

ANALISIS STRUKTUR MEKANIK PADA MESIN 3D PRINTER (CNC HYBRID 3-AXIS) MENGGUNAKAN SOFTWARE AUTODESK INVENTOR 2018

Anju Pritia Dapa^[1], Syafri^[2]

Konstruksi dan Perancangan, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau

^[1]anju.pritia5930@student.unri.ac.id, ^[2]syafri@eng.unri.ac.id

Abstract

The automation machine technology has been widely developed to help overcome the problems in manufacturing performance. One of the developed machines were the 3D Printer machine that can be used in various professional work fields. One of the machines developed by Riau University students is a 3D Printer machine called the CNC Hybrid 3-Axis Machine. However, there has been no research to examine whether this machine is safe to operate. Thus, the author took the initiative to determine the quality of the mechanical structure on the machine frame. Structural analysis studies and determines the effects of loads on physical structures and their components. The method used for the research on the mechanical structure of this machine is through manual calculation analysis and finite element method analysis using the Autodesk Inventor 2018 application. Each analysis is carried out on every part of the machine that experiences movement in the direction of the X-Axis, Y-Axis and Z-Axis parts, the frame and the machine legs. Through the results of the analysis, it can be seen that the maximum stress that occurs in the X-axis slider frame is 30.687 MPa from manual calculations and 29.81 MPa from the Autodesk Inventor simulation. The maximum deflection value occurs in the engine frame and the largest maximum deflection value occurs at the slider of X-Axis with a value of 0,3543 mm. By comparing the results of manual structural analysis and finite element analysis simulations, it can be seen that the structural frame has a safety factor value above 15 so it is safe to use and operate in the future.

Keywords: CNC Hybrid 3-Axis, Structure Analysis, X-Axis, Y-Axis, Z-Axis.

1. Pendahuluan

Analisis struktur adalah ilmu yang mempelajari dan menentukan efek dari beban pada struktur fisik dan [1]. Dalam bidang manufaktur, desain atau analisis struktur suatu produk menjadi bagian yang penting dikarenakan ilmu yang diperoleh dapat membantu mengembangkan produk tersebut untuk kedepannya. Dengan begitu ketatnya persaingan pasar dan cepatnya inovasi baru yang dikeluarkan oleh produsen, analisis suatu produk dapat merespon kondisi pasar di masa kedepannya, serta membantu merealisasikan suatu konsep produk yang lebih di inginkan oleh konsumen [2].

Mesin CNC *Hybrid* adalah mesin yang memiliki dua kemampuan proses pengerjaan

dalam satu mesin (*hybrid*), yaitu gabungan proses pengerjaan dari *milling* dan 3D *printing*. Proses *milling* adalah suatu proses pemesinan yang pada umumnya menghasilkan bentuk bidang datar, bidang datar yang terbentuk dari pergerakan kerja mesin dimana proses pengurangan material benda kerja. Sedangkan proses 3D *printing* adalah proses pembuatan benda padat tiga dimensi dari sebuah desain secara digital menjadi bentuk 3D yang tidak hanya dapat dilihat tapi juga dipegang dan memiliki volume. Mesin CNC *Hybrid* adalah salah satu mesin otomatis yang dapat bekerja seperti mesin 3D *Printer* [3]

Tujuan dari analisis struktur adalah untuk mengetahui analisa struktur mekanik pada rangka mesin melalui metode perhitungan manual dan simulasi dari *Autodesk Inventor*

2018. Melalui analisis ini, dapat diketahui defleksi maksimal, tegangan maksimal serta *safety factor* pada rangka mesin yang menopang seluruh komponen pada bagian penggerak di bagian Sumbu X, Sumbu Y dan Sumbu Z dari Mesin CNC Hybrid 3-Axis. Gambaran mesin ini dapat dilihat pada gambar 1 berikut ini.



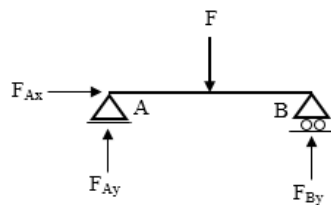
Gambar 1. Mesin CNC Hybrid 3-Axis

1.1 Struktur Statis

Sebuah benda dalam keseimbangan (diam), jika gaya-gaya yang bereaksi padanya membentuk sistem gaya ekuivalen dengan nol, ini berarti sistem yang tidak mempunyai resultan gaya dan resultan kopel. Syarat perlu dan cukup untuk keseimbangan suatu benda dapat dinyatakan secara analitis dengan menuliskan:

$$\sum F_x = 0 \quad \sum F_y = 0 \quad \sum F_z = 0$$

Konstruksi statis tertentu harus bisa diselesaikan dengan syarat-syarat keseimbangan diatas, dan jumlah reaksi yang tidak diketahui dalam persamaan tersebut maximum adalah 3 buah. Konstruksi statis yang benar dapat diilustrasikan seperti gambar 2 berikut ini [4].



Gambar 2. Struktur Konstruksi Statis [5]

1.2 Defleksi (Displacement)

Sebuah balok akan mengalami defleksi jika mengalami pembebanan, dimana defleksi tersebut akan berbentuk lengkungan tertentu dalam rentang elastisnya. Kelengkungan permukaannya dinyatakan sebagai:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI} \quad (1)$$

Dimana M adalah momen bending, E adalah modulus elastisitas, dan I adalah momen inersia.

Untuk menentukan sudut kemiringan dan defleksi balok pada suatu titik tertentu, kita harus menurunkan persamaan diferensial yang mengatur kurva elastisitas untuk balok yang terdeformasi sebagai berikut :

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M(x)}{EI} \quad (2)$$

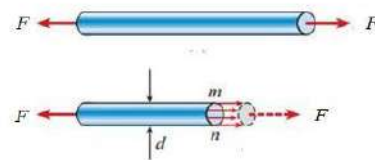
Dimana x adalah jarak dari ujung kiri balok ke titik yang akan ditentukan defleksinya.

1.3 Tegangan

Salah satu masalah prinsip dasar dalam *mechanical engineering* adalah menentukan pengaruh beban pada komponen mesin dan peralatan. Hal ini sangat essensial dalam perancangan mesin karena tanpa diketahui intensitas gaya di dalam elemen mesin, maka pemilihan dimensi, material dan parameter lainnya tidak dapat dilakukan. Intensitas gaya dalam suatu benda didefinisikan sebagai tegangan (*stress*). Gambar 3. dapat menunjukkan sebuah benda yang mendapat beban dalam bentuk gaya-gaya atau tegangan yang terjadi pada area A seperti pada contoh berikut ini:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3)$$

Dimana σ adalah tegangan yang terjadi (N/m^2), P adalah gaya yang bekerja (N), dan A adalah luas permukaan (m^2). Konsep tegangan normal dapat dipahami dari gambar 3 dibawah ini [6].



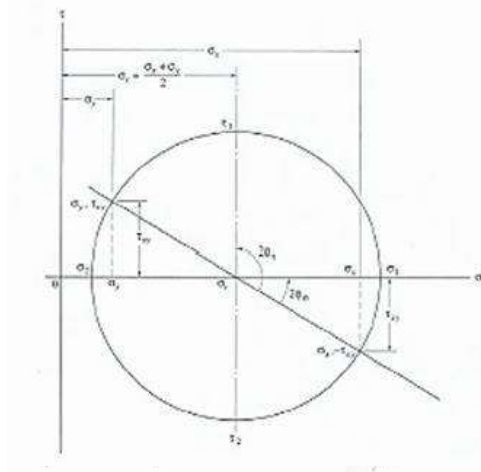
Gambar 3. Konsep Tegangan Normal

Beban geser akan menimbulkan tegangan geser pada bidang yang sejajar dengan arah bekerjanya beban. Tegangan geser yang diakibatkan adanya beban P pada sebuah baut dengan luas penampang A diformulasikan sebagai berikut :

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (4)$$

1.4 Tegangan dengan Lingkaran Mohr

Untuk menentukan kekuatan suatu elemen mesin maka diketahui tegangan maksimum yang terjadi pada elemen tersebut. Nilai atau besar suatu tegangan pada elemen tegangan sangat tergantung pada orientasi dari sistem koordinat. Untuk memberikan gambaran kondisi tegangan pada berbagai arah dalam bentuk grafis, ilmuwan bernama Otto Mohr memperkenalkan *Mohr's Circle* seperti yang ditunjukkan pada gambar 4[7].



Gambar 4. Lingkaran Mohr

Nilai tegangan utama dan orientasinya pada kasus 2D (tegangan bidang) dapat dihitung dengan persamaan :

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (5)$$

1.5 Safety Factor

Menurut Beer (2010), *Maximum load* yang dimiliki struktur atau komponen mesin diperbolehkan jika dilakukan dalam kondisi pemakaian normal jauh lebih kecil daripada *ultimate load* [8]. Beban yang lebih kecil ini disebut sebagai *allowable load* dan, kadang-

kadang, sebagai *working load* atau *design load*. Jadi, hanya sebagian kecil dari kapasitas *ultimate load* dari struktur yang digunakan saat beban yang diijinkan diterapkan. Bagian sisanya dari kapasitas muatan struktur disimpan agar menjamin kinerjanya yang aman. Rasio *ultimate load* terhadap *allowable load* digunakan untuk menentukan faktor keamanan.

$$\text{Safety Factor} = SF = \frac{\text{ultimate load}}{\text{allowable load}} \quad (6)$$

1.6 Analisis Struktur dengan Autodesk Inventor

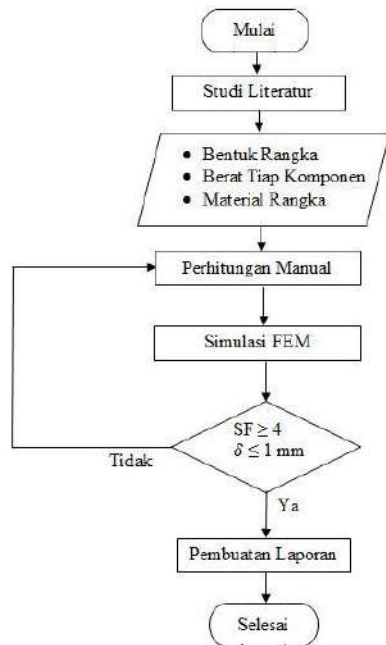
Autodesk Inventor merupakan program yang dirancang khusus untuk keperluan bidang teknik seperti desain produk, desain mesin, desain mold, desain konstruksi, atau keperluan teknik lainnya. Program ini merupakan rangkaian program penyempurnaan dari *Autodesk Autocad* dan *Autodesk Mechanical Desktop*. Melalui aplikasi ini, dapat dilakukan simulasi analisis yang menunjukkan fenomena pembebanan struktur, sehingga dapat diketahui deformasi, tegangan maksimum, regangan serta kegagalan struktur yang dapat terjadi pada mesin. Simulasi *stress analysis* pada *Autodesk Inventor* dapat dilihat pada gambar 5 dibawah ini.



Gambar 5. Stress Analysis pada Autodesk Inventor [9]

2. Metodologi

Metode yang digunakan oleh penulis dalam penelitian ini yaitu menggunakan pendekatan penelitian pengembangan (*Research & Development*). Adapun tahap pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 6.



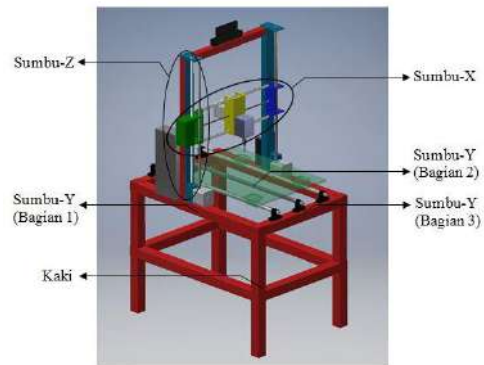
Gambar 6. Diagram Alir Proses Penelitian

2.1 Studi Literatur

Tahapan ini merupakan tahapan mempelajari dan pendalaman konsep-konsep yang berkaitan dengan materi penelitian sebelumnya. Literatur yang digunakan dapat bersumber dari buku, jurnal, video, internet, dll.

2.2 Ketentuan Awal

Tahapan ini merupakan tahapan untuk menentukan berbagai kebutuhan yang diperlukan sebelum melakukan perhitungan analisis pada mesin. Kebutuhan ini dapat berupa prasyarat yang dibutuhkan untuk menganalisa mesin seperti ukuran dimensi rangka, beban yang akan diperhitungkan, material mesin, dll. Analisa yang akan dilakukan adalah analisa statis bagian mesin yang bekerja untuk arah pergerakan Sumbu-Y, Sumbu-Z dan Sumbu-X dan rangka mesin. Gambaran pemodelan gaya yang terletak pada Mesin CNC Hybrid 3-Axis dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Gambaran Letak Setiap Bagian yang di Analisa

2.3 Analisis Perhitungan Manual

Dalam analisa perhitungan manual, perlu ditentukan reaksi tumpuan dengan menggunakan DBB dari bagian yang ingin dianalisa. Setelah itu, dapat ditentukan gaya resultan dan momen yang terjadi pada bagian tersebut. Lalu, perhitungan dapat dilanjutkan dengan mencari nilai defleksi yang terjadi pada bagian sumbu mesin tersebut.

Selanjutnya, dilakukan perhitungan tegangan-tegangan yang terjadi pada bagian pergerakan sumbu mesin. Tegangan yang perlu diketahui antara lain, tegangan geser dan tegangan maksimum yang dihitung melalui Lingkaran Mohr. Terakhir, dapat dicari *Safety Factor* yang diperoleh dari analisa.

2.4 Analisis dengan FEM

Untuk analisis struktur yang dilakukan dengan metode elemen hingga atau *finite element method* (FEM) akan menggunakan perangkat lunak *Autodesk Inventor 2018*. Metode elemen adalah prosedur numerik yang akan dipakai untuk menyelesaikan masalah dalam bidang rekayasa. Metode ini digunakan untuk masalah-masalah yang sulit untuk diselesaikan secara analitik [10].

Tahapan yang perlu dilakukan dalam simulasi analisis struktur dengan menggunakan *Autodesk Inventor 2018* adalah sebagai berikut:

1. Pertama, perlu dilakukan pemilihan material pada rangka yang didesain. Pemilihan material merupakan tahap awal setelah pemodelan geometri rangka. Pemilihan material pada perangkat lunak

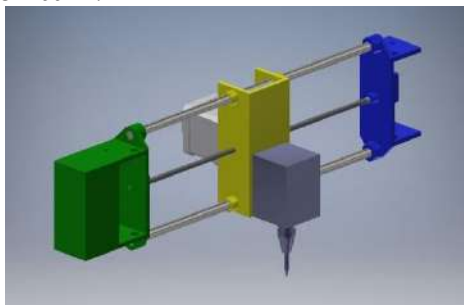
Autodesk Inventor terdapat pada fitur *assign materials*.

2. Tahapan selanjutnya adalah proses *meshing*. Proses ini adalah dimana dibaginya struktur objek yang dianalisis menjadi beberapa elemen dengan geometri yang lebih kecil dan tetap terhubung. Geometri ini diberi beban sesuai dengan parameter pengujian. Beban yang dimaksud dapat berupa berat struktur mesin itu sendiri dan beban spesimen saat mesin akan dioperasikan [11].
3. Selanjutnya, perlu ditentukan kondisi batas untuk bagian yang dianalisa pada *software*. Penetapan kondisi batas adalah proses untuk menentukan bagian komponen yang akan dibuat stabil.
4. Tahapan selanjutnya adalah memberikan beban utama yang bekerja pada bagian yang akan dianalisa. Beban utama yang dimaksud adalah beban mesin itu sendiri dan beban dari spesimen yang akan dikerjakan oleh mesin.
5. Terakhir, dapat dilakukan tahapan simulasi yaitu tahapan untuk menjalankan simulasi berdasarkan kondisi yang ditentukan sebelumnya.

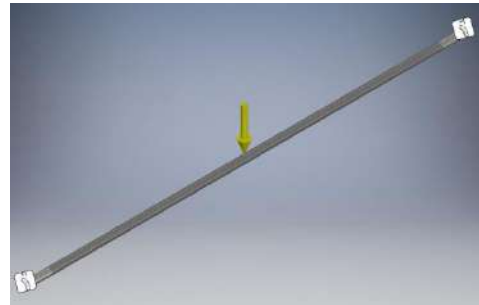
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Analisa Sumbu-X

Pada analisis Sumbu-X ini, bagian yang menerima pembebanan adalah *slider* yang menjadi tempat terjadinya pergerakan kerja pada arah Sumbu-X. Desain gambar bagian Sumbu-X dan pemodelan gaya yang terjadi dapat dilihat pada gambar 8 dan gambar 9 berikut ini.



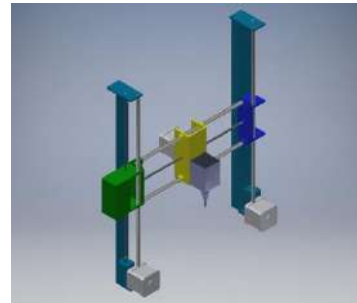
Gambar 8. Analisa Bagian Sumbu-X



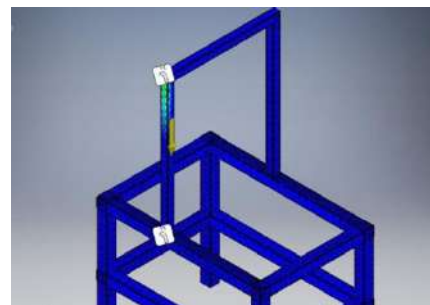
Gambar 9. Pemodelan Gaya pada Sumbu-X

3.2 Analisa Sumbu-Z

Pada analisis Sumbu Z ini, bagian yang menerima pembebanan adalah rangka yang menjadi tempat terjadinya pergerakan kerja pada arah sumbu Z. Pembebanan yang terjadi diakibatkan oleh beban yang ditanggung oleh rangka tersebut. Desain gambar bagian Sumbu-Y dan pemodelan beban yang akan dianalisa dapat dilihat pada gambar 10 dan gambar 11.



Gambar 10. Analisa Bagian Sumbu-Z

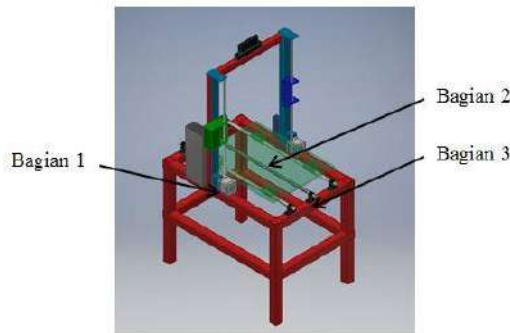


Gambar 11. Pemodelan Gaya pada Sumbu-Z

3.3 Analisa Sumbu-Y

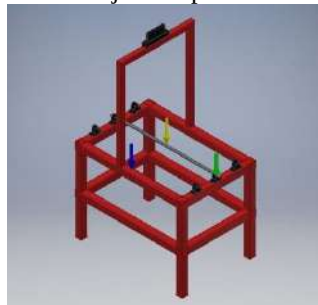
Pada analisis bagian mesin yang bekerja terhadap Sumbu-Y, ada tiga bagian utama yang akan dianalisa, yaitu bagian rangka mesin yang menahan berat dari komponen

mesin, bagian meja yang menahan benda kerja dan rangka bagian ujung meja. Beban spesimen yang akan dikerjakan oleh mesin diasumsikan maksimal sebesar 5 kg yang berada pada bagian tengah penopang rangka spesimen. Bagian yang akan dianalisa pada Sumbu-Y dapat dilihat pada gambar 12.



Gambar 12. Analisa Bagian Sumbu-Y

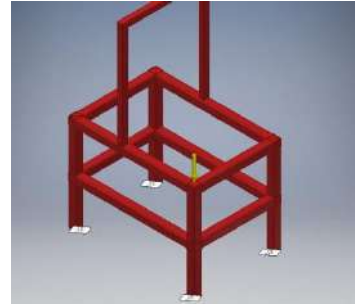
Pemodelan gaya akibat beban komponen mesin ditandai oleh arah warna biru, gaya yang disebabkan oleh spesimen ditandai oleh arah warna kuning dan pemodelan gaya dari pembebanan pada ujung meja ditandai oleh arah warna hijau. Pemodelan gaya pada Sumbu-Y ini ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Pemodelan Gaya pada Sumbu-Y

3.4 Analisa Rangka Kaki

Pada analisa ini, bagian yang menerima pembebanan adalah kaki mesin yang menjadi tempat menerima seluruh beban dari komponen mesin. Pemodelan gaya pembebanan yang akan dianalisa dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Pemodelan Gaya pada Analisa Rangka Kaki

3.4 Pembahasan

Semua data hasil yang diperoleh melalui perhitungan manual dan analisis elemen hingga dapat dilihat dari tabel 1 hingga tabel 3 berikut ini.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Manual

Hasil Analisis	Analisis Perhitungan Manual		
	Displacement (mm)	Tegangan Maksimal (MPa)	Safety Factor
Sumbu-X	0,35453	30,687	16
Sumbu-Z	-	0,1479	3110
Sumbu-Y (Bagian 1)	0,06275	2,59257	177
Sumbu-Y (Bagian 2)	0,18891	3,113	162
Sumbu-Y (Bagian 3)	0,11545	1,00857	447
Kaki	-	0,15224	3021

Tabel 2. Hasil Perhitungan Elemen Hingga

Hasil Analisis	Analisis Simulasi Elemen Hingga		
	Displacement (mm)	Tegangan Maksimal (MPa)	Safety Factor
Sumbu-X	0,2187	29,81	15
Sumbu-Z	-	0,1105	15
Sumbu-Y (Bagian 1)	0,05367	3,052	15
Sumbu-Y (Bagian 2)	0,02390	4,643	15
Sumbu-Y (Bagian 3)	0,11720	1,23	15
Kaki	-	0,30	15

Tabel 3. Persentase Error Analisis Struktur

Hasil Analisis	Persentase Error Analisis		
	Displacement (mm)	Tegangan Maksimal (MPa)	Safety Factor
Sumbu-X	22,8%	5,4%	6,2%
Sumbu-Z	-	25,3%	99%
Sumbu-Y (Bagian 1)	16,9%	17,7%	91,6%
Sumbu-Y (Bagian 2)	5,5%	19,3%	90,7%
Sumbu-Y (Bagian 3)	8,4%	15,9%	96,6%
Kaki	-	49,2%	99%

Berdasarkan tabel-tabel hasil diatas dapat dilihat adanya banyak perbedaan antara perhitungan manual dengan analisa elemen hingga. Perbedaan ini dapat dilihat pada elemen yang dianalisis. Hal ini dapat disebabkan oleh perbedaan pada:

1. Nilai momen inersia penampang pada perhitungan manual dengan analisis elemen hingga. Pada perhitungan manual, benda dianggap solid dan dianggap tidak ada lubang-lubang kecil untuk baut sehingga nilai momen inersianya akan lebih besar dari analisis elemen hingga yang analisisnya menggunakan kondisi sebenarnya.
2. Analisis perhitungan yang terjadi pada sistem Autodesk Inventor 2018 dengan analisis perhitungan manual yang dilakukan berbeda. Pada simulasi analisis di software, sistem dapat menambahkan atau menghiraukan beberapa elemen saat dilakukannya simulasi. Contohnya pada rangka mesin sistem, software otomatis menambahkan suatu part pada bagian yang dianalisa agar sistem simulasi dapat berjalan. Sedangkan, part itu tidak dapat diketahui untuk disamakan dengan analisis perhitungan manual.
3. Berdasarkan hasil simulasi, dapat dilihat nilai safety factor untuk elemen yang dianalisis memiliki nilai yang diatas angka aman. Perbedaan nilai safety factor yang sangat berbeda dari kedua hasil analisa disebabkan karena aplikasi Autodesk Inventor tidak menunjukkan nilai yang diatas 15. Jadi dengan hasil analisa elemen hingga yang hanya maksimal dengan angka 15, dibandingkan dengan analisis manual akan sangat jelas perbedaanya. Akan

tetapi, secara keseluruhan dapat diketahui bahwa nilai pada semua rangka yang dianalisis dapat dinyatakan aman dikarenakan nilai safety factor yang diatas nilai 4 yaitu dimana nilai batas suatu bagian dapat dinyatakan aman.

4. Simpulan

Adapun simpulan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Melalui hasil analisis dapat diketahui nilai tegangan maksimal pada rangka *slider* bagian Sumbu-X sebesar 30,687 MPa dari perhitungan manual dan 29,81 MPa dari simulasi *Autodesk Inventor*.
2. Melalui hasil analisis dapat diketahui nilai defleksi yang terjadi pada rangka mesin dan diperoleh nilai defleksi maksimal yang terbesar terjadi pada *slider* Sumbu-X dengan nilai sebesar 0,35453 mm.
3. Dengan membandingkan hasil analisis struktur secara manual dan simulasi analisis elemen hingga, dapat diketahui bahwa rangka struktur memiliki nilai *safety factor* diatas 15 sehingga aman untuk digunakan dan dioperasikan untuk masa yang akan datang

Adapun saran untuk penelitian berikutnya adalah sebagai berikut:

1. Penelitian lanjut mengenai mesin ini dapat melakukan rancangan baru dengan mengembangkan atau memodifikasi mesin yang sudah ada agar terbuatnya mesin yang lebih baik untuk pemasaran.
2. Penelitian analisa struktur kedepannya dapat membandingkan hasil analisa melalui aplikasi analisis lainnya.
3. Perlu diperhitungkan lebih detil berat komponen-komponen yang digunakan pada mesin agar dapat mempengaruhi analisis sehingga lebih akurat.

5. Daftar Pustaka

- [1] Gere, J. M. dan Timoshenko, S.P. 1997. *Mechanics of Materials*. PWS Publishing Company.
- [2] Mulyawan, Mochamad D. 2017. Rancang Bangun Konstruksi Rangka Mesin 3D Printer Tipe Cartesian Berbasis

- Fused Deposition Modeling (FDM). *Jurnal Teknik Mesin* 6 (4): 252
- [3] Paruci, Cahyo Dwi dan Irfan, M. 2019. "Proses Pembuatan Mesin CNC Hybrid 3 Axis". Skripsi. Program Studi Teknik Mesin UNRI
 - [4] Laka, Oktafatahna. 2018. "Perancangan Sistem Rangka dan Analisa Gaya Aerodinamika Bodi Hemat Energi Tipe Hybrid". Skripsi. Program Studi Teknik Mesin UNRI.
 - [5] Iman, Teguh. 2019. "Perancangan Sistem Rangka Prototype Mobil Hemat Energi Asykar Proto Universitas Riau". Skripsi. Program Studi Teknik Mesin UNRI.
 - [6] Naldy, Devry. 2016. "Perancangan dan Analisis Struktur Mekanik Prototipe Mesin CNC Milling 3-Axis". Skripsi. Program Studi Teknik Mesin UNRI.
 - [7] Sudariyanto. 2018. "Rancang Bangun Protoipe Mesin CNC 3-Axis Dari Limbah Bekas Elekktronik". Skripsi. Program Studi Teknik Mesin UNRI.
 - [8] Beer, Ferdinand P, E. Russell Johnston Jr., John T DeWold, dan David F Mazurek. 2009. *Mechanics of Materials*. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc.
 - [9] Autodesk. 2021. Analysis and Simulation - Inventor 2020. Autodesk. <https://knowledge.autodesk.com/support/inventor/learn-explore/>. (Diakses 6 Juni 2021)
 - [10] Rozik, Muhammad Ainur. 2019. Perancangan dan Analisis Kekuatan Rangka Mesin Pengayak Pasir Menggunakan Autodesk Inventor 2019. Jurnal Program Studi Teknologi Manufaktur UNTAG.
 - [11] Khoiriah, Siti. 2020. "Desain dan Analisis Kekuatan pada *Ladder Frame Chassis* Kendaraan Hybrid Elektrik-Pneumatik Menggunakan *Software* Autodesk Inventor Professional 2017". Skripsi. Program Studi Pendidikan Otomotif UNNES.