



Optimasi Desain Mesin *Punch* Menggunakan Metode *Finite Element Analysis*

Optimization of the Punch Machine Design Using the Finite Element Analysis Method

Puguh Elmiawan^{1,a)}, Fajar Paundra²⁾, Gigih Tujo Pradibyo³⁾

^{1,3}Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Gajah Tunggal

²Program Studi Teknik Mesin, Institut Teknologi Sumatera

^{a)}Corresponding author: elmiawan@gmail.com

Abstrak

Pemodelan 3D dan analisa statis dilakukan dengan perangkat lunak *Solidworks* 2019 menggunakan metode *finite element analysis* (FEA). Hasil dari analisa statis tersebut, didapatkan yaitu tegangan *von mises* dengan nilai minimal 0,031 kgf/cm² dan nilai maksimal 78,630 kgf/cm², *Strain* dengan nilai minimal *strain* yaitu 80,460 pada *node* 132 dan nilai maksimal *strain* sebesar 200.989,766 pada *node* 79, dan *Factor of safety* dengan nilai maksimal yaitu adalah 200.989,76 FOS dan nilai minimal yaitu 80,460 FOS. Optimasi desain dilakukan untuk mengurangi massa dan dimensi dari rangka mesin *punch* pelat nomor. Nilai *safety factor* yang diatur di awal adalah 2, pada proses simulasi didapatkan desain awal adalah 63 FOS dan pada desain akhir sebesar 31 FOS. Massa rangka pada awal desain sebesar 76565 gram dan pada akhir desain sebesar 54695 gram.

Kata Kunci: optimasi desain; mesin *punch*; analisis statis; pelat kuningan; *finite element analysis*

Abstract

3D modeling and static analysis were carried out with the *Solidworks* 2019 software using *finite element analysis* (FEA) method. The results of the static analysis, obtained are *von Mises stress* with a minimum value of 0.031 kgf/cm² and a maximum value of 78.630 kgf/cm², *Strain* with a minimum *strain* value of 80,460 at *node* 132 and a maximum *strain* value of 200,989,766 at *node* 79, and *Factor of safety* with a maximum value of 200,989.76 FOS and a minimum value of 80,460 FOS. Design optimization was carried out to reduce the mass and dimensions of the number plate *punch* machine frame. The *safety factor* was set at 2, value in the initial design at simulation was 63 FOS and at the final design was 31 FOS. The mass of frame at beginning of the design is 76565 grams and at the end of the design is 54695 grams.

Keywords: design optimization; *punch* machine; static analysis; brass plate; *finite element analysis*

PENDAHULUAN

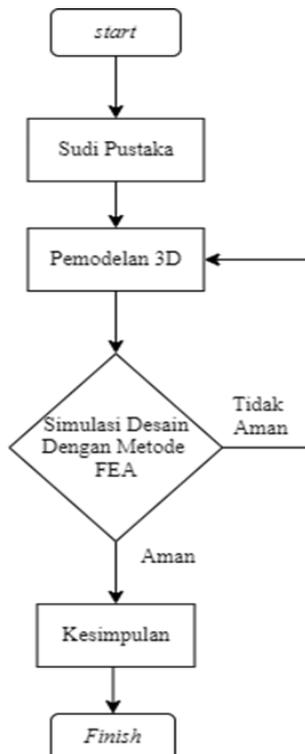
Perkembangan teknologi terjadi sangat pesat. Hal ini dipengaruhi oleh adanya era revolusi industri 4.0 [1]. Persaingan di dunia industri semakin ketat. Perlombaan terjadi dengan memproduksi dan mengembangkan peralatan yang canggih. Peralatan atau alat dengan kecepatan dan ketelitian yang tinggi sangat dibutuhkan dalam setiap industri. Proses pencetakan nomor pada pelat membutuhkan peralatan yang optimal, sehingga mampu menunjang produktivitas proses produksi. Mesin *punch* dengan menggunakan tekanan yang berasal dari sistem hidrolik merupakan salah satu mesin yang mampu menunjang proses produktivitas tersebut [2].

Rangka merupakan salah satu komponen terpenting pada mesin *punch* karena merupakan tumpuan dari komponen-komponen lain [3]. Tegangan dan *factor of safety* pada rangka sangat penting untuk diperhatikan karena jika terjadi beban berlebih maka kekuatan dan umur dari rangka akan cepat sehingga dapat membuat kerusakan berat [4-5]. Sebaliknya jika tegangan yang terjadi sangat kecil maka rangka akan menerima beban yang kecil sehingga jika bahan yang digunakan memiliki *mechanical properties* yang tinggi akan membuat mesin memiliki nilai ergonomi yang kurang, sehingga penelitian ini menitik beratkan pada analisis statis dan *design study* pada rangka yang diharapkan dapat mengoptimalkan desain dari sisi dimensi dan massa [6].

Penelitian ini menggunakan pemodelan 3D dan simulasi dengan prinsip *Finite Element Analysis* (FEA) yang mana dilakukan pengukuran pada mesin kemudian dilakukan penggambaran pada aplikasi CAD/CAM/CAE seperti *solidworks* 2019 [7]. Metode dengan menggunakan pemasangan model yang dapat dideformasi, kelayakan dari rekonstruksi geometri secara otomatis dan pemodelan yang berasal dari gambar telah diterapkan untuk banyak aplikasi [8–13]. Hal ini bertujuan agar proses perhitungan dan optimasi berlangsung dengan cepat [14]. Proses optimasi ini bekerja dengan cara mencari desain yang tepat dengan mengurangi dimensi (tebal) dan massa pada rangka mesin *punch* pelat nomor.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode analisis model 3D menggunakan perangkat lunak *solidworks* 2019. Kekuatan dari material yang digunakan pada rangka mesin bisa didapatkan menggunakan *Finite Element Analysis* (FEA). Metode *Finite Element Analysis* (FEA) merupakan sebuah metode analisis sebuah eksperimen yang berasal dari sebuah komplikasi fenomena mekanik benda yang kemudian akan dibuat visualisasi virtual dengan *software* berbasis *Computer Aided Engineering* (CAE) [15]. Pencarian data spesifikasi dan dimensi dilakukan sebelum melakukan pemodelan 3D desain dengan pengukuran terhadap alat [16]. Proses penelitian dari studi pustaka, pengumpulan data hingga penarikan kesimpulan disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur penelitian

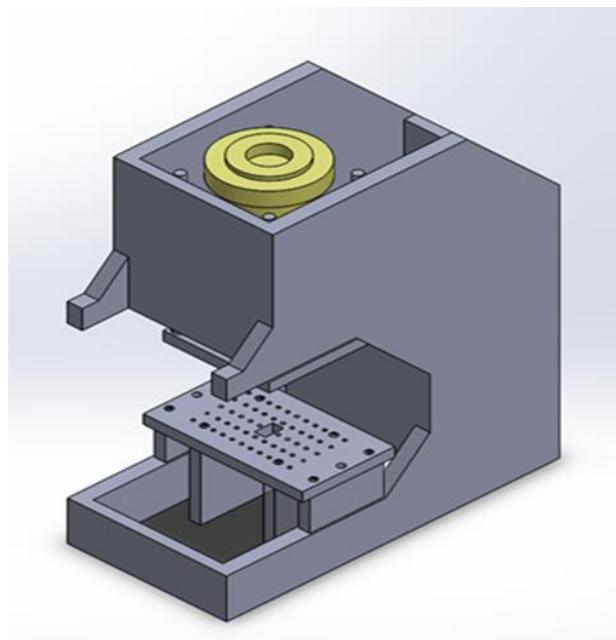
Model dan Desain Mesin *Punch*

Gambar 2. merupakan konstruksi mesin yang digunakan. Mesin tersebut memiliki *maximal pressure pump* 3,5 Mpa, daya motor 4 kW, gaya geser 18.329,5 N, dan usaha/1 proses 33 N.m.



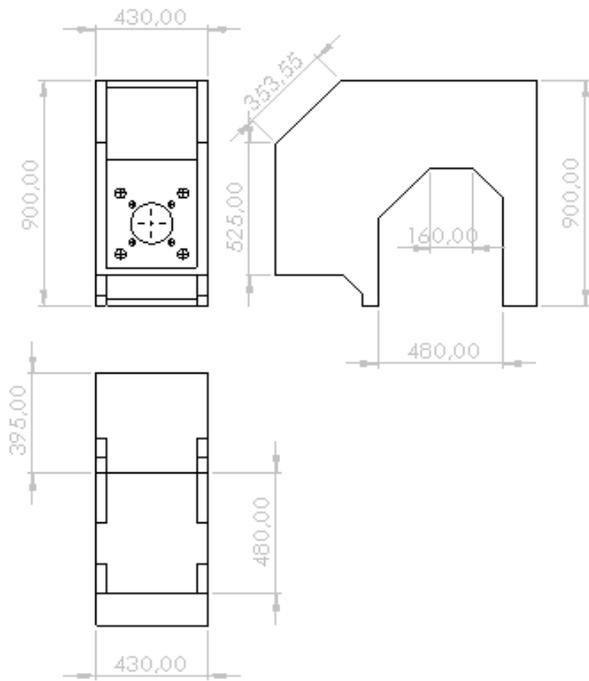
Gambar 2. Mesin *punch*

Gambar 3. merupakan permodelan 3D mesin dan Gambar 4. merupakan dimensi dari rangka mesin.

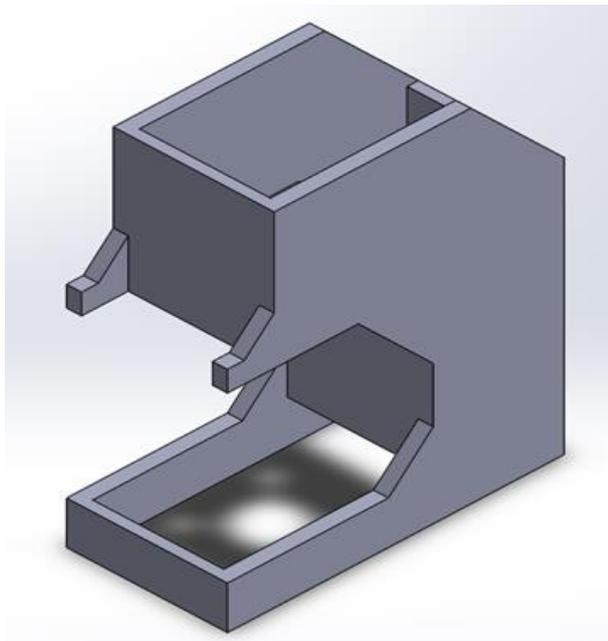


Gambar 3. Pemodelan 3d mesin

Gambar 5. adalah desain rangka mesin yang akan dilakukan optimasi desain.



Gambar 4. Dimensi rangka



Gambar 5. Desain rangka mesin

Simulasi Statis Rangka Mesin Punch

Proses simulasi statis dilakukan untuk mengetahui ketahanan rangka mesin terhadap gaya atau pembebanan yang dihasilkan selama proses produksi mesin berlangsung [16]. Tegangan *von mises* biasanya dipergunakan dalam menentukan kekuatan bahan terhadap

pembebanan tarik *uniaksial* [17]. Simulasi pada *solidworks* 2019 terdapat empat tahapan.

a. Pemilihan material yang digunakan

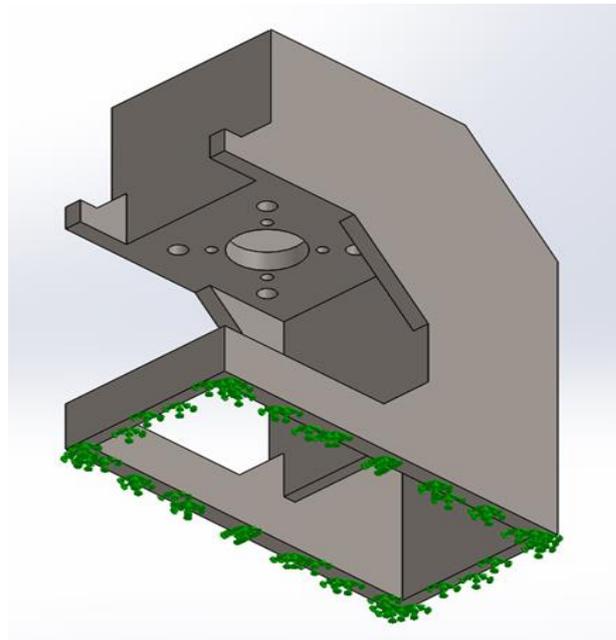
Pada tahap ini, pemilihan material harus sesuai dengan material pada mesin. Material yang digunakan adalah *alloy steel* dengan spesifikasi yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi material *alloy steel* pada perangkat lunak *solidworks* 2019

Property	Value	Units
Elastic modulus	210000	N/mm ²
Poisson's ratio	0,28	N/A
Shear modulus	79000	N/mm ²
Mass density	7700	Kg/m ³
Tensile strength	723.826	N/mm ²
Compressive strength	-	-
Yield strength	620.422	N/mm ²
Thermal expansion coefficient	1.30e-05	/k
Thermal conductivity	50	W(m-K)

b. Menentukan Fixture (tumpuan)

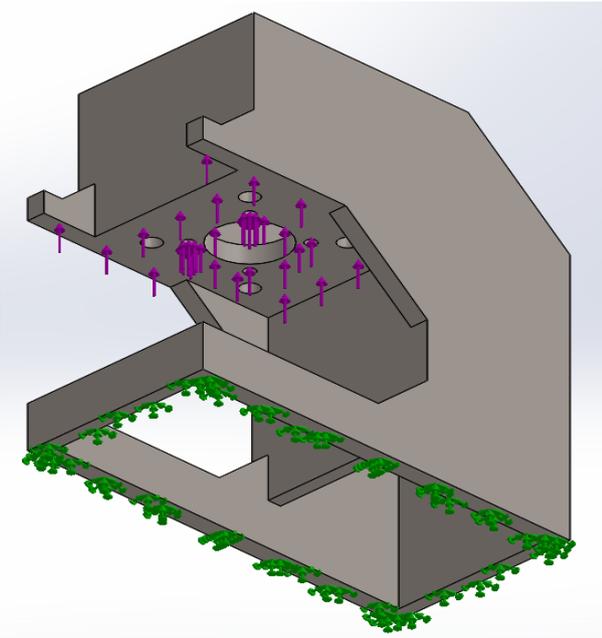
Tumpuan diberikan pada posisi bawah mesin dengan tipe *fixed geometry*. Tumpuan ini mewakili peletakan mesin dan dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Posisi tumpuan mesin punch

c. Penentuan Load (Pembebanan)

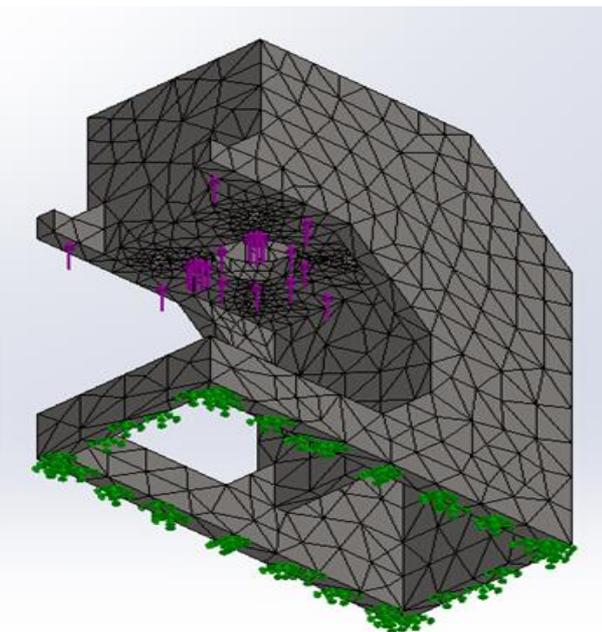
Beban atau gaya diberikan pada *surface* rangka bagian atas. Besarnya beban dan arah yang diberikan sesuai dengan proses produksi mesin saat melakukan *punch* pelat yaitu sebesar 56724,57 N dengan arah atas (*normal to top plane*). Arah beban dan gaya yang diberikan disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Arah beban dan gaya yang diberikan

d. Pembuatan *Meshing*

Meshing merupakan pembagian struktur pada rangka menjadi bagian kecil yang berfungsi untuk memperlihatkan tegangan yang terjadi selama proses analisa statis sampai dengan komponen kecil rangka mesin. *Meshing* yang dipakai menggunakan parameter tipe *curvature-based mesh* dengan parameter *default* dan hasil *meshing* pada rangka mesin *punch* pelat nomor dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. *Meshing* pada rangka mesin *punch* pelat nomor

Proses Optimasi Desain Mesin *Punch* Pelat Nomor

Penelitian dilakukan dengan melakukan optimasi desain (*design study*) pada bagian rangka mesin *punch*. Proses optimasi desain dilakukan untuk mengurangi bobot atau massa dari rangka pada mesin *punch* pelat nomor dengan memperhatikan beban yang dialami mesin. Berikut langkah-langkah dalam melakukan *design study*.

a. Menentukan *variable*

Pada penelitian ini, variabel yang diambil berupa tinggi dan panjang dari rangka mesin *punch* pelat nomor. Kemudian untuk variasi data digunakan tipe *range with step* sehingga dapat diatur dimensi minimal, maksimal, dan besar setiap kenaikan (*step*).

b. Menentukan *constrains*

Safety of factor merupakan parameter *constrains* yang digunakan. FOS minimal yang digunakan adalah 2. Semakin tinggi nilai keamanan yang dihasilkan maka semakin baik tingkat keamanan yang dimiliki oleh struktur tersebut [18]. Dengan referensi acuan analisis statik sebelumnya.

c. Menentukan *goals*.

Massa merupakan tujuan dari optimasi desain ini sehingga didapatkan massa terendah yang bisa diterapkan dengan memperhatikan *factor of safety* dan beban yang terjadi pada mesin.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bahan dan Material

Bahan yang digunakan pada pelat nomor adalah kuningan dengan tebal 0,35 mm. Material ini memiliki sifat yang mudah di bentuk namun kuat sangat cocok sebagai pencetak *serial number*. Material ini memiliki *shear strength* 270 Mpa dan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. *Mechanical properties* kuningan

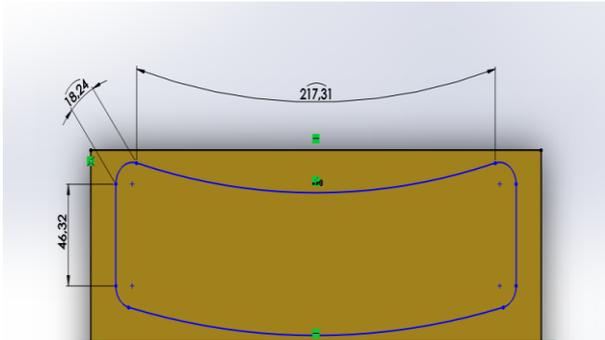
<i>Properties</i>	<i>Units</i>
<i>Tensile strength</i>	360 Mpa
<i>Yield strength</i>	140 Mpa
<i>Shear modulus</i>	39 Gpa
<i>Shear strength</i>	270 Mpa
<i>Elastic modulus</i>	117 Gpa

Menghitung Keliling Pelat

Nilai keliling pelat didapat dengan menjumlahkan panjang sisi pada pelat. Dimensi pada pelat bisa dilihat pada Gambar 9.

Perhitungan menggunakan persamaan keliling yang ditunjukkan pada persamaan (1):

$$\begin{aligned}
 k &= \text{Jumlah sisi} & (1) \\
 k &= (2 \times 217,33 \text{ mm}) + (4 \times 18,24 \text{ mm}) + (2 \times 46,32 \text{ mm}) \\
 k &= 434,66 \text{ mm} + 72,96 \text{ mm} + 92,64 \text{ mm} = 600,26 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



Gambar 9. Dimensi pada pelat yang digunakan pada proses *punch*

Menghitung Luas Penampang pelat

Nilai luas penampang (A) didapat dari perkalian nilai keliling pelat dan tebal pelat. Perhitungan menggunakan persamaan luas penampang ditunjukkan pada persamaan (2).

$$A_0 = k \times T \tag{2}$$

Keterangan :

A_0 = Luas Penampang

k = keliling Pelat

T = Tebal

$$A_0 = k \times T$$

$$A_0 = 600,26 \text{ mm} \times 0,35 \text{ mm}$$

$$A_0 = 210,091 \text{ mm}$$

Menghitung Gaya yang ditimbulkan Saat Proses Punch

Nilai gaya diperoleh dari perkalian antar nilai keliling pelat dan tegangan geser dari kuningan. Gaya ini digunakan untuk Perhitungan menggunakan persamaan (3).

$$\tau = \frac{f}{A_0} \tag{3}$$

Keterangan:

τ = tegangan geser

f = Gaya yang timbul saat proses *punch*

A_0 = Luas Penampang

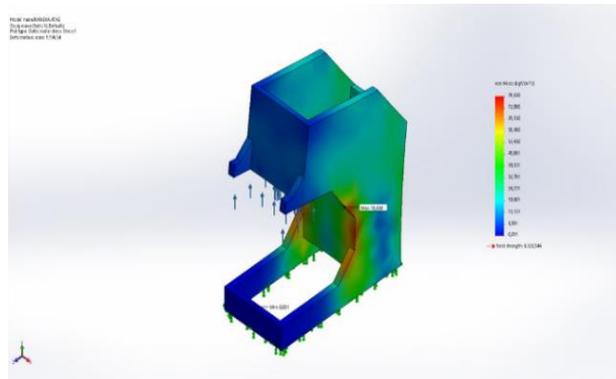
$$\tau = \frac{f}{A_0}$$

$$f = 270 \text{ N/mm}^2 \times 210,091 \text{ mm}^2 = 56724,57 \text{ N}$$

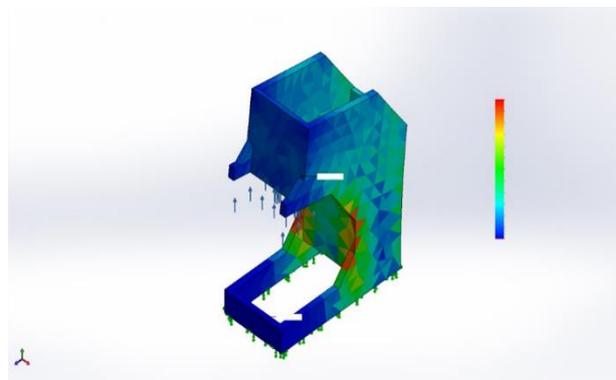
Hasil Simulasi Statik Mesin Punch Pelat Nomor

Hasil yang diperoleh dari metode komputerisasi tidak jauh berbeda dengan hasil pengujian dan perhitungan secara manual [19]. Hasil simulasi yang dihasilkan pada proses analisa statik adalah tegangan *von mises*, *Strain* dan *Factor of Safety*. Pada hasil tegangan *von mises* didapatkan nilai minimal 0,031 kgf/cm² dan nilai

maksimal 78,630 kgf/cm². Hasil dapat dilihat pada **Gambar 10**. Warna menunjukkan adanya distribusi tegangan yang terjadi. gradasi warna dari tegangan terendah ditunjukkan dengan warna merah sampai tegangan tertinggi ditunjukkan dengan warna biru. Hasil *strain* terlihat pada **Gambar 11**. nilai minimal *strain* yaitu 80,460 pada *node* 132 ditunjukkan dengan warna merah dan nilai maksimal *strain* sebesar 200.989,766 pada *node* 79 dengan ditunjukkan dengan warna biru.

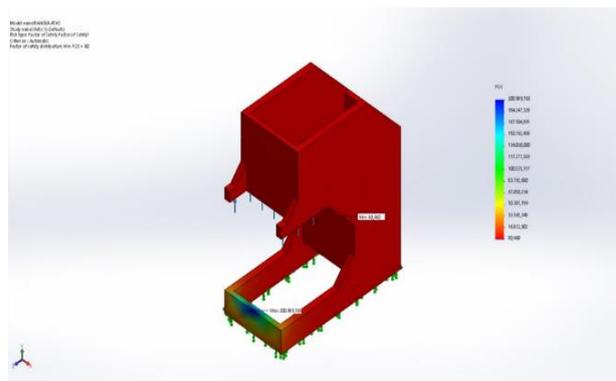


Gambar 10. Hasil analisa statis tegangan *von mises*



Gambar 11. Hasil simulasi statis *strain*

Gambar 12. menunjukkan *Factor of Safety* pada hasil analisa statik pada rangka mesin *punch* pelat nomor. Nilai maksimal yang didapatkan adalah 200.989,76 FOS dan nilai minimal yaitu 80,460 FOS. Posisi nilai maksimal dan minimum ditandai dengan gradasi warna biru untuk nilai maksimal dan merah untuk yang nilai minimal.



Gambar 12. Hasil simulasi statis *factor of safety*

Hasil Optimasi Desain (*Design Study*) pada mesin punch Pelat Nomor

Pengoptimalan desain menggunakan *design study* yang bertujuan untuk mengurangi massa mesin *punch* menjadi lebih ringan, yang mana nilai masa menurun dengan memperhatikan tegangan yang terjadi akibat gaya yang diberikan dan *factor of safety* minimum 2.

Gambar 13. menunjukkan hasil proses optimasi mesin *punch plat* nomor pada posisi maksimum. Proses ini menggunakan fitur *design study* yang terdapat pada perangkat lunak *Solidworks* 2019 dengan mengutamakan pengurangan massa dan dimensi kerangka. Parameter *design study* yang diberikan dapat dilihat pada Tabel 3., Tabel 4. dan Tabel 5.

a. Design Variable

Tabel 3. Design variables

Name	Type	Value	Units
Tebal A	Range with step	Min: 10 Step: 25 Max: 55	mm
Tebal B	Range with step	Min: 10 Step 25 max: 50	mm
Tebal C	Range with step	Min: 10 Step 25 Max 30	mm
Tebal D	Range with step	Min: 15 Step: 26 max: 65	mm

b. Constraints

Tabel 4. Data constrains

Sensor name	Condition	Bounds	Study name
Minimum factor of safety1	Is greater than	Min:2.000000	Static 1

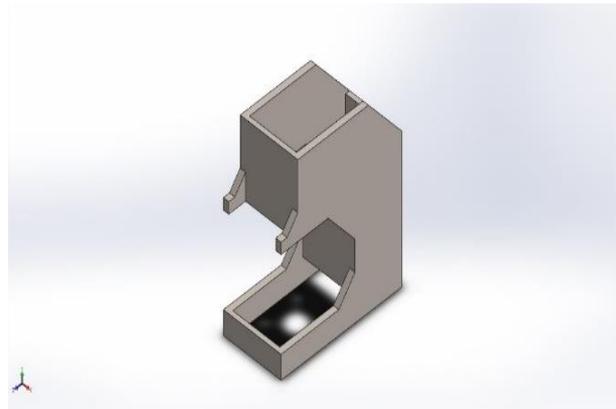
c. Goals

Tabel 5. Data goals

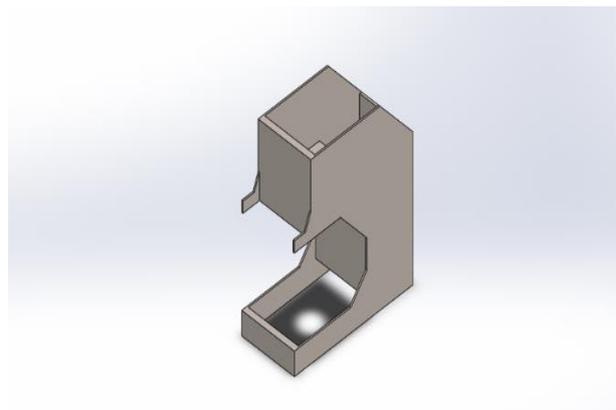
Name	Goal	Properties	Weight
Mass1	Minimize	Mass	10

Berikut perbandingan desain awal dan *design study* yang ditunjukkan pada Gambar 13. dan Gambar 14. Berdasarkan data yang dihasilkan menunjukkan bahwa massa dari desain awal lebih besar dibandingkan dengan desain akhir yang telah dilakukan optimasi. Hal ini disebabkan oleh pengaruh ketebalan dari desain yang

dibuat. Data Perbandingan pada desain awal dan desain akhir disajikan pada Tabel 6.



Gambar 13. Desain awal rangka mesin punch pelat nomor



Gambar 14. Desain akhir kerangka mesin punch pelat nomor

Tabel 6. Perbandingan pada desain awal dan desain akhir

Component name	Units	Desain awal	Desain akhir
Tebal A	mm	40	55
Tebal B	mm	40	10
Tebal C	mm	40	10
Tebal D	mm	80	15
Minimum Factor of Safety	FOS	63	31
Massa	g	76565	54695

PENUTUP

Simpulan

Hasil analisis statis dan optimasi desain telah dilakukan pada rangka mesin *punch* pelat nomor menggunakan perangkat lunak *solidworks* 2019, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Tegangan *von mises* pada rangka sebelum dilakukan optimasi yaitu nilai minimal sebesar 0,202 kgf/cm² dan nilai maksimum sebesar 1390,6 kgf/cm², kemudian setelah dilakukan optimasi didapatkan nilai

minimal sebesar 0,031 kgf/cm² dan nilai maksimal 78,630 kgf/cm².

2. *Strain* yang terjadi pada rangka sebelum dilakukan optimasi yaitu nilai minimal adalah 0,06 pada *node* 10 dan nilai maksimal 33.209,6 pada *node* 132. Kemudian setelah dilakukan optimasi desain nilai minimal yang didapatkan sebesar 80,460 pada *node* 132 dan maksimal *strain* sebesar 200.989,766 pada *node* 79.
3. Nilai *safety factor* pada desain awal adalah 63 FOS dan pada desain akhir sebesar 31 FOS.
4. Massa rangka pada awal desain sebesar 76565 gram dan pada akhir desain sebesar 54695 gram.

Saran

Berdasarkan hasil yang didapatkan maka ketika membuat mesin harus memperhatikan keakuratan dimensi 3D mesin. Selain itu posisi pembebanan pada proses analisa statis sangat krusial karena jika salah penempatan dan arah gaya dapat mempengaruhi hasil optimasi desain.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Fonna, *Pengembangan Revolusi Industri 4.0 dalam Berbagai Bidang*. Guepedia, 2019.
- [2] Wattimena, R. M., Sutadi, L. Y., Sumiyarso, B., Tjahjono, B., & Saputra, E. (2021, December). Rancang Bangun Cetakan Untuk Mengubah Limbah Plat Baja Hasil Praktik Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Menjadi Rantai. In *Prosiding Seminar Nasional NCIET* (Vol. 2, No. 1, pp. 187-194).
- [3] Majid, D. A., Winarso, R., & Qomaruddin, Q. (2019). Rancang Bangun Rangka Mesin Planer Kayu Otomatis Dengan Penggerak Motor Listrik. *Jurnal Crankshaft*, 2(1), 25-34.
- [4] A. Sasmito, "Disain Kekuatan Sambungan Hoop Pillar Dan Floor Bearer Pada Struktur Rangka Bus Menggunakan Solidworks," *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro dan Ilmu Komputer*, vol. 9, no. 1, pp. 657-670, 2018.
- [5] B. V. Ramnath *et al.*, "Analysis and optimization of gating system for commutator end bracket," *Procedia materials science*, vol. 6, pp. 1312-1328, 2014.
- [6] I. T. Maulana, A. Zohari, A. S. Wardoyo, and P. A. Heryanto, "Analisa Desain Rangka Alat Compact Heat Induction Press Menggunakan Metode Finite Element Analysis," *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, vol. 5, no. 2, pp. 83-89, 2021.
- [7] Rahmi, M., Canra, D., & Suliono, S. (2018). Analisis Kekuatan Ball Valve Akibat Tekanan Fluida Menggunakan Finite Element Analysis. *JTT (Jurnal Teknologi Terapan)*, 4(2), 79-84.
- [8] L. Liang *et al.*, "Machine learning-based 3-D geometry reconstruction and modeling of aortic valve deformation using 3-D computed tomography images," *International journal for numerical methods in biomedical engineering*, vol. 33, no. 5, p. e2827, 2017.
- [9] S. Zhang, Y. Zhan, and D. N. Metaxas, "Deformable segmentation via sparse representation and dictionary learning," *Medical image analysis*, vol. 16, no. 7, pp. 1385-1396, 2012.
- [10] L. H. Staib and J. S. Duncan, "Model-based deformable surface finding for medical images," *IEEE transactions on medical imaging*, vol. 15, no. 5, pp. 720-731, 1996.
- [11] J. Yang and J. S. Duncan, "3D image segmentation of deformable objects with joint shape-intensity prior models using level sets," *Medical image analysis*, vol. 8, no. 3, pp. 285-294, 2004.
- [12] A. M. Pouch *et al.*, "Fully automatic segmentation of the mitral leaflets in 3D transesophageal echocardiographic images using multi-atlas joint label fusion and deformable medial modeling," *Medical image analysis*, vol. 18, no. 1, pp. 118-129, 2014.
- [13] Y. Yu, S. Zhang, J. Huang, D. Metaxas, and L. Axel, "Sparse deformable models with application to cardiac motion analysis," in *International Conference on Information Processing in Medical Imaging*, 2013, pp. 208-219.
- [14] D. Krisbianto, D. Rahmalina, and A. Suwandi, "Optimasi Desain Gating System Proses Die Casting Cold Chamber Menurunkan Cacat Produk," *JURNAL KAJIAN TEKNIK MESIN*, vol. 4, no. 2, pp. 50-67, 2019.
- [15] M. Syaukani, F. Paundra, F. Qalbina, I. D. Arirohman, P. Yunesti, and S. Sabar, "Desain dan Analisis Mesin Press Komposit Kapasitas 20 Ton," *Journal of Science, Technology, and Visual Culture*, vol. 1, no. 1, pp. 29-34, 2021.
- [16] E. Suryono, N. W. Darmaatmadja, and B. Margono, "Optimasi Alur Pasak Dengan Variasi Fillet Dan Chamfer Untuk Meningkatkan Kekuatan Poros Aisi 1045," *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin*, vol. 22, no. 2, pp. 118-128, 2021.
- [17] K. Kadir, "Simulasi Tegangan Von Mises Dan Analisa Safety Factor Gantry Crane Kapasitas 3 Ton," *Dinamika: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 8, no. 2, pp. 1-4.
- [18] A. K. Riyadi, S. T. Dwiwati, A. Rianto, A. Ilahi, and P. P. T. Mesin, "Rancang Bangun Alat Cetak Briket Sebagai energi Alternatif di Kepulauan Terpencil," *Prodi Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik. Universitas Negeri Jakarta,(Online)*, pp. 228-232, 2016.

- [19] Pris, F. R., Suyitno, B. M., & Suhadi, A. (2019). Analisis Kekuatan Velg Aluminium Alloy 17 Inc Dari Berbagai Desain Menggunakan Metode Finite Element Analysis (FEA). *Teknobiz: Jurnal Ilmiah Program Studi Magister Teknik Mesin*, 9(2), 33-39.