



INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research

Volume 3 Nomor 5 Tahun 2023 Page 3856-3872

E-ISSN 2807-4238 and P-ISSN 2807-4246

Website: <https://j-innovative.org/index.php/Innovative>

Analisis Pembebanan Dinamis Pada Struktur Frame 3d Printing Core XY

Muhammad Zafran Mardhotillah^{1✉}, Almadora Anwar Sani², Indra Gunawan³

Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang

Email: almadora@polsri.ac.id^{1✉}

Abstrak

Perkembangan teknologi mengalami kemajuan yang sangat cepat. Mesin merupakan salah satu teknologi yang muncul. Dari mesin-mesin yang sudah ada yang telah didesain ulang untuk memenuhi kebutuhan zaman, termasuk pencetakan 3D. Bagian terpenting dari pencetakan 3D adalah kerangka (frame). Frame 3D printing harus mampu menahan beban yang berbeda. Karena rangka harus tahan terhadap beban dinamis selama bergerak. Studi ini berfokus pada Analisis Dinamis pada kerangka menggunakan Bahan Profil Aluminium (6063-T5). Tujuannya adalah untuk menghindari masalah beban pada struktur dan memastikan struktur aman saat menopang beban. Ada banyak program yang mendukung simulasi pembebanan dinamis, tapi sekarang peneliti menggunakan perangkat lunak Ansys Student 2023 yang menggunakan metode elemen hingga untuk pembebanan dinamis dalam frame 3D printing. Untuk mendapatkan hasil simulasi yang optimal dengan ansys, maka dilakukan penelitian yang dimulai dari desain rangka, pemilihan constraint, memasukkan jenis material, melakukan cleaning geometri, pemilihan meshing, memasukkan fixtures dan running simulation. Pembebanan yang diberikan pada simulasi ini merupakan beban dinamis dari motor yang bergerak secara vertikal ke kiri dan ke kanan saat 3D Printing mencetak sebuah spesimen. Beban dinamis yang terjadi memiliki nilai deformasi yang relatif bagus yaitu 0,00013674 m pada saat kondisi beban dinamis dan 0,000019 m pada saat kondisi beban statis sehingga dapat dikategorikan aman untuk digunakan. Menentukan Constraint, Constraint yang di berikan berupa fixed geometry pada frame 3D Printer. Meshing pada simulasi saat ini, frame dijadikan 158541 elements dan 744085 node.

Kata Kunci : *3D Printing, Dinamis, Deformasi, Ansys, MEH*

Abstract

Technological developments are progressing very fast. The machine is one of the emerging technologies. From existing machines that have been redesigned to meet the needs of the times, including 3D printing. The most important part of 3D printing is the frame. The 3D printing frame must be able to withstand different loads. Because the frame must withstand dynamic loads during movement. This study focuses on Dynamic Analysis of the frame using Aluminum Profile Material (6063-T5). The aim is to avoid load problems on the structure and ensure the structure is safe when supporting the load. There are many programs that support dynamic loading simulation, but now researchers use Ansys Student 2023 software which uses the finite element method for dynamic loading in 3D printing frames. To get optimal simulation results with ansys, research is carried out starting from frame design, selecting constraints, entering material types, cleaning geometry, selecting meshing, entering fixtures and running simulations. The load given in this simulation is the dynamic load from the motor which moves vertically left and right when 3D Printing prints a specimen. The dynamic load that occurs has a relatively good deformation value of 0.00013674 m under dynamic load conditions and 0.000019 m during static load conditions so that it can be categorized as safe to use. Define Constraints, Constraints that are given are in the form of fixed geometry on the 3D Printer frame. Meshing in the current simulation, the frame is made up of 158541 elements and 744085 nodes. Keyword: *3D Printing, Dynamic, Deformation, Ansys, MEH*

PENDAHULUAN

Menurut (Attaran, 2017) menjelaskan bahwa Teknologi 3D printing membawa perubahan besar pada dunia. Teknologi yang juga dikenal dengan sebutan Additive Layer Manufacturing ini sebenarnya sudah ada sejak tahun 1980-an. 3D printing merupakan sebuah terobosan baru dalam dunia teknologi. Terobosan ini sangatlah populer di seluruh belahan dunia, terutama di kalangan akademisi dan industri (Novakova-Marcincinova & Kuric, 2012). Munculnya teknologi 3D Printing sangat berpengaruh pada beberapa bidang industri, terutama dari segi ekonomi. Rapid Prototyping pada komponen mekanik dengan teknik-teknik dan volume produksi yang rendah dalam memproduksi prototype dengan cepat (Abidin & Rama, 2015).

3D Printing memiliki potensi yang besar dalam dunia manufaktur saat ini. Pembuatan produk secara cepat dari suatu model CAD merupakan tuntutan yang sangat penting mengingat kecenderungan proses pembuatan produk harus dapat dilakukan dengan waktu yang lebih pendek. Pembuatan produk dengan cara Rapid Prototyping tidak memerlukan perencanaan proses seperti pada umumnya untuk membuat suatu produk, tetapi hanya berdasarkan informasi model 3D dari suatu produk saja (Andriyansyah et al., 2021).

Penelitian yang dilakukan oleh (Seprianto & Wilza, 2017) tentang bagaimana membuat produk yang lebih variatif (high variety) dengan harga murah (low price). Prinsip ini dikenal dengan build to order, produk yang disesuaikan namun dapat diproduksi secara massal pula. Metode yang dapat menjawab tantangan tersebut adalah additive manufacturing menggunakan alat 3D Printing (Morales Cantú & Wisalchai Jonsson, 2012). Pembuatan objek menggunakan 3D Printing memanfaatkan data CAD yang telah terlebih dahulu dibuat (Darianto et al., 2018). Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kombinasi parameter optimal pada proses pembuatan objek 3D Printing sehingga menghasilkan geometri yang akurat sesuai dengan yang direncanakan. Parameter proses yang diinvestigasi adalah layer height, print speed, perimeter shells dan waktu polishing. Spesimen uji dibuat dengan material polysmooth TM mengacu ASTM D995-08 menggunakan 3D Printer type Fused Deposition Modeling (FDM) (Islami et al., 2022). Data hasil pengukuran dianalisa menggunakan ANOVA dengan design type 2 level factorial dan design model 4 factorial interactions (4FI) berbantuan perangkat lunak Design-Expert® versi trial. Hasil ANOVA diketahui bahwa faktor-faktor secara signifikan ($\alpha=0.05$) berpengaruh terhadap geometri objek 3D Printing dan kombinasi parameter optimal yaitu layer height=0.14 mm, print speed=51.73 m/s, perimeter shells=3 mm dengan waktu polishing=20 menit (Fauzi, 2013).

Maka dari itu pembuatan desain sangatlah penting dalam dunia sekarang, baik itu mengaplikasikannya, menganalisis produk keseharian yang sesuai selera, yang diinginkan dan permintaan pasar sehingga pembuatan desain 3D sangatlah dibutuhkan, tidak hanya di dunia industri tetapi sangat berperan dalam kehidupan sehari-hari (Hidajat & Lulus, 2005). Dalam hal ini kita memerlukan kualitas bahan dan alat yang kuat dalam mempengaruhi kualitas cetakan. Dalam hal ini saya akan menganalisis tentang beban dinamis pada 3D printing yang akan mengakibatkan kerusakan pada bagian rangka (frame) lainnya. Dari uraian diatas maka penelitian ini akan membahas tentang "Analisis Pembebanan Dinamis Pada Struktur Frame 3d Printing Core XY"

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini dimulai dengan mencari sumber informasi, mencari data-data yang diperlukan, dan mencari literatur tentang penelitian sejenis atau yang berkaitan dengan penelitian ini. Kemudian membuat konsep desain dan perancangan mesin 3D printing core XY yang meliputi pemilihan bahan dan proses, perhitungan secara teoritis dan proses numerik. Penelitian ini dilakukan secara komputasi numeris berbasis komputer. Metode Penelitian menggunakan Metode Elemen Hingga.

Metode elemen hingga/Finite Element Method (FEM) adalah prosedur numerik untuk memperoleh solusi. Metode Analisis dilakukan dengan menggunakan Metode Elemen Hingga dengan perangkat lunak Ansys Workbench (Isworu & Ansyah, 2018).

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Langkah-Langkah Simulasi

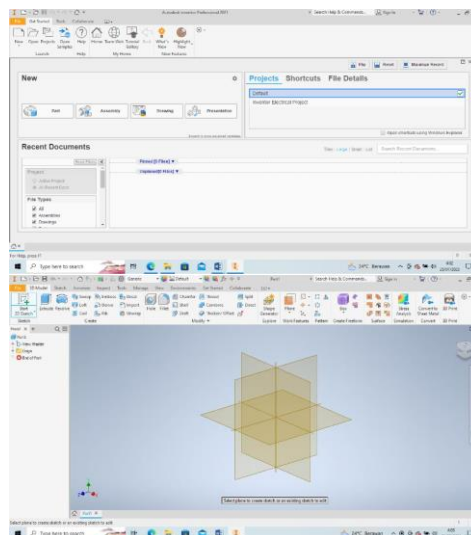
Pembuatan CAD *part frame 3D Printing*

- a. Buka *Software Inventor* dan pilih perintah *new*. Lalu pilih *create*.



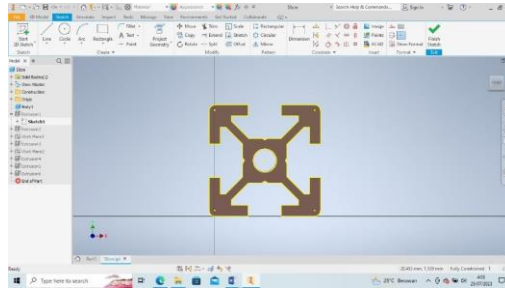
Gambar 1 Open Inventor

- b. Lalu pilih *part* dan memilih bidang kerja yang ingin dipakai



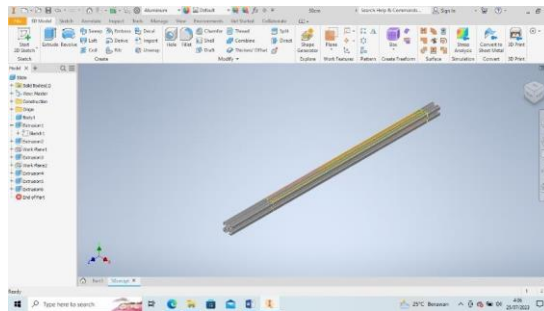
Gambar 2 Pemilihan *Part* dan Bidang Kerja

- c. Setelah memilih bidang kerja yang akan dipakai, selanjutnya membuat sketch seperti gambar dibawah ini. Gambar dibawah ini adalah bagian dari frame. Setelah selesai klik *finish sketch*.



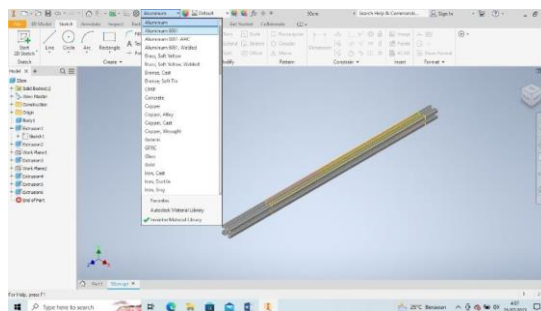
Gambar 3 *Sketch Part Frame*

- d. Kemudian pilih perintah *extrude* untuk memberikan ketebalan.



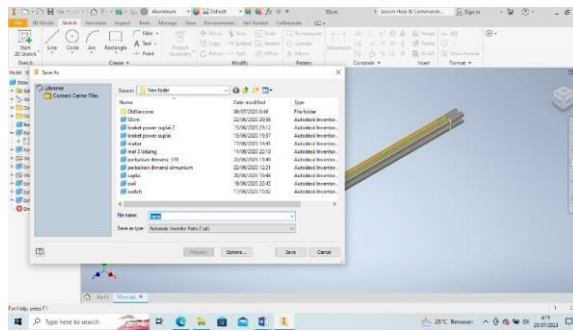
Gambar 4 Memberi Ketebalan Model

- e. Memilih material yang digunakan untuk *part* tersebut



Gambar 5 Memilih Material Model

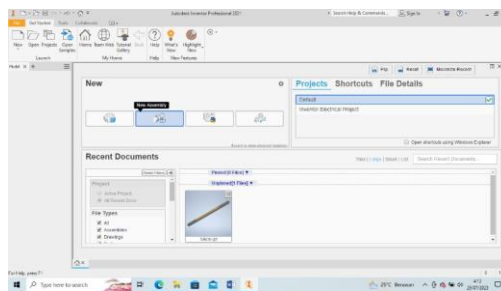
- f. Simpan *part* tersebut yang telah dibuat dengan format IPT (Part File)



Gambar 6 Part Frame Selesai

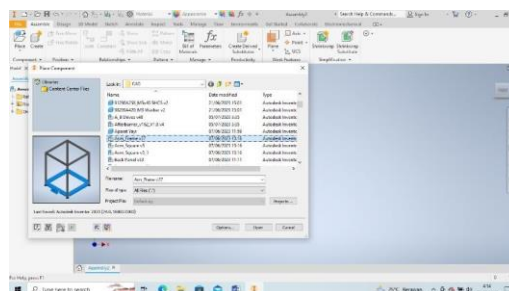
Tahap *Assembly Frame 3D Printing*

- a. Buka software inventor, lalu pilih *assembly*.



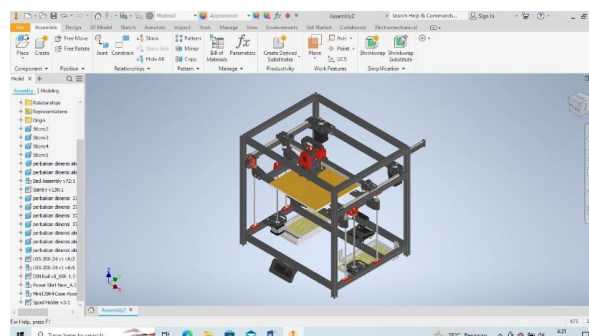
Gambar 7 Open Assembly

- b. Lalu pilih browse untuk menginput komponen yang akan *diassembly*.



Gambar 8 Input Components

- c. Setelah digabungkan seluruh *part* menjadi satu *frame 3D Printing* dengan menggunakan. Lalu simpanlah *assembly* tersebut dengan format IPT (File Assembly).

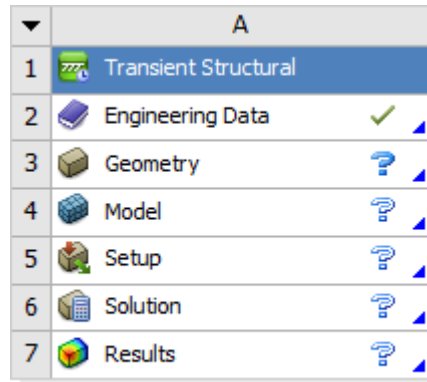


Gambar 9 *Assembly Finish*

2. Tahap Simulasi Pembebanan dinamis pada *Frame 3D Printing (CAE)*

Simulasi yang dilakukan terhadap rangka 3D *print* ialah pengujian beban vertikal, beban vertikal yang diberikan berasal dari beban elektronik seperti *extruder*, dan motor. Metode atau modul yang digunakan ialah modul *Transient Structural* (Amri & Sumbodo, 2018).

- a. Buka dahulu file *Assembly 3D Printing* yang akan dianalisa. Lalu klik pada menu *Transient Structural*.



Transient Structural
Gambar 10 Modul *Project Schematic*

b. Material

Terdapat 3 material yang digunakan pada desain rangka tersebut, yaitu Aluminium Alloy, PLA, dan Carbon Fiber. Berikut dibawah merupakan material *properties* yang digunakan.

A		B	C	D	E
Property		Value	Unit		
1	Material Field Variables	Table			
2	Density	2770	kg m ⁻³		
3	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
4	Coefficient of Thermal Expansion	2,3E-05	C ⁻¹		
5	Isotropic Elasticity				
6	Derive from	Young's Modulus and Poisson...			
7	Young's Modulus	7,1E+10	Pa		
8	Poisson's Ratio	0,33			
9	Bulk Modulus	6,9608E+10	Pa		
10	Shear Modulus	2,6692E+10	Pa		
11	S-N Curve	Tabular			
12	Tensile Yield Strength	2,8E+08	Pa		
13	Compressive Yield Strength	2,8E+08	Pa		
14	Tensile Ultimate Strength	3,1E+08	Pa		
15	Compressive Ultimate Strength	0	Pa		

Gambar 11 Alluminium Profile 6063-T

A		B	C	D	E
Property		Value	Unit		
1	Material Field Variables	Table			
2	Density	1,3	g cm ⁻³		
3	Isotropic Elasticity				
4	Derive from	Young's Modulus and Poisson...			
5	Young's Modulus	3,5E+09	Pa		
6	Poisson's Ratio	0,4			
7	Bulk Modulus	5,8333E+09	Pa		
8	Shear Modulus	1,25E+09	Pa		
9	Tensile Yield Strength	35,9	MPa		
10	Tensile Ultimate Strength	26,4	MPa		

Gambar 12 PLA

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Density	1,8E-09	mm ³ -3 t		
3	Orthotropic Elasticity				
13	Tensile Yield Strength	2500	MPa		

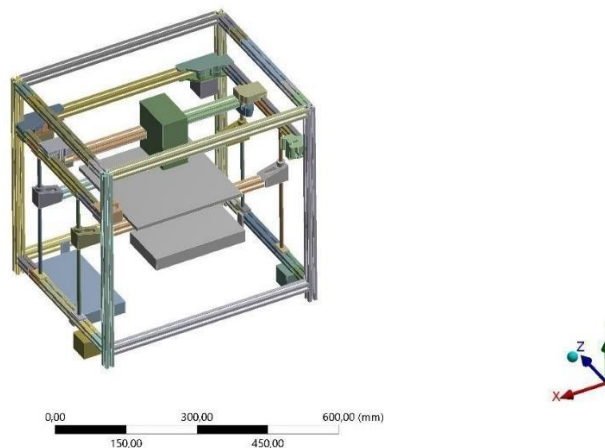
Gambar 13 Fiber

c. *Cleaning Geometri*

Bertujuan untuk menghilangkan bentuk detail yang tidak mempunyai pengaruh signifikan terhadap analisis. Bertujuan untuk menghilangkan bentuk yang terlalu detail yang dapat mengakibatkan proses *meshing* yang lama.

Hasil *Cleaning Geometri* :

Model
25/07/2023 11:06



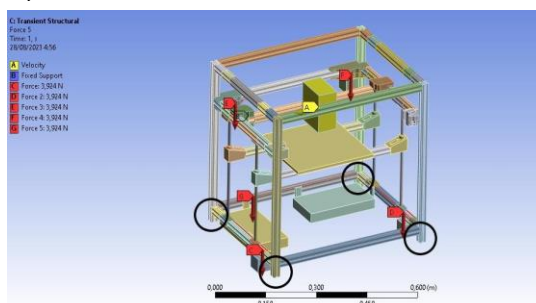
Gambar 14 Hasil Cleaning Geometri

Setup Condition

Boundary condition yang di *input* pada analisis terdiri dari:

a. Uji Beban Vertikal.

Uji beban vertikal ini dilakukan pada beberapa titik *frame* yang dimana terjadi pembebanan yang diakibatkan oleh berat dari masing masing komponen *electrical* seperti *extruder*, PSU, dan motor. Yang masing – masing komponen *electrical* tersebut memiliki berat 3,924 N. Rangka tersebut memiliki 4 titik tumpuan (*fix support*) (Ramadhan et al., 2022).



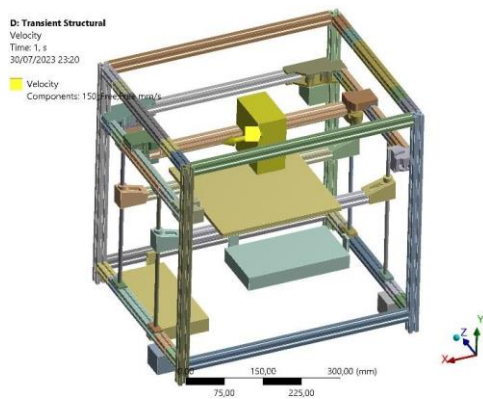
Gambar 15 Lokasi Titik Pembebanan

b. Velocity

Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Body
Definition	
Type	Velocity
Define By	Components
Coordinate System	Global Coordinate System
<input type="checkbox"/> X Component	150, mm/s (step applied)
Y Component	Free
Z Component	Free
Suppressed	No

Gambar 16 *Setup Velocity*

Pada bagian velocity dilakukan setup seperti gambar diatas, untuk geometri yang dipilih ialah bagian extruder yang menuju arah sumbu X, seperti gambar dibawah.

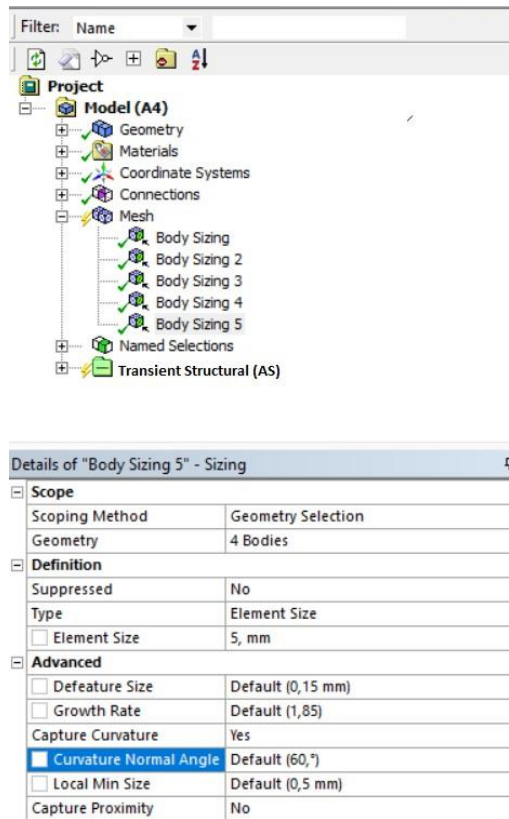


Gambar 17 Arah Gerak *Extruder*

c. Meshing Setup

Details of "Mesh"	
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Element Order	Program Controlled
<input type="checkbox"/> Element Size	30, mm
Sizing	
Use Adaptive Sizi...	No
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1,85)
<input type="checkbox"/> Max Size	60, mm
Mesh Defeaturing	Yes
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default (0,15 mm)
Capture Curvature	Yes
<input type="checkbox"/> Curvature Mi...	0,5 mm
<input type="checkbox"/> Curvature Nor...	60,°
Capture Proximity	No

Gambar 18 *Meshing Setup General*

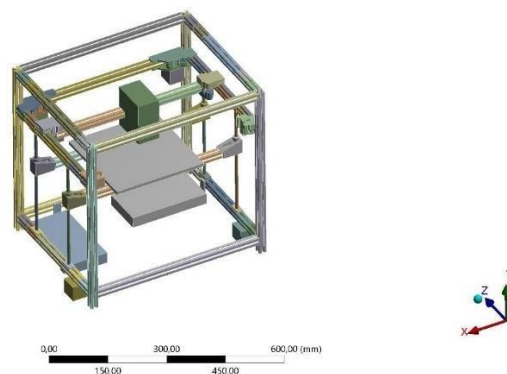


Gambar 19 Meshing Setup Detail

Pada proses meshing Physics Preference yang digunakan yaitu Mechanical, size function yang digunakan yaitu Curvature, nilai curvature normal angle sebesar 60° , Minimal ukuran size sebesar 0.5 mm, dan ukuran face size maksimal sebesar 60 mm.

3. Hasil Desain Preparation

Model
25/07/2023 11:06



Gambar 20 Design Preparation

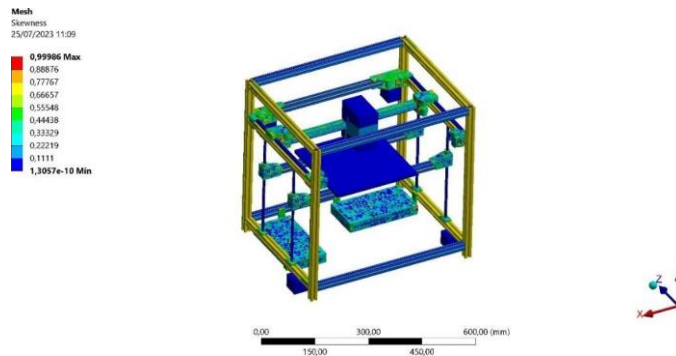
Guna analisis di dalam Ansys, pertama-tama harus dilakukan proses cleaning geometri. Tujuan dari proses cleaning ini agar simulasi tidak menjadi berat dikarenakan part-part tidak perlu, contour-contour tidak perlu, dan me-repair titik, garis, maupun face yang rusak pada desain (Segerlind, 1991).

4. Hasil Meshing

Statistics	
Nodes	744085
Elements	158541

Gambar 21 Nilai *Nodes* dan *Elements*

Untuk kualitas hasil meshing sendiri diukur menggunakan metode skewness, dan mendapatkan hasil di nilai rata-rata sebesar 0.55548.



Gambar 22 Besaran Nilai Hasil *Meshing* Metode *Skewness*

Menurut skewness mesh metrics spectrum yang didapatkan dari Web Resmi Ansys, bahwa nilai mesh sebesar 0.55548 menggambarkan kualitas mesh yang baik.

Skewness mesh metrics spectrum:

Excellent	Very good	Good	Acceptable	Bad	Unacceptable
0-0.25	0.25-0.50	0.50-0.80	0.80-0.94	0.95-0.97	0.98-1.00

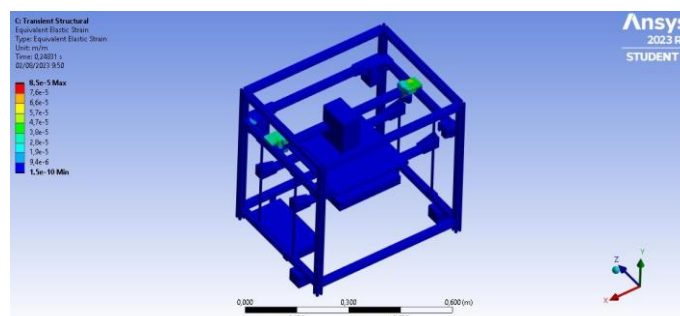
Orthogonal Quality mesh metrics spectrum:

Unacceptable	Bad	Acceptable	Good	Very good	Excellent
0-0.001	0.001-0.14	0.15-0.20	0.20-0.69	0.70-0.95	0.95-1.00

Gambar 23 *Skewness and Orthogonal Quality Mesh Metrics Spectrum*

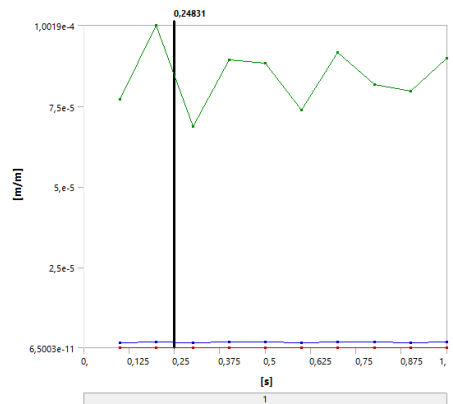
5. Hasil Simulasi Rangka *Transient Structural*

a. *Equivalent Elastic Strain*



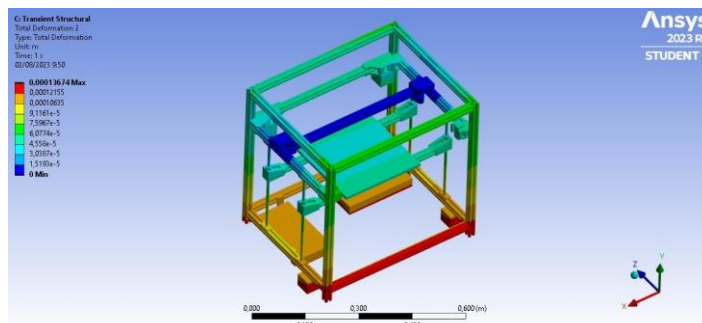
Gambar 24 Hasil *Elastic Strain Transient Structural*

Hasil dari pengujian *elastic strain*, nilai maksimal terdapat pada area masing *frame* dan *bracket* yang terdapat komponen *electrical*. Nilai terbesarnya yaitu $8,5 \times 10^{-5}$ mm. Dapat dilihat angka minimum, rata – rata dan maksimum pada gambar grafik dibawah (Wicaksono et al., 2021).



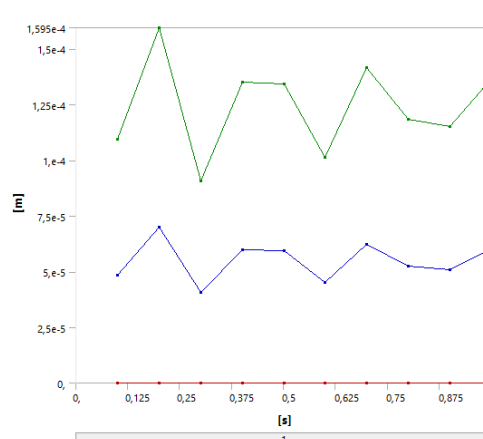
Gambar 25 Grafik *Elastic Strain Transient Structural*

b. Total Deformasi



Gambar 26 Hasil Total Deformasi *Transient Structural*

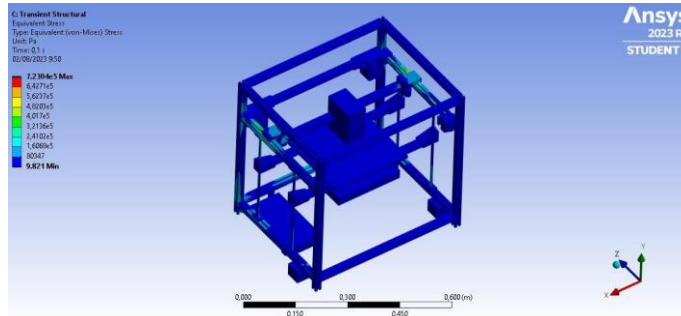
Hasil dari pengujian total deformasi didapatkan nilai maksimal ialah sebesar



0,00013674 m. Dapat dilihat angka minimum, rata – rata dan maksimum pada gambar grafik dibawah.

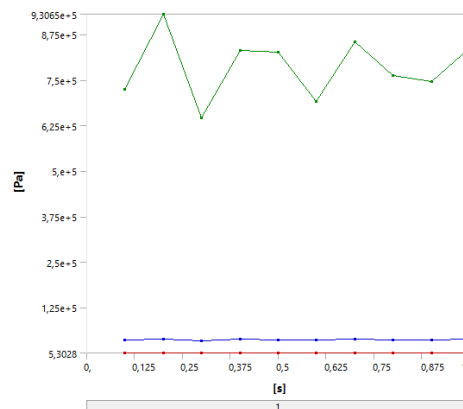
Gambar 27 Grafik Total Deformasi *Transient Structural*

c. *Equivalent Stress (Von Mises)*



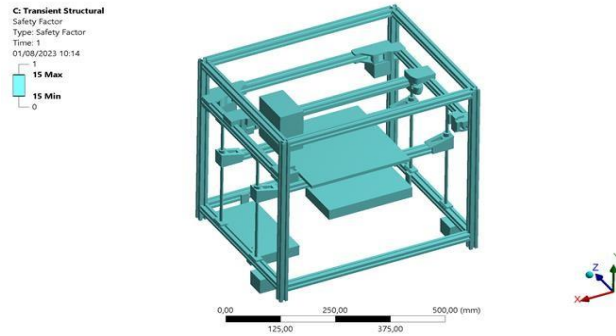
Gambar 28 Hasil *Equivalent Stress Transient Structural*

Dari hasil uji pembebanan vertikal didapatkan nilai maksimal *equivalent stress* sebesar $7,2304 \times 10^{-5}$ MPa pada area *frame*. Dapat dilihat angka minimum, rata – rata dan maksimum pada gambar grafik dibawah.



Gambar 29 Grafik *Equivalent Stress Transient Structural*

d. *Safety Factor*

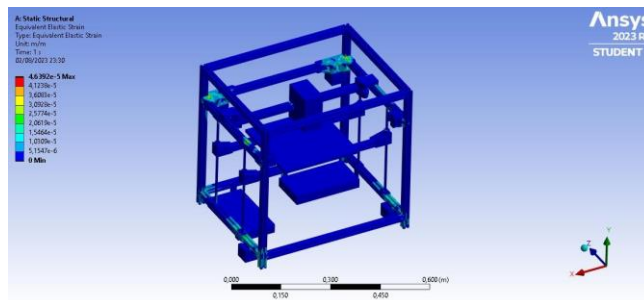


Gambar 30 *Safety Factor Transient Structural*

Hasil dari pengujian *Safety Factor* didapatkan nilai *Safety factor*nya ialah 15.

6. Hasil Simulasi Rangka *Static Structural*

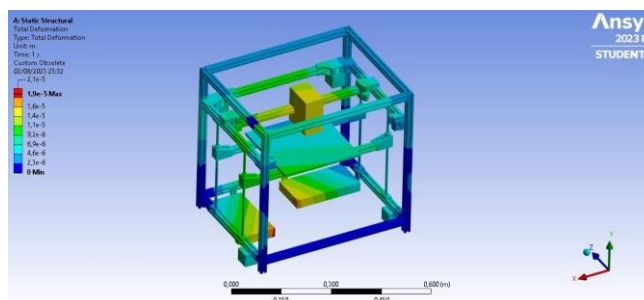
a. *Equivalent Elastic Strain*



Gambar 31 *Hasil Elastic Strain Static Structural*

Hasil dari pengujian *elastic strain*, nilai maksimal terdapat pada area *framedan bracket* yang terdapat komponen *electrical*. Nilai terbesarnya yaitu $4,6392 \times 10^{-5}$ mm.

b. *Total Deformasi*

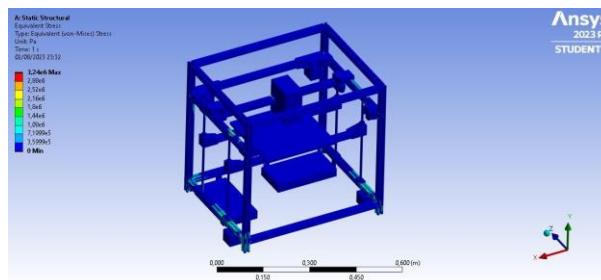


Gambar 32 Hasil Total Deformasi *Static Structural*

Hasil dari pengujian Total Deformasi didapatkan nilai maksimal ialah sebesar 0,000019

m untuk total deformasi yang tergambar pada area komponen psu dapat diabaikan, fokus pada bagian frame dan bracket.

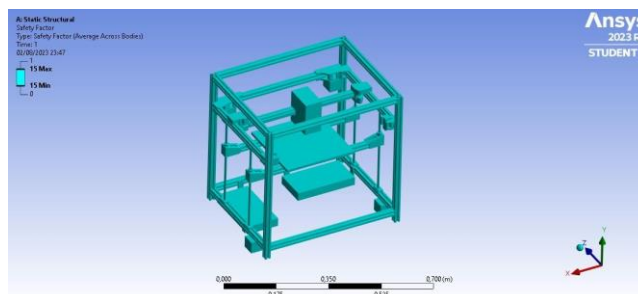
c. Equivalent Stress (Von Mises)



Gambar 33 Hasil *Equivalent Stress Static Structural*

Dari hasil uji pembebanan vertikal didapatkan nilai maksimal *equivalent stress* sebesar $3,24 \times 10^6$ Mpa pada area *frame*.

d. Safety Factor



Gambar 34 *Safety Factor Static Structural*

Hasil dari pengujian Safety Factor didapatkan nilai Safety factor nya ialah dari hasil uji vertikal beban statis dan dinamis untuk design rangka 3D Printing, dapat disimpulkan bahwa design sudah sangat aman menahan beban dengan kondisi yang telah dijelaskan sebelumnya. Hal ini dapat dijelaskan dari nilai equivalent stress yang tidak melebihi dari nilai Yield Tensile Strength Material dan nilai Safety Factor yang tinggi (Kohnke, 1999).

Tabel 1 Rekapitulasi Hasil Simulasi Beban Dinamis dan Statis

Hasil Simulasi		Nilai	
		Beban Dinamis	Beban Statis
Total Deformasi	Maksimum	0,00013674 m	0,000019 m
<i>Equivalent Elastic Strain</i>	Maksimum	$8,5 \times 10^{-5}$ mm	$4,6392 \times 10^{-5}$ mm
<i>Equivalent Stress (Von Mises)</i>	Maksimum	$7,2304 \times 10^{-5}$ MPa	$3,24 \times 10^6$ MPa
<i>Safety Factor</i>	Maksimum	15	15

7. Analisa Hasil Simulasi

Pensimulasian beban dinamis yang telah dilakukan ini menggunakan perangkat lunak *Ansys*, menunjukkan bahwa rangka 3D *Printing Core XY* ini memiliki nilai total deformasi *maximum* pada pembebanan dinamis adalah 0,00013674 m, *Equivalent Elastic Strain* ialah $8,5 \times 10^{-5}$ mm, *Equivalent Stress (Von Mises)* $7,2304 \times 10^{-5}$ MPa, dan *Safety Factor* nya 15. Sedangkan pada *Static Structural* maka didapatkan hasil deformasi *maximum* nya 0,000019 m, *Equivalent Elastic Strain* ialah $4,6392 \times 10^{-5}$ mm, *Equivalent Stress (Von Mises)* $3,24 \times 10^6$ MPa, dan *Safety Factor* nya 15.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi terhadap Frame 3D *Printing Core XY* menggunakan perangkat lunak *Ansys*, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut. Pertama, Beban dinamis yang terjadi memiliki nilai deformasi yang relatif bagus yaitu 0,00013674 m pada saat kondisi beban dinamis dan 0,000019 m pada saat kondisi beban statis sehingga dapat dikategorikan aman untuk digunakan. Kedua, Pensimulasian ini menggunakan software *Ansys*. Adapun pengaturan yang dilakukan sebelum simulasi dimulai antara lain, 1) Verifikasi material, material yang dipakai dalam simulasi kali ini adalah 6035-T5. 2) Menentukan constraint, constraint yang di berikan berupa fixed geometry pada frame 3D Printer. 3) Meshing, Pada simulasi saat ini, frame dijadikan 158541 elements dan 744085 node. 4) Pembebanan yang diberikan pada simulasi ini merupakan beban dinamis dari motor yang bergerak secara vertikal ke kiri dan ke kanan saat 3D *Printing* mencetak sebuah spesimen.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Z., & Rama, B. R. (2015). Analisa distribusi tegangan dan defleksi connecting rod sepeda motor 100 cc menggunakan metode elemen hingga. *Jurnal Rekayasa Mesin Universitas Sriwijaya*, 15(1), 30–39.
- Amri, A. A. N., & Sumbodo, W. (2018). Perancangan 3D Printer Tipe Core XY Berbasis Fused Deposition Modeling (FDM) Menggunakan Software Autodesk Inventor 2015. *Jurnal Dinamika Vokasional Teknik Mesin*, 3(2), 110–115.
- Andriyansyah, D., Sriyanto, S., Jamaldi, A., & Taufik, I. (2021). Evaluasi akurasi dimensi pada objek hasil 3D printing. *Journal of Mechanical Engineering*, 5(1), 15–20.
- Attaran, M. (2017). The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing. *Business Horizons*, 60(5), 677–688.
- Darianto, D., Umroh, B., & Amrinsyah, A. (2018). Numerical Simulation on Mechanical Strength of a Wooden Golf Stick. *JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING MANUFACTURES MATERIALS AND ENERGY*, 2(1), 13–19.
- Fauzi, H. (2013). *Analisis tegangan pada Frame mobil listrik sinosi menggunakan metode elemen hingga*.
- Hidajat, R., & Lulus, L. (2005). Teori dan Penerapan Metode Elemen Hingga. *Universitas Sebelas Maret, Surakarta*.
- Islami, L. A., Mardiyana, D., & Ridha, F. F. (2022). Analisis Struktur Aluminium Profile V-Slot Sebagai Desain Rangka Mesin 3d Printer. *Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro Dan Informatika*, 1(2), 30–44.
- Isworo, H., & Ansyah, P. R. (2018). *Metode elemen hingga hmkb654*. Banjarmasin.
- Kohnke, P. (1999). ANSYS theory reference-Release 5.6. ANSYS. *Inc.*, 1286.
- Morales Cantú, K. M., & Wisalchai Jonsson, E. (2012). *3D PRINTING FOR END PRODUCTS: A case study of the industry, its capabilities and value chain*.
- Novakova-Marcincinova, L., & Kuric, I. (2012). Basic and advanced materials for fused deposition modeling rapid prototyping technology. *Manuf. and Ind. Eng*, 11(1), 24–27.
- Ramadhan, M. E., Darsin, M., & Akbar, S. I. (2022). Akurasi Dimensi Produk Filamen 3d Printing Berbahan Polipropilen Menggunakan Mesin Ekstrusi. *Jurnal Teknosains*, 11(2).
- Segerlind, L. J. (1991). *Applied finite element analysis*. John Wiley & Sons.
- Seprianto, D., & Wilza, R. (2017). Optimasi Parameter Pada Proses Pembuatan Objek 3d Printing Dengan teknologi Fdm Terhadap Akurasi Geometri. *Seminar Nasional Teknik Industri 2017 Universitas Gadjah Mada*.
- Wicaksono, R. A., Kurniawan, E., Syafrianto, M. K., Suratman, R. F., & Sofyandi, M. R. (2021). Rancang Bangun dan Simulasi 3D Printer Model Cartesian Berbasis Fused Deposition Modelling. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, Dan Material*, 5(2), 53–64.