

DESAIN RANCANGAN GANTRY CNC ROUTER 3 AXIS DENGAN PENDEKATAN TOPOLOGY

1,2) Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik Universitas Adi Buana Surabaya, Jl. Dukuh Menanggal XII, Surabaya 60234 Jawa Timur, Indonesia

Corresponding email ^{1,2)} :
nushron@unipasby.co.id
andiakrianto@gmail.com

Received: 30.11.2022
Accepted: 25.12.2022
Published: 28.12.2022

©2022 Politala Press.
All Rights Reserved.

M. Nushron Ali Mukhtar ¹⁾, Mochamad Andi Akrianto ²⁾

Abstrak. Desain Gantry CNC Router 3 Axis menggunakan metode elemen hingga, sebagai langkah penting, mengingat perpindahan bentuk yang diakibatkan oleh pergerakan mata pahat harus seminimal mungkin karena mempengaruhi kualitas hasil pengerjaan. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan rancangan desain gantry mesin CNC Router 3 axis yang kuat, ringan, dan kokoh. Penelitian ini menggunakan Metode Elemen Hingga, dengan pendekatan topologi dalam menyelesaikan permasalahan di bidang rekayasa (engineering). Hasil analisa data yang diperoleh berupa nilai von mises, displacement, dan safety factor dari simulasi variasi pembebanan 10 kg, 20 kg, dan 30 kg. Selanjutnya dilakukan optimasi pada rancangan desain gantry menggunakan analisis topologi untuk mengurangi bobot atau massa dari konstruksi gantry. Hasil rancangan desain gantry modifikasi lebih optimal dibandingkan dengan rancangan desain gantry baru maupun awal, baik dari hasil von mises, displacement, dan safety factor. Selain itu, berat atau massa pada rancangan gantry modifikasi lebih ringan yaitu 1,8 kg.

Kata Kunci: CNC Router 3 Axis, Gantry, Metode Elemen Hingga, Topology

Abstract. The 3 Axis Gantry CNC Router Design uses the finite element method as an essential step, bearing in mind that the shape displacement caused by the chisel movement must be as minimal as possible because it affects the quality of the craft. This study aims to optimize the gantry design of a three-axis CNC Router machine that is strong, light, and sturdy. This study uses the Finite Element Method with a topological approach to solving engineering problems. The results of the data analysis are in the form of von Mises, displacement, and safety factor values from the simulation of 10 kg, 20 kg, and 30 kg loading variations. Furthermore, optimization is carried out on the design of the gantry design using topological analysis to reduce the weight or mass of the gantry construction. The results of the modified gantry design are more optimal than the new and initial gantry designs, both from the effects of von Mises, displacement, and safety factors. In addition, the weight or mass of the modified gantry design is lighter by 1.8 kg.

Keywords: CNC Router 3 Axis, Gantry, Finite Element Method, topology.

To cite this article: <https://doi.org/10.34128/je.v9i2.224>

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi di era 4.0 berdampak pada sektor kehidupan manusia, salah satunya yaitu perkembangan teknologi mesin yang memanfaatkan teknologi komputer. Perkembangan tersebut memudahkan pekerjaan manusia apabila ditinjau dari segi tenaga kerja, waktu, dan kapasitas.

Salah satu perkembangan teknologi mesin yang sering digunakan yaitu *Computer Numerical Control* (CNC), dimana merupakan mesin perkakas yang dilengkapi dengan sistem kendali komputer yang menggunakan bahasa *numeric* (perintah kode angka, huruf, dan simbol) sesuai dengan standar ISO [1]. Dengan adanya mesin CNC, memberikan keunggulan diantaranya yaitu ketelitian pengerjaan hingga 1/100 mm lebih, pengerjaan produk dalam jumlah banyak, serta waktu yang lebih cepat [2].

Terdapat beberapa jenis mesin CNC yang umum digunakan dalam dunia industri, salah satunya yaitu mesin CNC *router*, dimana merupakan mesin yang pengoperasiannya menggunakan kontrol bahasa numerik serta dapat bergerak secara vertikal, horizontal, dan melintang sepanjang sumbu x, y, dan z [3]. Dalam mesin tersebut terdapat salah satu komponen yang bernama *gantry*, dimana berfungsi sebagai sistem penopang yang bergerak pada lintasan mesin CNC.

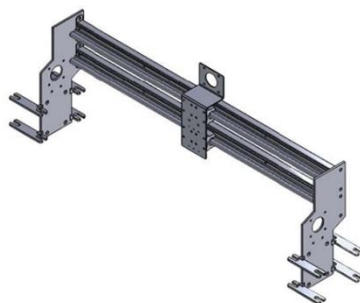
Permasalahan yang sering terjadi pada *gantry* yaitu ketidakmampuan dalam menahan beban yang dihasilkan dari proses pergerakan mata pahat, sehingga memungkinkan terjadinya perpindahan bentuk (deformasi) yang dapat mempengaruhi kualitas hasil pengerjaan. Mengingat perpindahan bentuk yang terjadi pada *gantry* harus seminimal mungkin, maka diperlukan analisa lebih lanjut pada *gantry*. Adapun analisa tersebut menggunakan Metode Elemen Hingga, dimana merupakan pendekatan yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan di bidang rekayasa (*engineering*) seperti analisa tegangan struktur, frekuensi pribadi dan mode *shape*-nya, perpindahan panas, elektromagnetis, serta aliran fluida [4]. Inti dari metode ini yaitu membagi objek yang akan dilakukan analisa menjadi elemen (bagian-bagian kecil dengan jumlah hingga), dimana elemen tersebut akan dihubungkan dengan nodal sehingga dapat dibangun persamaan matematika yang menjadi representasi dari objek tersebut. Pada proses ironing terdapat peristiwa penekanan, dan terjadi penipisan dinding yang dilakukan oleh *punch* dan *dies*. [5]

Berdasarkan latar belakang di atas, adapun permasalahan yang terjadi yaitu ketidakmampuan *gantry* CNC *router 3 axis* dalam menahan beban yang dihasilkan dari proses pergerakan mata pahat sehingga mengalami perpindahan bentuk yang dapat mempengaruhi kualitas hasil pengerjaan. Dengan adanya permasalahan tersebut, maka diambil suatu penelitian guna mengoptimalkan *gantry* agar tetap kuat, ringan, dan mampu menahan beban yang dihasilkan dari proses pergerakan mata pahat.

2. Metodologi

Dalam penelitian ini, analisis yang dilakukan menggunakan Metode Elemen Hingga dengan bantuan *tool static analysis* yang terdapat pada perangkat lunak SolidWorks 2018, dimana bertujuan untuk mengetahui tegangan (*von mises*), perpindahan bentuk (*displacement*), serta faktor keamanan (*safety factor*) pada *gantry* CNC *router 3 axis*. Teori *Von Mises* adalah sebuah teori plastisitas yang berlaku paling baik untuk bahan ulet, terutama bahan logam seperti paduan aluminium [6]. Adapun langkah-langkah umum dalam melakukan analisis menggunakan Metode Elemen Hingga yaitu *pre processing* (penentuan geometris, elemen jenis, sifat dari unsur material, *mesh* model, kondisi batas, serta beban yang digunakan), solusi (manipulasi matriks, integrasi numerik, dan pemecahan persamaan secara komputer), dan *post processing* (analisa dan evaluasi dari hasil yang diperoleh) [7].

Dalam perancangan desain *gantry* CNC *router 3 axis* skala laboratorium dibuat dengan bantuan perangkat lunak SolidWorks 2018. Perancangan desain *gantry* tersebut dilakukan berdasarkan tujuan awal, dimana mesin yang telah dibuat harus mudah dipindahkan (*portable*) dan dibongkar pasang (*knockdown*). Dengan demikian, maka konsep desain *gantry* yang cocok yaitu dengan memberikan lubang untuk penempatan baut dan mur pada setiap komponen mesin yang akan dipasang. Adapun rancangan desain awal *gantry* CNC *router 3 axis* skala laboratorium yang dapat ditunjukkan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Rancangan Desain Awal

Setelah diketahui rancangan desain *gantry* awal pada CNC *router 3 axis* skala laboratorium, maka selanjutnya akan dilakukan analisa dengan melakukan simulasi pada rancangan. Proses tersebut bertujuan untuk mengetahui kekurangan yang terdapat pada rancangan desain, serta digunakan sebagai dasar untuk melakukan perubahan pada rancangan desain *gantry* yang selanjutnya akan dilakukan.

Dalam simulasi tersebut, rancangan desain awal *gantry* akan diuji tegangan (*von mises*), perpindahan bentuk (*displacement*), dan faktor keamanan (*safety factor*) menggunakan material AISI 1020 yang didapat dari perangkat lunak SolidWorks 2018. Adapun karakteristik dari material AISI 1020 yang dapat ditunjukkan pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Karakteristik material AISI 1020

<i>Property</i>	<i>Value</i>	<i>Units</i>
Elastic Modulus	200000	N/mm ²
Poisson Ratio	0,29	N/A
Shear Modulus	77000	N/mm ²
Mass Density	7900	Kg/m ³
Tensile Strength	420,507	N/mm ²
Compressive Strength	-	N/mm ²
Yield Strength	351,571	N/mm ²
Thermal Expansion Coefficient	1,5e-05	K
Thermal Conductivity	47	W/(m.K)
Specific Heat	420	J/(kg.K)
Material Damping Ratio	-	N/A

Setelah simulasi telah dilakukan, maka diperoleh hasil perhitungan yang berupa nilai *von mises*, *displacement*, dan *safety factor*. Selain itu, dilakukan juga pengukuran massa pada rancangan desain *gantry* menggunakan opsi *mass properties*. Adapun nilai hasil perhitungan serta *mass properties* yang dapat ditunjukkan pada Tabel 2 ini.

Tabel 2. Mass *properties gantry* awal

<i>Property</i>	<i>Value</i>	<i>Units</i>
Mass	2,51	kg
Volume	2514674,22	mm ³
Surface Area	861175,04	mm ²

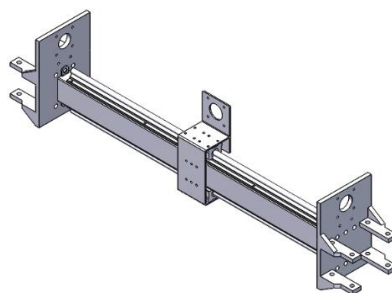
Tabel 3. Hasil simulasi rancangan desain *gantry* awal

<i>Desain Awal</i>	<i>Von Mises (MPa)</i>	<i>Displacement (mm)</i>	<i>Safety Factor</i>
Beban 10 kg	9,272	0,034	37,9
Beban 20 kg	18,542	0,068	19
Beban 30 kg	27,818	0,102	12,6

Metode analisis data dilakukan menggunakan data yang diperoleh dari simulasi rancangan desain *gantry* dengan bantuan perangkat lunak SolidWorks 2018. Data tersebut berupa nilai *von mises*, *displacement*, *safety factor*, dan *topology result*. Sebagaimana bentuk dari hasil analisis data ini akan menunjukkan kekurangan dan kelebihan pada rancangan yang telah dianalisa. Maka teknik analisis data yang digunakan adalah analisis deskriptif, dimana hasil dari simulasi rancangan desain *gantry* yang berupa angka akan dipaparkan dan dideskripsikan menjadi sebuah informasi yang lebih jelas dan mudah dipahami.

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan pada rancangan desain awal *gantry* CNC *router* 3 *axis* skala laboratorium, maka dapat diketahui bagian mana yang aman apabila dilakukan perubahan bentuk serta bagian mana yang mengalami *stress* paling tinggi dan nantinya akan diperkuat. Perubahan tersebut dilakukan dengan pembaruan rancangan desain *gantry*, dimana menggunakan jenis material yang berbeda yaitu *Aluminium Alloy* 6061. Adapun perubahan bentuk rancangan desain *gantry* CNC *router* 3 *axis* skala laboratorium baru yang dapat ditunjukkan pada Gambar 2 berikut



Gambar 2. Rancangan desain *gantry* baru

Penggantian jenis material tersebut dilakukan dengan mempertimbangkan kekuatan dan berat material. *Aluminium Alloy* 6061 dipilih sebagai material pada rancangan desain *gantry* yang baru karena lebih ringan apabila dibandingkan dengan material *gantry* awal yaitu AISI 1020 [8]. Adapun karakteristik dari material *Aluminium Alloy* 6061 dan hasil perhitungan *mass properties*, dimana diperoleh dari perangkat lunak SolidWorks 2018 yang dapat ditunjukkan pada Tabel 4 dan Tabel 5 berikut.

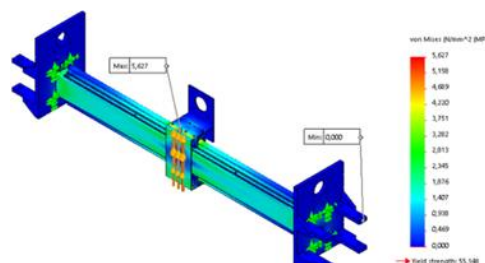
Tabel 4. Karakteristik material *Aluminium Alloy* 6061

<i>Property</i>	<i>Value</i>	<i>Units</i>
Elastic Modulus	69000	N/mm ²
Poisson Ratio	0,33	N/A
Shear Modulus	26000	N/mm ²
Mass Density	2700	Kg/m ³
Tensile Strength	124,084	N/mm ²
Compressive Strength	-	N/mm ²
Yield Strength	55,1485	N/mm ²
Thermal Expansion Coefficient	2,4e-05	K
Thermal Conductivity	170	W/(m.K)
Specific Heat	1300	J/(kg.K)
Material Damping Ratio	-	N/A

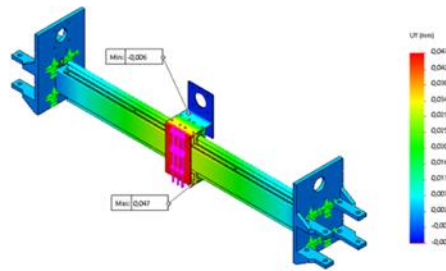
Tabel 5. *Mass Properties* rancangan desain *gantry* baru

<i>Property</i>	<i>Value</i>	<i>Units</i>
Mass	1,95	kg
Volume	1952120,60	mm ³
Surface Area	819589,45	mm ²

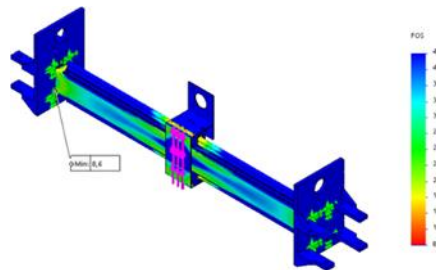
Setelah perubahan bentuk pada rancangan desain *gantry* CNC router 3 axis skala laboratorium baru telah dilakukan maka diperlukan simulasi tegangan (*von mises*), perpindahan bentuk (*displacement*), dan faktor keamanan (*safety factor*) untuk mengetahui kelebihan atau kekurangan pada rancangan desain yang baru [9]. Simulasi tersebut dilakukan dengan pemberian tiga variasi pembebanan yang berbeda yaitu 10 kg, 20 kg, dan 30 kg. Adapun simulasi pada rancangan desain *gantry* baru yang dapat ditunjukkan pada Gambar 3 sampai Gambar 5 berikut ini..



Gambar 3. Simulasi *Von Mises* pada *Gantry* baru



Gambar 4. Simulasi *Displacement* pada *Gantry* baru



Gambar 5. Simulasi *Safety Factor* pada *Gantry* baru

Tabel 6. Hasil simulasi rancangan desain *Gantry* baru

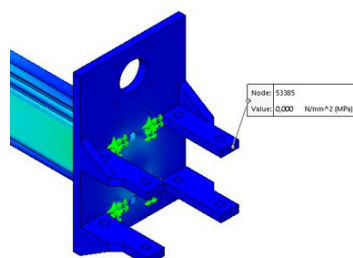
Desain Baru	Von Mises (MPa)	Displacement (mm)	Safety Factor
Beban 10 kg	1,873	0,016	25,8
Beban 20 kg	3,742	0,031	12,9
Beban 30 kg	5,627	0,047	8,6

Pada simulasi rancangan desain *gantry* baru yang dilakukan, diperoleh hasil tegangan maksimum (*von mises*) yang terjadi pada *gantry* dengan variasi pembebanan 10 kg sebesar 1,873 MPa, pembebanan 20 kg sebesar 3,742 Mpa, dan pembebanan 30 kg sebesar 5,627 MPa. Nilai tersebut masih berada jauh di bawah nilai *yield strength* material yaitu 55,148 MPa, sehingga kemungkinan terjadinya tegangan patah sangat kecil.

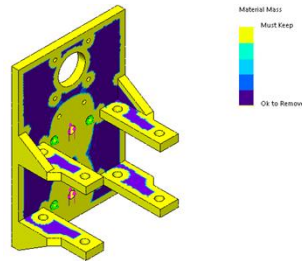
Pada hasil *displacement*, diperoleh nilai deformasi maksimum yang terjadi pada *gantry* dengan variasi pembebanan 10 kg sebesar 0,016 mm, pembebanan 20 kg sebesar 0,031 mm, dan pembebanan 30 kg sebesar 0,047 mm. Nilai tersebut menyatakan bahwa deformasi yang terjadi pada *gantry* cukup kecil, sehingga kemungkinan terjadinya deformasi plastis sangat kecil. Sedangkan pada hasil *safety factor*, diperoleh faktor keamanan pada *gantry* dengan variasi pembebanan 10 kg sebesar 25,8, pembebanan 20 kg sebesar 12,9, dan pembebanan 30 kg sebesar 8,6. Nilai *safety factor* yang diperoleh berada jauh di atas rentang batas yang diizinkan yaitu 1,25 sampai 2, sehingga rancangan desain *gantry* dinyatakan sangat aman.

Analisa data dilakukan dengan optimasi pada rancangan desain *gantry* menggunakan analisis topologi (*topology analysis*) yang tersedia dalam perangkat lunak SolidWorks 2018. Analisis tersebut dilakukan bertujuan untuk mengurangi bobot atau massa dari konstruksi *gantry* pada area yang mengalami tegangan minimum dan tidak berpengaruh pada kegagalan material [10].

Pada Gambar 6 menunjukkan bahwa tegangan minimum yang terjadi pada area yang ditunjuk yaitu sebesar 0,000 MPa, dimana hal tersebut menunjukkan bahwa optimasi memungkinkan dilakukan pada area tersebut karena kecilnya risiko terjadinya kegagalan pada material *gantry*.

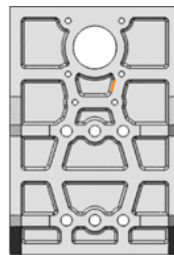


Gambar 6. Tiang *Gantry*



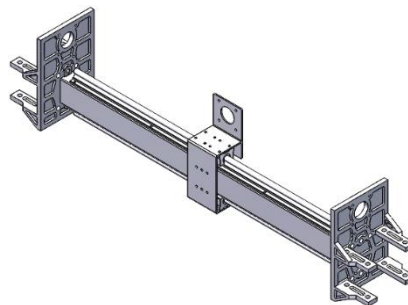
Gambar 7. Topology Result

Pada Gambar 7 menunjukkan hasil dari analisis topologi, dimana terdapat simbol warna yang menunjukkan area tersebut dapat dilakukan pengurangan material sesuai dengan simbol warna yang mewakilinya. Warna kuning pada gambar di atas merupakan area yang tidak diperbolehkan mengalami pengurangan material, sedangkan pada warna biru muda sampai ungu merupakan area yang diperbolehkan untuk dilakukannya pengurangan material.



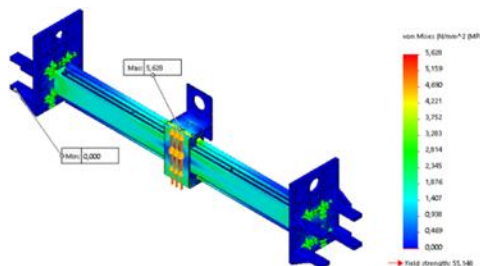
Gambar 8. Perubahan bentuk desain hasil analisis topologi

Setelah area yang dapat dilakukan pengurangan material dapat ditentukan, dilanjutkan dengan pengurangan bobot atau massa menjadi *deformed body*, selanjutnya akan dirubah ke dalam bentuk desain 3D (*solid*). Kemudian dilanjutkan pada proses perakitan (*assembly*) gantry keseluruhan. Adapun hasil perakitan tersebut yang dapat ditunjukkan pada Gambar 9 berikut.

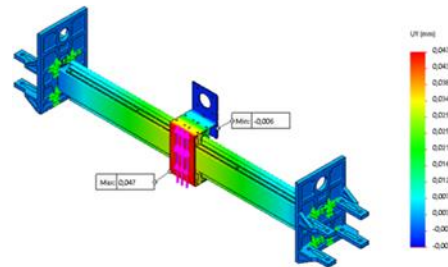


Gambar 9. Rancangan desain Gantry modifikasi

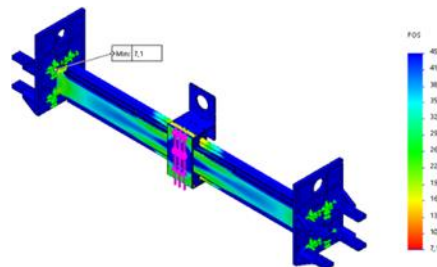
Setelah rancangan desain gantry CNC router 3 axis modifikasi telah dibuat, selanjutnya diperlukan simulasi ulang terhadap tegangan (*von mises*), perpindahan bentuk (*displacement*), dan faktor keamanan (*safety factor*), dimana dilakukan untuk mencari rancangan desain gantry yang lebih optimal. Simulasi tersebut dilakukan dengan pemberian variasi pembebanan yaitu 10 kg, 20 kg, dan 30 kg. Adapun simulasi pada rancangan desain gantry modifikasi yang dapat ditunjukkan pada Gambar 10 sampai dengan Gambar 12 berikut ini.



Gambar 10. Simulasi Von Mises pada Gantry Modifikasi



Gambar 11. Simulasi *Displacement* pada *Gantry* Modifikasi



Gambar 12. Simulasi *Safety Factor* pada *Gantry* Modifikasi

Tabel 7. Hasil Simulasi Rancangan Desain *Gantry* Modifikasi

<i>Desain Modifikasi</i>	<i>Von Mises (MPa)</i>	<i>Displacement (mm)</i>	<i>Safety Factor</i>
Beban 10 kg	1,875	0,016	21,2
Beban 20 kg	3,749	0,031	10,6
Beban 30 kg	5,628	0,047	7,1

Pada simulasi rancangan desain *gantry* modifikasi yang dilakukan, diperoleh hasil tegangan maksimum (*von mises*) yang terjadi pada *gantry* dengan variasi pembebanan 10 kg sebesar 1,875 MPa, pembebanan 20 kg sebesar 3,749 Mpa, dan pembebanan 30 kg sebesar 5,628 MPa. Nilai tersebut masih berada jauh di bawah nilai *yield strength* material yaitu 55,148 MPa, sehingga kemungkinan terjadinya tegangan patah sangat kecil.

Pada hasil *displacement*, diperoleh nilai deformasi maksimum yang terjadi pada *gantry* dengan variasi pembebanan 10 kg sebesar 0,016 mm, pembebanan 20 kg sebesar 0,031 mm, dan pembebanan 30 kg sebesar 0,047 mm. Nilai tersebut menyatakan bahwa deformasi yang terjadi pada *gantry* cukup kecil, sehingga kemungkinan terjadinya deformasi plastis sangat kecil.

Sedangkan pada hasil *safety factor*, diperoleh faktor keamanan pada *gantry* dengan variasi pembebanan 10 kg sebesar 21,2, pembebanan 20 kg sebesar 10,6, dan pembebanan 30 kg sebesar 7,1. Nilai *safety factor* yang diperoleh berada jauh di atas rentang batas yang diizinkan yaitu 1,25 sampai 2, sehingga rancangan desain *gantry* dinyatakan sangat aman.

Selain itu, dilakukan juga pengukuran massa pada rancangan desain *gantry* menggunakan opsi *mass properties* untuk mengetahui rancangan desain *gantry* manakah yang lebih ringan. Pengukuran tersebut yang dapat ditunjukkan pada Tabel 8.

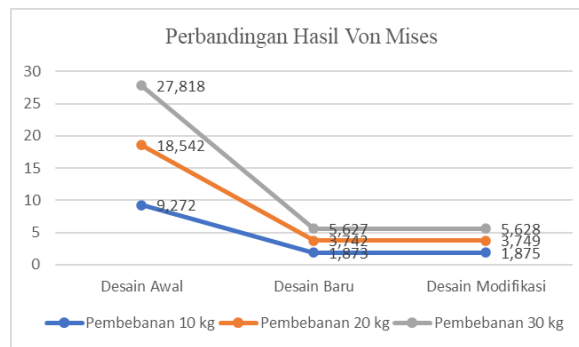
Tabel 8. *Mass Properties* Rancangan Desain *Gantry* Modifikasi

<i>Property</i>	<i>Value</i>	<i>Units</i>
Mass	1,80	Kg
Volume	1799483,64	mm ³
Surface Area	832830,35	mm ²

Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan pada desain *gantry* awal, desain *gantry* baru, serta desain *gantry* modifikasi dengan variasi pembebanan yaitu 10 kg, 20 kg, dan 30 kg, maka diperoleh hasil sebagai berikut.

Tabel 9. Perbandingan Hasil Analisis *Von Mises* pada Rancangan Desain *Gantry*

<i>Von Mises</i>	<i>Desain Awal</i>	<i>Desain Baru</i>	<i>Desain Modifikasi</i>
Beban 10 kg	9,272	1,873	1,875
Beban 20 kg	18,542	3,742	3,749
Beban 30 kg	27,818	5,627	5,628

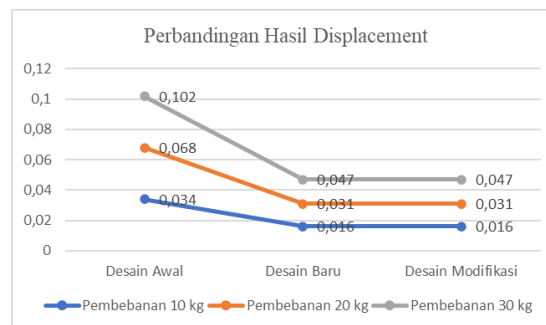


Gambar 13. Perbandingan Hasil Analisis Von Mises pada Rancangan Desain Gantry

Berdasarkan Gambar 13, nilai tegangan maksimum yang diperoleh dari pemberian variasi pembebanan yaitu 10 kg, 20 kg, dan 30 kg terhadap desain gantry awal, desain gantry baru, serta desain gantry modifikasi masih berada jauh di bawah *yield strength* dari material yaitu pada AISI 1020 sebesar 351,571 MPa dan pada Aluminium Alloy 6061 sebesar 55,148 MPa. Dengan demikian, maka rancangan desain gantry dapat dinyatakan aman karena risiko terjadinya tegangan patah atau kegagalan material sangat kecil.

Tabel 10. Perbandingan Hasil Analisis Displacement pada Rancangan Desain Gantry

Displacement	Desain Awal	Desain Baru	Desain Modifikasi
Beban 10 kg	0,034	0,016	0,016
Beban 20 kg	0,068	0,031	0,031
Beban 30 kg	0,102	0,047	0,047

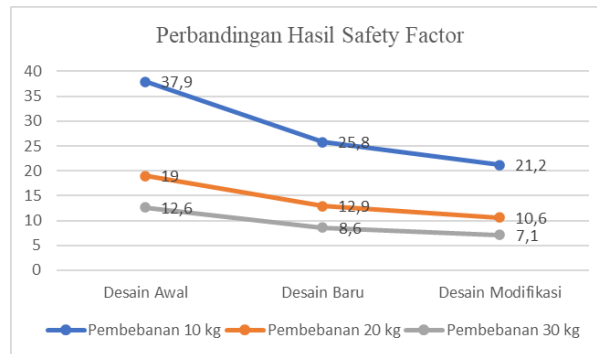


Gambar 14. Perbandingan Hasil Analisis Displacement pada Rancangan Desain Gantry

Berdasarkan Gambar 14, nilai deformasi yang terjadi pada pemberian variasi pembebanan yaitu 10 kg, 20 kg, dan 30 kg terhadap desain gantry awal, desain gantry baru, serta desain gantry modifikasi cukup kecil, sehingga kemungkinan terjadinya deformasi plastis sangat kecil.

Tabel 11. Perbandingan Hasil Analisis Safety Factor pada rancangan Desain Gantry

Safety Factor	Desain Awal	Desain Baru	Desain Modifikasi
Beban 10 kg	37,9	25,8	21,2
Beban 20 kg	19	12,9	10,6
Beban 30 kg	12,6	8,6	7,1



Gambar 15. Perbandingan Hasil Analisis *Safety Factor* pada Rancangan Desain *Gantry*

Berdasarkan Gambar 15, nilai faktor keamanan yang diperoleh pada pemberian variasi pembebanan yaitu 10 kg, 20 kg, dan 30 kg terhadap desain *gantry* awal, desain *gantry* baru, serta desain *gantry* modifikasi terbilang cukup tinggi sehingga rancangan desain *gantry* dinyatakan aman karena nilai faktor keamanan berada jauh di atas batas rentang yang diizinkan yaitu sebesar 1,25 sampai 2.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan pada rancangan desain *gantry* CNC router 3 axis, dapat disimpulkan bahwa rancangan desain *gantry* modifikasi yang telah dilakukan analisa topologi lebih optimal (*von mises* pada pembebanan 10 kg sebesar 1,875 MPa, 20 kg sebesar 3,749 MPa, dan 30 kg sebesar 5,628 MPa, *displacement* pada pembebanan 10 kg sebesar 0,016 mm, 20 kg sebesar 0,031 mm, dan 30 kg sebesar 0,047 mm, serta *safety factor* pada pembebanan 10 kg sebesar 21,2, 20 kg sebesar 10,6, dan 30 kg sebesar 7,1) dibandingkan dengan rancangan desain *gantry* baru (*von mises* pada pembebanan 10 kg sebesar 1,873 MPa, 20 kg sebesar 3,742 MPa, dan 30 kg sebesar 5,627 MPa, *displacement* pada pembebanan 10 kg sebesar 0,016 mm, 20 kg sebesar 0,031 mm, dan 30 kg sebesar 0,047 mm, serta *safety factor* pada pembebanan 10 kg sebesar 25,8, 20 kg sebesar 12,9, dan 30 kg sebesar 8,6) maupun rancangan desain *gantry* awal (*von mises* pada pembebanan 10 kg sebesar 9,272 MPa, 20 kg sebesar 18,542 MPa, dan 30 kg sebesar 27,818 MPa, *displacement* pada pembebanan 10 kg sebesar 0,034 mm, 20 kg sebesar 0,068 mm, dan 30 kg sebesar 0,102 mm, serta *safety factor* pada pembebanan 10 kg sebesar 37,9, 20 kg sebesar 19, dan 30 kg sebesar 12,6). Selain itu, berat atau massa pada rancangan desain *gantry* modifikasi lebih ringan dibandingkan dengan rancangan desain *gantry* baru maupun awal, yaitu menjadi 1,8 kg.

Daftar Pustaka

- [1] M. Mansur, I. Yusuf, and M. Marzuki, "Rancang Bangun Mesin Cnc Drilling Menggunakan Sistem Kontrol Grbl Untuk Pembuatan Lubang Pcb," *J. Mesin Sains Terap.*, vol. 3, no. 2, pp. 58–63, 2019.
- [2] M. L. Apriadi, "PERANCANGAN MESIN CNC (COMPUTER NUMERICAL CONTROL) ROUTER DENGAN APLIKASI GRBL 0.9 CONTROL 3 AXIS SISTEM X, Y, DAN Z (HARDWARE)." POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA, 2017.
- [3] D. W. Utama, "Perancangan Dan Analisis Rangka Mesin Desktop Cnc Milling," *POROS*, vol. 16, no. 1, 2018.
- [4] A. Prasetyo, I. Malik, and A. Azharuddin, "ANALISIS VIBRASI FRAME CNC ROUTER 3 SUMBU SECARA NUMERIK," *AUSTENIT*, vol. 12, no. 1, pp. 28–33, 2020.
- [5] M. N. A. Mukhtar *et al.*, "ANALISIS SIMULASI PROSES IRONING UNTUK MENGETAHUI KETINGGIAN DINDING BERDASARKAN VARIASI REDUKSI KETEBALAN DINDING," vol. 15.
- [6] L. A. N. Wibawa, "The fatigue life prediction of *gantry* crane with load capacity variation using Ansys Workbench," *Tek. J. Sains dan Teknol.*, vol. 16, no. 1, pp. 18–24, 2020.
- [7] M. Mukhtar, T. Koesdijati, S. Rochman, E. Nasrulloh, and L. Hidayat, "ANALISIS DESAIN STATOR GENERATOR TIPE MAGNET PERMANEN FLUKS AKSIAL MENGGUNAKAN METODE FINITE ELEMENT ANALYSIS (FEA)," *J. Tek. Mesin*, vol. 8, no. 2, pp. 149–156, 2021.
- [8] L. A. N. Wibawa and T. Tuswan, "Simulasi numerik kekuatan rak roket portabel menggunakan metode elemen hingga," *J. Tek. Mesin Indones.*, vol. 16, no. 2, pp. 54–59, 2021.
- [9] M. A. Rozik, "PERANCANGAN DAN ANALISIS KEKUATAN RANGKA MESIN PENGAYAK PASIR MENGGUNAKAN AUTODESK INVENTOR 2019." Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, 2020.
- [10] R. D. W. I. ATMAJA, "PERBAIKAN STRUKTUR GANTRY MESIN CEDU CNC," 2018.