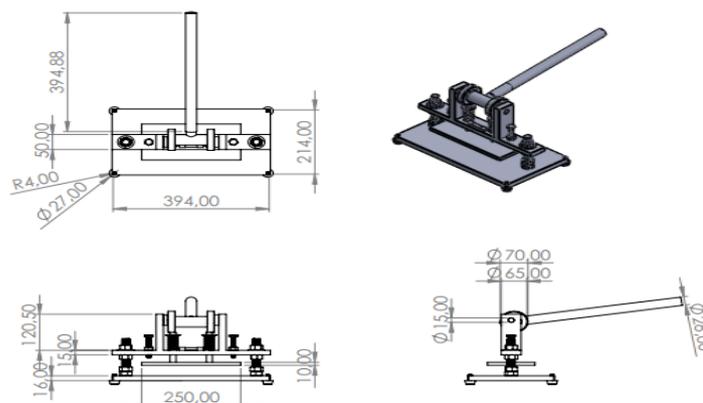
Penggunaan FEA untuk mendesain alat *die cut* memberikan gambaran akurat tentang distribusi tegangan dan deformasi. Sehingga memungkinkan untuk mengidentifikasi potensi kelemahan dalam desain kemudian selanjutnya dapat menganalisis *safety factor* pada perancangan alat *die cut* sebelum di produksi. Pada simulasi FEA menggunakan beban 1726N dengan tiga variasi material yaitu, baja AISI 1020, baja ST37, dan baja ASTM A36. Hal ini untuk mencari material manakah yang akan cocok digunakan dalam perancangan alat *die cut manual press* ini. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya bertujuan untuk merancang standar kekuatan pada mesin die cut press manual, tetapi juga memberikan kontribusi terhadap peningkatan efisiensi dan keamanan operasional. Kajian ini diharapkan mampu memberikan wawasan baru bagi pengembangan mesin die cut manual yang lebih inovatif, dengan mempertimbangkan aspek ketahanan, kenyamanan, dan keselamatan kerja.

2. METODE DAN BAHAN

Penelitian ini bertujuan untuk merancang standar kekuatan pada alat mesin die cut press manual dengan menghitung kekuatan yang dibutuhkan pada tuas penekan. Proses analisis dilakukan melalui simulasi menggunakan perangkat lunak SolidWorks atau metode *Finite Element Analysis* (FEA). Tujuan dari simulasi ini adalah untuk mengevaluasi hasil tegangan (*stress*), regangan (*strain*), perpindahan (*displacement*), dan faktor keamanan (*safety factor*) pada komponen mesin. Dengan melakukan analisis ini, diharapkan bisa diperoleh data yang valid untuk memastikan bahwa desain mesin *manual die cut press* tersebut mampu bekerja dengan aman dan efisien sesuai dengan standar yang direncanakan.

2.1 Dimensi atau Ukuran

Dimensi dan ukuran dalam desain alat die cut sangat penting karena berpengaruh langsung terhadap kekuatan struktural dan kemampuan alat tersebut untuk menangani beban yang diberikan. Ukuran yang tepat memastikan bahwa alat dapat berfungsi dengan baik tanpa mengalami deformasi atau kerusakan selama pengoperasian. Selain itu, dimensi yang optimal juga berperan dalam menentukan efisiensi dan kestabilan alat ketika menerima tekanan dari tuas penekan. Desain yang kurang tepat dapat menyebabkan distribusi beban yang tidak merata, sehingga mempengaruhi keandalan dan umur pakai mesin. Oleh karena itu, perencanaan dimensi harus diperhitungkan dengan cermat. Adapun dimensi dari alat die cut press yaitu seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Dimensi Desain Alat *Die Cut Press*

Selain faktor dimensi, toleransi pada setiap komponen juga harus diperhatikan. Toleransi yang terlalu longgar atau ketat dapat mempengaruhi kinerja alat, menyebabkan gesekan berlebih, atau bahkan kerusakan dini pada komponen. Oleh karena itu, penting untuk melakukan pengujian terhadap prototipe guna memastikan bahwa alat berfungsi sesuai dengan desain yang diharapkan. Dengan demikian, perhitungan dan penyesuaian dimensi serta toleransi dapat membantu memastikan bahwa alat die cut press mampu bekerja secara optimal

dan efisien.

2.2 Pemilihan Material Alat Mesin *Manual Die cut*

Pemilihan material dan perhitungan dimensi yang akurat juga memainkan peran penting dalam menentukan kemampuan mesin untuk mengatasi tekanan dari proses pemotongan. Material yang kuat dengan dimensi yang tepat akan memastikan distribusi tegangan yang merata pada seluruh bagian mesin, sehingga mengurangi risiko kegagalan struktural. Dengan mempertimbangkan faktor-faktor ini, desain alat die cut press manual dapat dioptimalkan agar lebih efisien, aman, dan tahan lama dalam berbagai kondisi operasional. Variabel material yang digunakan pada alat mesin *die cut press* ini yaitu, baja AISI 1020, baja ST37, dan baja ASTM A36 dengan bentuk sesuai pada gambar 1. Adapun penjelasan dari masing-masing material yaitu sebagai berikut.

1. Aisi 1020

Baja AISI 1020 merupakan salah satu baja karbon rendah dengan unsur karbon kurang dari 3%, dan unsur kandungan lainnya seperti sulfur (S), fosfor (P), nikel (Ni), dan unsur kandungan lainnya yang bercampur dengan karbon, komposisi kimia dari baja AISI 1020 dapat dilihat pada tabel 1 dibawah ini yaitu

Tabel 1. Data sheet baja AISI 1020

<i>Properties</i>	<i>Nilai</i>
<i>Elastic modulus</i>	205 Gpa
<i>Poisson's ratio</i>	0,59
<i>Mass density</i>	7870 kg/m ³
<i>Tensile strength</i>	440 Mpa
<i>Yield strength</i>	350 a

2. ASTM A36

Baja ASTM A36 merupakan jenis baja karbon rendah, angka '36' pada penamaan ASTM A36 merupakan nilai minimum dari *yield strength* baja yaitu sebesar 36 Ksi [3]. Untuk mengetahui komposisinya dapat diketahui dari tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2. Data sheet Baja ASTM A36

<i>Properties</i>	<i>Nilai</i>
<i>Elastic modulus</i>	199 Gpa
<i>Poisson's ratio</i>	0,26
<i>Mass density</i>	7850 kg/m ³
<i>Tensile strength</i>	400 Mpa
<i>Yield strength</i>	250 Mpa

3. ST-37

Baja ST 37 atau setara dengan AISI 1045 dengan komposisi karbon (C) yang lebih rendah dibandingkan baja aisi 1020 dengan nilai maksimal kurang dari 1%, serta kandungan unsur lainnya yang lebih sedikit. Angka 37 pada ST 37 memiliki makna kekuatan tarik sebesar 37 kg/mm² atau sekitar 360-370 N/mm² salah satu baja yang dihasilkan untuk pembuatan berbagai komponen permesinan [4].

Tabel 3.Data sheet Baja AISI 1020

<i>Properties</i>	<i>Nilai</i>
<i>Elastic modulus</i>	210 Gpa
<i>Poisson's ratio</i>	0,28
<i>Mass density</i>	7800 kg/m ³
<i>Tensile strength</i>	360 Mpa
<i>Yield strength</i>	235 Mpa

2.3 Perangkat Lunak *Solidworks* dan Metode *Finite Elemen Analysys* (FEA)

Menurut buku Sighley yaitu *Mechanical Engineering Design ninth edition*, *solidworks* merupakan perangkat lunak yang digunakan yaitu memakai *cad* (*Computer-aided design* (CAD) yaitu *solidworks*. *Solidworks* merupakan pengembangan 3 dimensi dan 2 dimensi dengan menggunakan perspektif secara menjadi prototipe [5]. Penggunaan simulasi berbasis *Finite Element Analysis* (FEA) dalam *SolidWorks* sangat membantu dalam analisis desain, di mana dimensi dan ukuran yang tepat memainkan peran penting dalam menentukan distribusi tegangan dan deformasi di seluruh struktur. Simulasi FEA memungkinkan insinyur untuk mengidentifikasi titik-titik lemah dalam desain, sehingga mereka dapat mengoptimalkan bentuk dan bahan yang digunakan. Selain itu, simulasi ini juga membantu dalam mengidentifikasi area-area yang berpotensi mengalami kegagalan atau stres berlebih, sehingga risiko kegagalan struktural dapat diminimalkan. Analisis yang akurat melalui FEA memberikan kontribusi signifikan terhadap keberhasilan keseluruhan desain, baik dari segi kekuatan maupun efisiensi alat [1].

2.4 Analisis Statis Pada Tuas Penekan

Analisis Statis adalah teknik analisis yang digunakan untuk menentukan tegangan pada material dan struktur yang mengalami beban atau gaya statis maupun dinamis. Teknik ini penting untuk memastikan bahwa struktur dapat menahan beban yang diterapkan tanpa mengalami kerusakan atau deformasi berlebihan. Dalam analisis menggunakan simulasi FEA, terdapat beberapa variabel utama yang dianalisis, termasuk *Von Mises stress*, *strain*, *displacement*, dan faktor keamanan (*safety factor*). *Von Mises stress* digunakan untuk memprediksi kapan material akan mengalami kegagalan akibat tegangan, sementara *strain* mengukur perubahan bentuk material akibat beban yang diterapkan. *Displacement* menunjukkan perpindahan atau deformasi yang dialami oleh struktur, dan *safety factor* memberikan indikasi seberapa jauh desain aman dari kegagalan.

Pada analisis ini, beban yang digunakan adalah sebesar 1726 Newton. Dengan memodelkan beban ini dalam simulasi FEA, dapat diperoleh gambaran yang lebih akurat mengenai bagaimana struktur akan bereaksi terhadap gaya tersebut, serta area-area mana yang perlu diperkuat atau dimodifikasi untuk memastikan keselamatan dan keandalan alat. Hasil analisis ini menjadi dasar penting dalam pengambilan keputusan untuk optimasi desain.

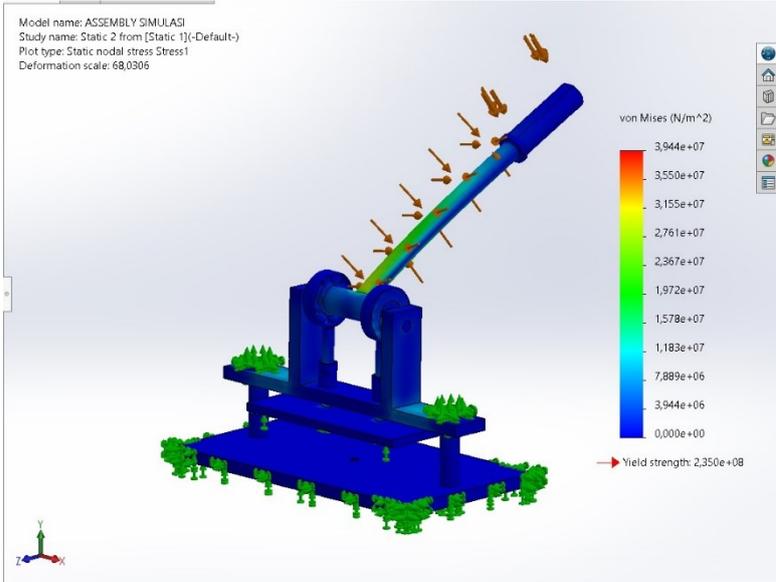
2.4 Kondisi Batas

Dalam penelitian ini, terdapat beberapa kondisi batas yang digunakan untuk menentukan material yang tepat pada alat *die cut*, di mana dua variabel utama yang dipertimbangkan adalah sifat material dan biaya material. Data sheet material, seperti yang disajikan pada Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3, mencakup informasi mengenai kekuatan material, modulus elastisitas, ketangguhan, dan sifat mekanis lainnya yang relevan dengan kebutuhan desain. Analisis ini bertujuan untuk memilih material yang tidak hanya mampu menahan beban dan tegangan dengan faktor keamanan (*safety factor*) tertinggi, tetapi juga efisien dari segi biaya.

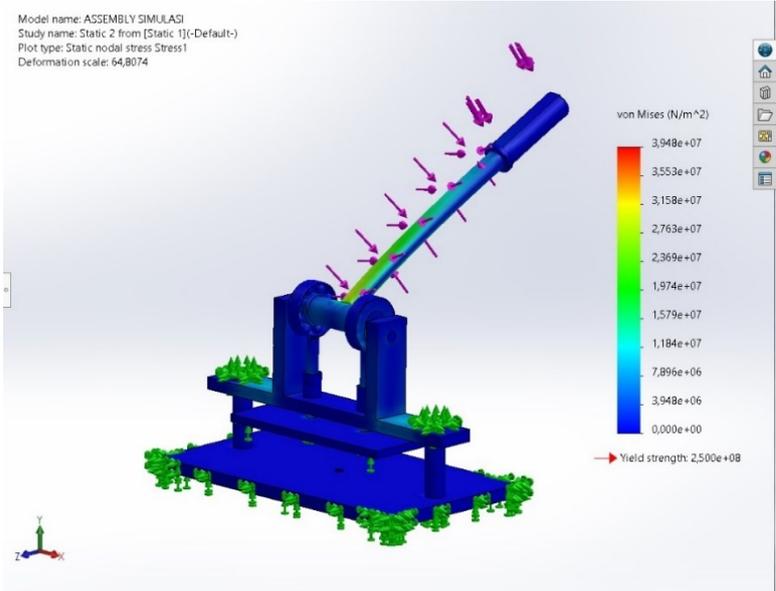
3. HASIL DAN DISKUSI

3.1 *Von Misses Stress*

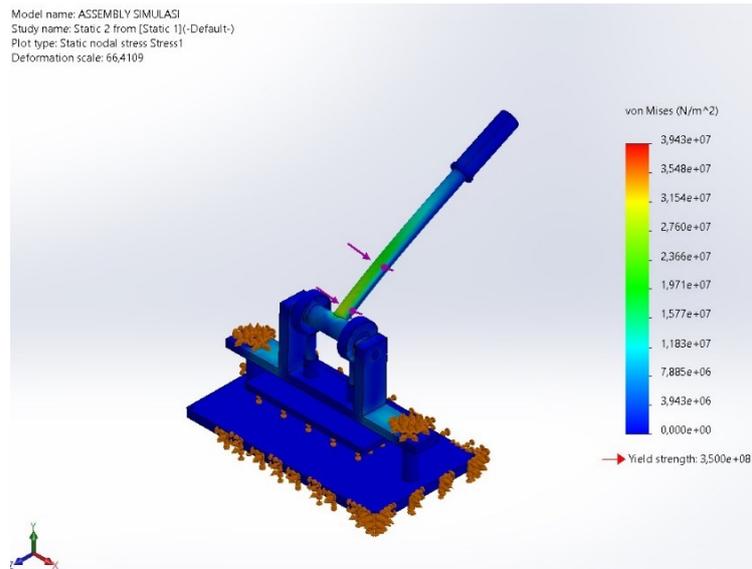
Analisis (Simulasi) menggunakan *Solidworks* pada alat *die cut press* menghasilkan nilai tegangan (*von misses stress*). *Von mises stress* adalah besarnya gaya pada suatu permukaan benda tiap satuan luas dengan satuan MPa [6]. Untuk mengetahui materialnya aman atau tidak maka kondisi ini tidak boleh melebihi kekuatan luluh (*yield strength*). Dimana nilai dari tegangan geser (τ) dan juga tegangan normal (σ) harus dibawah nilai (*yield strength*) karena jika melebihi kekuatan luluh maka material tidak akan Kembali ke bentuk semula, ketika mendapatkan beban statis. Tegangan Von Mises juga disebut sebagai tegangan setara atau ekuivalen.



Gambar 1. Von misess stress pada Baja ST-37



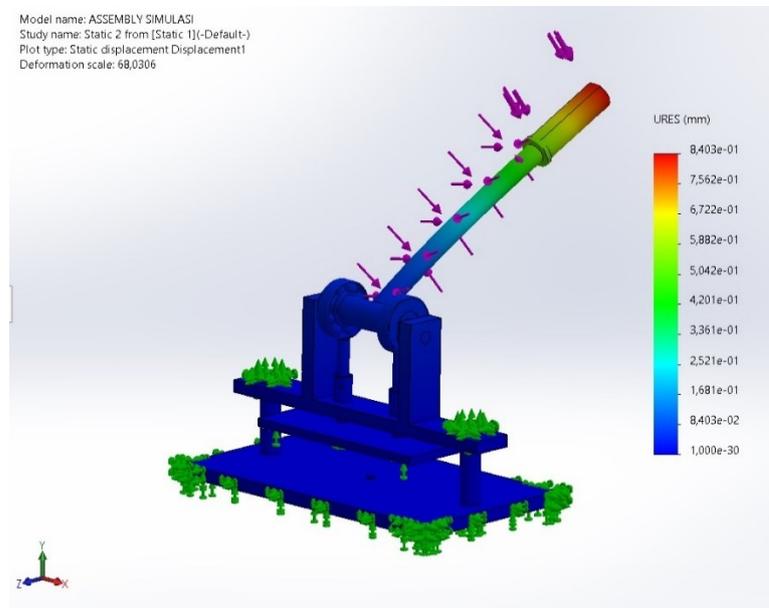
Gambar 2. Von misess stress pada Baja ASTM-A36



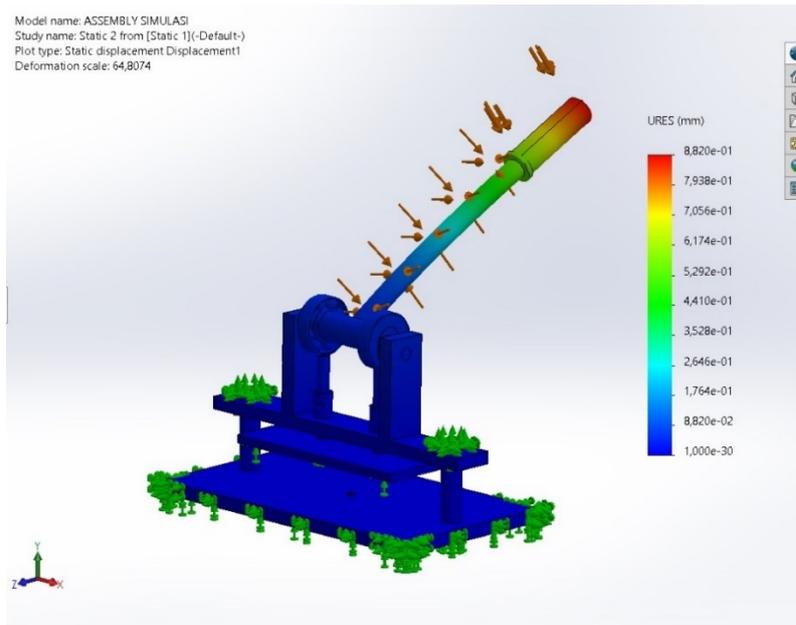
Gambar 3. Von misess stress pada Baja AISI 1020

3.2 Displacement

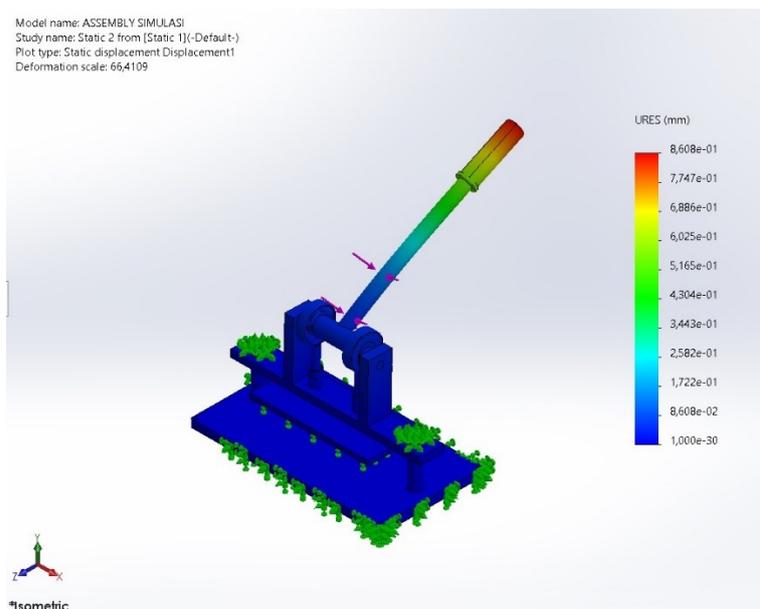
Displacement (perpindahan geser) merupakan perubahan bentuk pada benda yang dikenai gaya. Ketika suatu material diberikan beban, seperti dalam pengujian tarik, material tersebut akan mengalami deformasi, yang ditandai dengan penambahan panjang atau perubahan bentuk lainnya. Besarnya perpindahan ini bergantung pada sifat material dan besar gaya yang diterapkan. Perpindahan tidak hanya terjadi dalam satu arah, tetapi dapat terjadi ke berbagai arah dan berbeda di setiap titik pada material tersebut. Analisis perpindahan penting dalam memastikan bahwa material tidak mengalami deformasi yang melebihi batas toleransi yang diizinkan, sehingga struktur dapat berfungsi dengan baik tanpa risiko kegagalan atau kerusakan yang signifikan[6].



Gambar 4. Displacement pada Baja ST-37



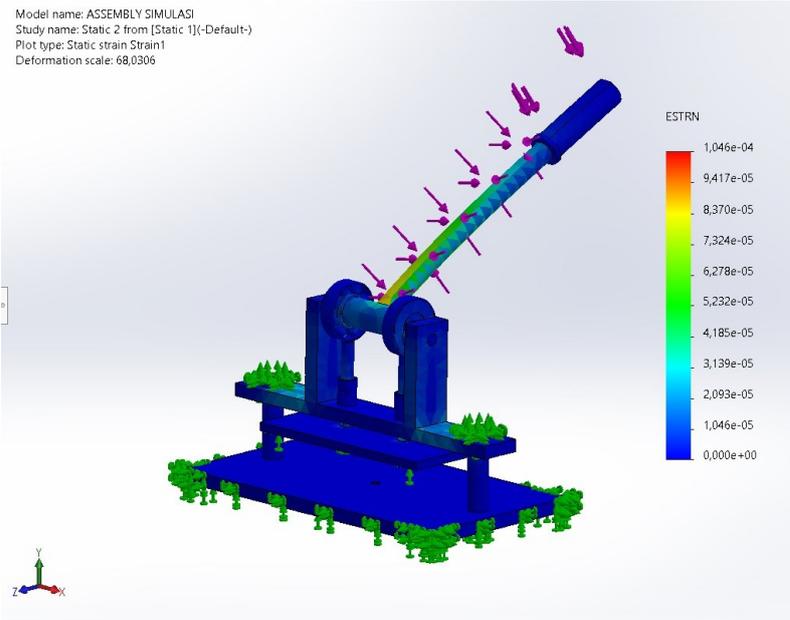
Gambar 5. *Displacement* pada Baja ASTM-A36



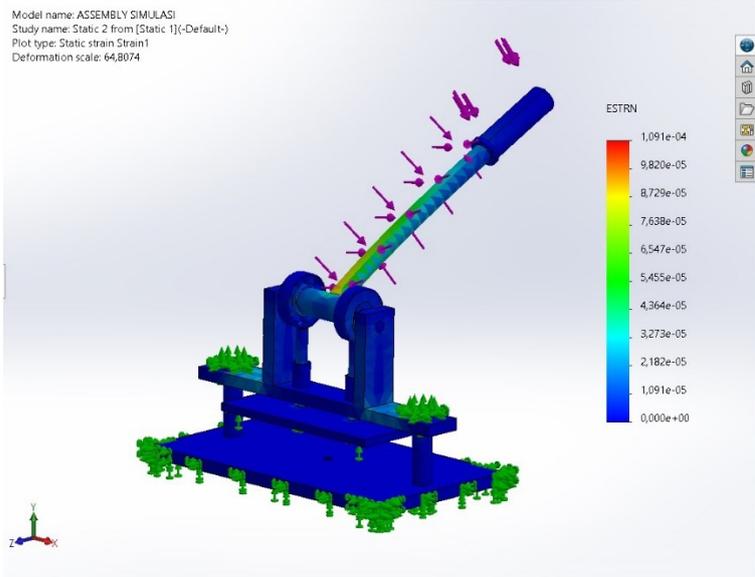
Gambar 6. *Displacement* pada Baja AISI 1020

3.3 *Strain*

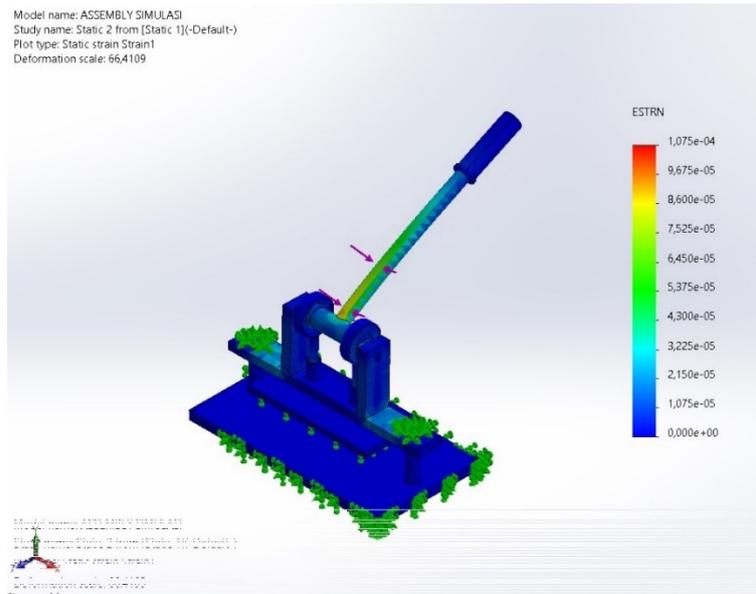
Strain (regangan) adalah deformasi yang terjadi pada suatu material disaat dikenai beban tertentu. *Strain* menunjukkan adanya perubahan bentuk atau ukuran pada material. Dimana rasio perubahan ini merupakan besaran tak berdimensi. *Strain* bermacam-macam. Dalam hasil yang digunakan pada penelitian ini yaitu menghasilkan nilai *Equivalent strain* (Regangan ekuivalen atau ESTRN).



Gambar 7. Hasil *Strain* pada Baja ST-37



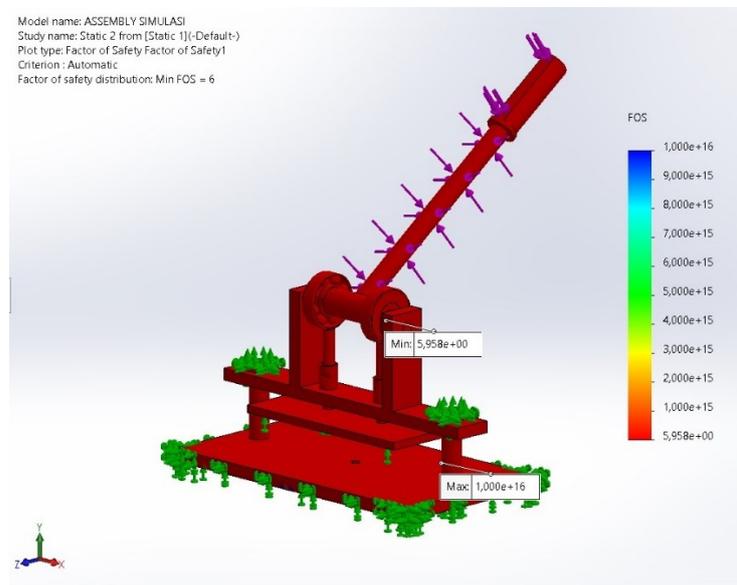
Gambar 8. Hasil *Strain* pada Baja ASTM-A36



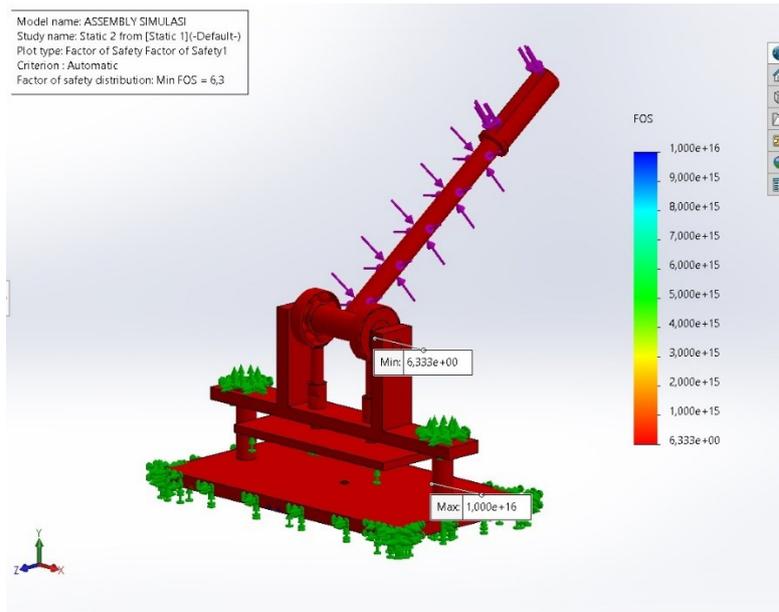
Gambar 9. Hasil *Strain* pada Baja AISI 1020

3.4 *Safety Of Factor* (Faktor keamanan)

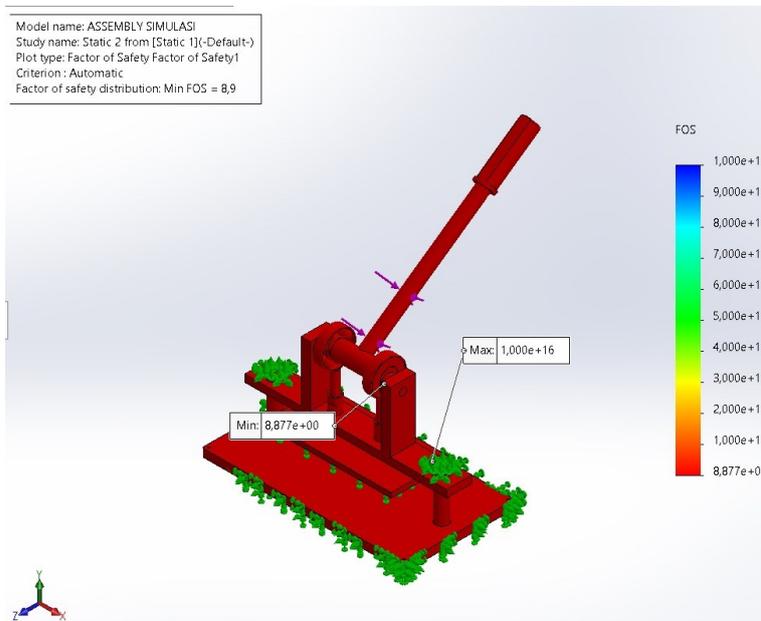
Safety factor (FOS) adalah faktor yang digunakan untuk menilai dari keamana desain. Setelah mengetahui hasil dari *von misses* (tegangan) maka akan diketahui hasil nilai *safety factor*. Suatu desain dapat dikatakan aman jika nilainya melebihi dua kali lipat dari tegangannya, dengan minimal diatas 2,5 maka sebuah desain dapat dikatakan aman



Gambar 10. Nilai FOS pada Baja ST-37



Gambar 11. Nilai FOS pada Baja ASTM A-36



Gambar 12. Nilai FOS pada Baja AISI 1020

Pembahasan

Tabel 4. Hasil pengolahan data

No	Variabel	Data Hasil Pengujian								
		Von missess stress (N/m ²)		Yield strength	Displacement (mm)		Strain		Safety factor	
		Min	Max	(N/m ²)	Min	Max	Min	Max	Min	Max
1.	Baja ST-37	3,944E+06	3,944E+07	2,350E+08	8,403E-02	8,403E-01	1,046E-05	1,046E-04	5,958E+00	1,000E+16
2.	Baja ASTM A-36	3,948E+06	3,948E+07	2,500E+08	8,820E-02	8,820E-01	1,091E-05	1,091E-04	6,333E+00	1,000E+16
3.	Baja AISI 1020	3,943E+06	3,943E+07	3,500E+08	8,600E-02	8,608E-01	1,075E-05	1,075E-04	8,877E+00	1,000E+16

Hasil analisa pada alat *die cut* menggunakan *software Solidworks* dengan menerapkan metode *finite element analysis* (FEA) atau disebut juga dengan metode elemen hingga dengan memberikan beban sebesar 1726 Newton pada tuas penekan yang bekerja pada alat *die cut*. Pemilihan material menggunakan Baja AISI 1020, baja ASTM A-36 dan baja ST-37 karena pemilihan baja tersebut banyak digunakan pada bidang industri dan sifat material yang tidak jauh berbeda. Dilihat dari data yang telah diambil menunjukkan bahwa nilai *von missess* pada material baja ST-37 memiliki nilai maksimum $3,944 \times 10^7 N/m^2$ kemudian baja ASTM A-36 memiliki

nilai maksimum $3,948 \times 10^7 N/m^2$ dan pada baja AISI 1020 memiliki nilai *von misses* maksimum yaitu $3,943 \times 10^7 N/m^2$. Hasil dari setiap pengujian tegangan *Von Mises* bergantung pada luas permukaan yang diuji, beban yang diberikan, serta jenis bahan dari material tersebut makanya hasil yang dimiliki dari 3 material berbeda-beda. Kemudian suatu desain dapat dikatakan aman jika nilai tegangan *Von Mises* berada di bawah kekuatan luluh (*yield strength*). Sedangkan dari hasil nilai *safety factor* menunjukkan bahwa sebuah desain dari rancangan memiliki tekanan yang elastis paling ekstrim dari tekanan luluh yang terjadi. Lalu dari hasil tabel menunjukkan nilai dari baja AISI 1020 memiliki nilai minimum yang paling tinggi yaitu 8,877 dibandingkan dengan baja ASTM A-36 yaitu 6,33 dan baja ST-37 memiliki nilai yang paling rendah yaitu 5,95.

4.KESIMPULAN

Dari hasil analisis yang dilakukan, telah dipertimbangkan beberapa jenis material, yaitu baja AISI 1020, baja ASTM A36, dan baja ST-37, untuk menganalisis alat *die cut* menggunakan metode *Finite Element Analysis* (FEA). Dengan mempertimbangkan kondisi batas yang ada serta hasil pada *safety factor*, dapat disimpulkan bahwa pemilihan material yang lebih optimal untuk alat *die cut press* adalah baja AISI 1020. Material ini menunjukkan nilai *safety factor* sebesar 8,87, yang menunjukkan tingkat keamanan yang tinggi dalam menghadapi beban yang diterapkan. Selain itu, data sheet material dan analisis biaya juga mendukung keputusan ini, dengan baja AISI 1020 menawarkan kombinasi terbaik antara kekuatan, daya tahan, dan efisiensi biaya. Oleh karena itu, baja AISI 1020 dipilih sebagai material yang ideal untuk memastikan performa, keandalan, dan efisiensi dari alat *die cut press* yang dirancang.

PERNYATAAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada orang tua yang telah mendukung secara penuh sehingga sampai saat ini masih bisa melakukan kegiatan dalam perkuliahan. Serta terimakasih kepada dosen pembimbing yaitu pak Ndaru Adyono yang telah membimbing selama pembuatan jurnal hingga alat *die cut* telah di produksi.

3. DAFTAR PUSTAKA

- [1] M Edi Pujianto, Muhammad Subri, A.R.S. (2023) 'ANALISA KEKUATAN RANGKA AUTOMATIC POTATO CUTTING MACHINE FRAME MENGGUNAKAN SIMULASI SOLIDWORKS', *publikasiilmiah.unwahas*, 19, pp. 50–57.'
- [2] Dumyati, I. and Nurhaji, S. (2023) 'Modeling dan Simulasi Finite Element Analysis pada Segitiga T Sepeda Motor Menggunakan Software Ansys 2023', *Quantum Teknika : Jurnal Teknik Mesin Terapan*, 5(1), pp. 26–30. Available at: <https://doi.org/10.18196/jqt.v5i1.19012>.
- [3] Feulvarch, E., Roux, J.-C. and Bergheau, J.-M. (2013) 'A simple and robust moving mesh technique for the finite element simulation of Friction Stir Welding', *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 246, pp. 269–277. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cam.2012.07.013>.
- [4] Firmansyah Azharul, Mohammad Fadel and Rahmawati (2020) 'Menghitung Tegangan Statik Pada Struktur Rangka Sepeda Bmx Menggunakan Software Catia', *TEKNOSAINS: Jurnal Sains, Teknologi dan Informatika*, 7(2), pp. 67–76. Available at: <https://doi.org/10.37373/tekno.v7i2.28>.
- [5] Aminuddin, R.R., Santoso, A. wibawa B. and Yudo, H. (2020) 'JURNAL TEKNIK PERKAPALAN 37 sebagai Bahan Poros Baling-baling Kapal (Propeller Shaft) setelah Proses Tempering', *Jurnal Teknik Perkapalan*, 8(3), pp. 368–374. Available at: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>.
- [6] Shigley, J. E. (2006). *Mechanical Engineering Design*, Eight Edition. United States of America : The McGraw-Hill Companies.
- [7] Sandy Suryady and Eko Aprianto Nugroho (2022) 'Simulasi Faktor Keamanan Pembebanan Statik Rangka Pada Turbin Angin Savonius', *Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 1(2), pp. 42–48. Available at: <https://doi.org/10.56127/jukim.v1i2.94>.
- [8] Abbas, A. (2023) 'Finite Element Analysis in Mechanical Engineering: Simulation and Optimization', pp. 1–18.
- [9] Mott, R.L., Vavrek, E.M. and Wang, J. (2005) *Machine Elements in Mechanical Design 6th Edition*, Pearson Education, Inc.
- [10] Nasution, M.N. (2020) 'Analisa Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja Aisi1020 Terhadap Perlakuan Carburizing Dengan Arang Batok Kelapa', *Buletin Utama Teknik*, 15(2), p. 165.
- [11] M Edi Pujianto, Muhammad Subri, A.R.S. (2023) 'ANALISA KEKUATAN RANGKA AUTOMATIC POTATO CUTTING MACHINE FRAME MENGGUNAKAN SIMULASI SOLIDWORKS', *publikasiilmiah.unwahas*, 19, pp. 50–57.

- [12] Feulvarch, E., Roux, J.-C. and Bergheau, J.-M. (2013) 'A simple and robust moving mesh technique for the finite element simulation of Friction Stir Welding', *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 246, pp. 269–277. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cam.2012.07.013>.
- [13] Firmansyah Azharul, Mohammad Fadel and Rahmawati (2020) 'Menghitung Tegangan Statik Pada Struktur Rangka Sepeda Bmx Menggunakan Software Catia', *TEKNOSAINS: Jurnal Sains, Teknologi dan Informatika*, 7(2), pp. 67–76. Available at: <https://doi.org/10.37373/tekno.v7i2.28>.