

Perancangan Klem Mesin CNC *Milling Desktop* Menggunakan *Inventor*

Sutrisno¹, Hary Witjahjo², Muhammad Rifki Putra Pratama Waluyo³

¹²³Program Studi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Texmaco, Indonesia
Email : sutrisno@stttxmaco.ac.id

Received 31 Agustus 2024 | Revised 14 September 2024 | Accepted 20 September 2024

ABSTRAK

Kegiatan praktikum sangat bermanfaat bagi mahasiswa untuk menerapkan teori-teori yang telah dipelajari ke dalam kegiatan nyata, beberapa lembaga pendidikan belum melengkapi peralatan praktiknya sehingga mahasiswa kurang mampu dalam menguasai kompetensi *hard skill*-nya. Untuk mengatasinya, penulis melakukan penelitian tugas akhir mahasiswa yaitu perancangan klem mesin CNC *milling desktop* sebagai awal langkah awal perencanaan sebelum pembuatan mesin CNC *milling desktop* untuk kegiatan praktikum. Penelitian bertujuan untuk memperoleh gambar pengerjaan material aluminium di mesin CNC *milling desktop* yang memiliki gaya cekam yang berbeda disetiap beban benda kerja. Dalam perancangannya digunakan *software* Inventor untuk membuat model 3 dimensi dengan simulasi FEA. Ada selisih hasil perhitungan namun keduanya masih dalam batas aman terhadap kekuatan materialnya. Hasil dari penelitian ini selanjutnya akan digunakan sebagai salah satu acuan dasar dalam rancang bangun klem CNC *milling desktop*.

Kata kunci: CNC *Milling Desktop*, Klem, Gaya Cekam, Perhitungan Manual, Simulasi FEA

ABSTRACT

Practical activities are very useful for students to apply the theories they have learned into real activities. However, several educational institutions have not equipped their practical equipment so that students are less able to master their hard skill competencies. the author conducted research on the student's final assignment, namely the design of a desktop CNC milling machine clamp as an initial step in planning before making a desktop CNC milling machine for practical activities. This research aims to obtain images of aluminium material processing on a desktop CNC milling machine which has a different clamping force for each workpiece load. In the design, Inventor software was used to create a 3-dimensional model with FEA simulation. There are differences in the calculation results but both are still within safe limits regarding material strength. The results of this research will then be used as a basic reference in the design of clamp desktop CNC milling.

Keywords: CNC *Milling Desktop*, Clamps, Clamping Force, Calculation Manual, FEA Simulation

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi mesin industri sangat pesat, penggunaan mesin berbasis komputer semakin banyak karena memiliki banyak keuntungan. Mesin CNC (*Computer Numerical Control*) yang merupakan mesin dengan komputer sebagai pengontrolnya menggunakan bahasa numerik mampu memberikan banyak keuntungan dibandingkan dengan mesin konvensional karena mampu memberikan kecepatan, ketelitian dan kepresisian dalam pengoperasiannya. Perkembangan teknologi CNC tersebut harus diimbangi dengan kesiapan SDM yang terampil. Di dalam lembaga pendidikan wajib menyediakan mesin CNC sebagai sarana praktik untuk menunjang kemampuan dan keahlian anak didiknya. Namun investasi mesin CNC sangatlah mahal termasuk juga pengoperasian dan perawatannya pun membutuhkan biaya yang tidak murah.

Mesin CNC *milling desktop* mulai banyak digunakan di industri kecil dan juga untuk para penghobi permesinan, ini dapat menjadi peluang di dunia pendidikan untuk dapat menyediakan sarana penunjang kegiatan praktikum. Mesin CNC *milling desktop* yang mempunyai ukuran kecil dengan sistem yang sederhana, harga yang murah, *maintenance* dan *repair* serta ketersediaan komponen yang mudah menjadi faktor yang sangat mendukung pengadaan mesin ini.

Pembuatan Mesin CNC *milling desktop* ini pun padat dilakukan secara mandiri dengan banyaknya artikel di media internet yang membahasnya. Tentu dalam pembuatnya harus dimulai dari perancangan yang harus dilakukan dengan perhitungan yang benar agar mendapatkan mesin CNC *milling desktop* yang aman digunakan dan sesuai dengan kebutuhan praktikum.

Dalam hal ini memfokuskan penelitian perancangan klem CNC *milling desktop* menggunakan inventor, sebelum dilakukan pembuatan rancang bangun atau produksi.

2. METODE

2.1 Prosedur Penelitian

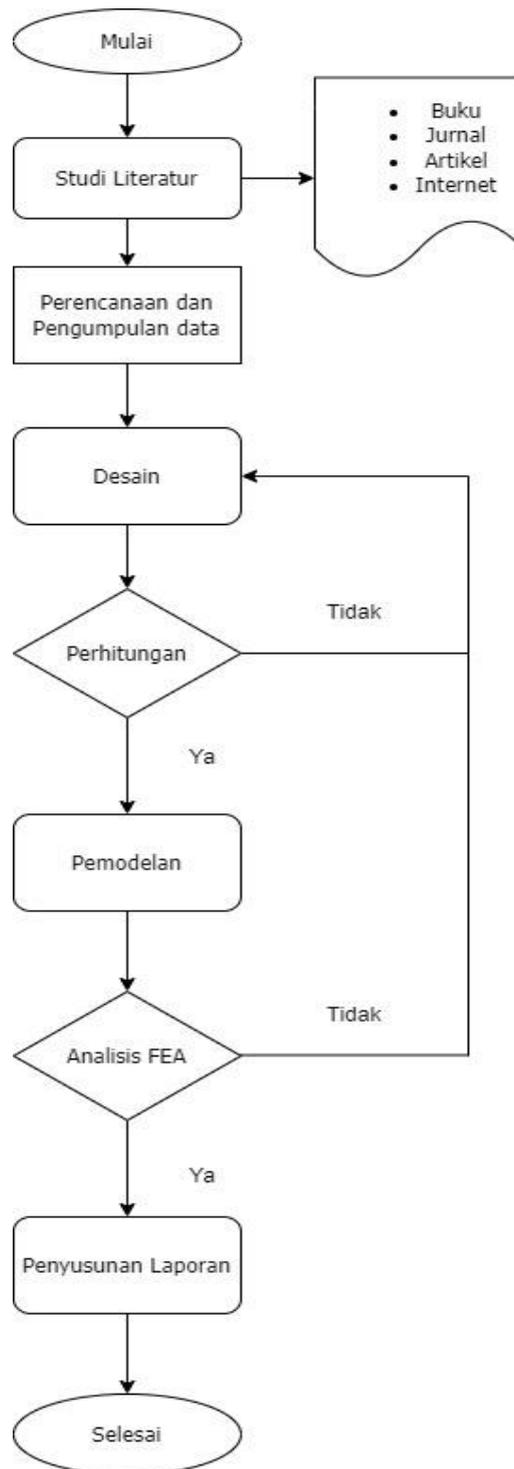
Metode penelitian secara keseluruhan dan tahapan dalam perancangan ini ditunjukkan dalam gambar 1, yang terdiri dari beberapa tahap yaitu:

Tahap 1: Studi literatur dari buku, jurnal, artikel, dan internet untuk memperoleh informasi yang berguna dalam proses perancangan.

Tahap 2: Perencanaan dan pengumpulan data, merupakan pengonsepan rancangan dan data-data dari *sheet* material dan material.

Tahap 3: Desain dan perhitungan, dalam desain ini untuk menentukan kekuatan pada klem maka perhitungan menjadi dasar untuk mendesain suatu rancangan.

Tahap 4: Pemodelan dan analisis FEA, dalam pemodelan 3D ini untuk mengetahui analisis terhadap kekuatan klem tersebut yang menggunakan metode elemen hingga (*Finite Element Analysis*) di Autodesk Inventor.



Gambar 1. Diagram alir metode penelitian

2.2 Studi literatur

Adapun studi literatur yang akan dilakukan dalam perancangan klem mesin CNC *milling desktop* menggunakan Inventor sebagai berikut:

Studi literatur, dilakukan untuk menunjang penelitian terkait pemahaman tentang teori dalam perancangan klem mesin CNC *milling desktop* menggunakan Inventor.

Referensi dari buku-buku teknik, jurnal, artikel dan internet yang berhubungan dengan perancangan klem mesin CNC *milling desktop* yang menjadi pokok pembahasan.

2.3 Perencanaan dan Pengumpulan Data

Perencanaan dan Pengumpulan Data ini dilakukan melalui berbagai cara diantaranya adalah sebagai berikut: Literatur yang berkaitan dengan judul penelitian, Referensi jurnal dan tugas akhir, Data sheet material, Hasil perhitungan dengan persamaan rumus, Hasil dari analisis dengan FEA. Metode pengumpulan data berdasarkan diagram alir dimulai dari studi literatur, perumusan masalah dilanjutkan dengan pengumpulan data berupa spesifikasi mesin CNC desktop yang terdiri dari perancangan dan analisa FEA.

2.4 Desain dan Perhitungan

Beberapa hal yang menjadi faktor yang menentukan dalam proses perancangan adalah sebagai berikut:

Untuk desain (2D) meliputi: Fungsi dari mesin CNC, Ketersediaan komponen di pasaran, Kemudahan dalam penelitian dan perbaikan, ukuran mesin sekecil mungkin sehingga tidak memerlukan area yang luas, ukuran maksimal benda kerja, ukuran alat potong / *endmill*, penentuan jarak lintasan eretan, kekuatan dalam menahan beban tegangan yang mempengaruhi hasil produk, penentuan toleransi hasil produk.

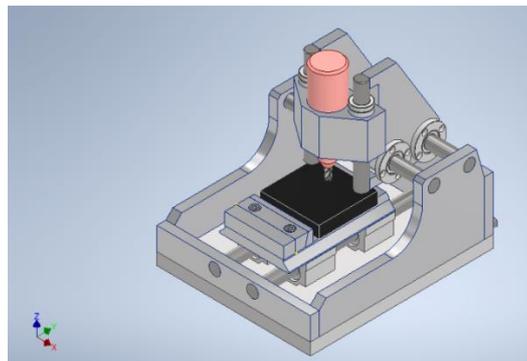
Untuk perhitungan yang dilakukan adalah: gaya berat, gaya potong, tegangan bending, tegangan geser, defleksi, dan kekuatan baut pencekam.

2.5 Pemodelan dan Analisis FEA

Setelah hal yang menjadi faktor yang menentukan dalam proses perancangan adalah sebagai berikut:

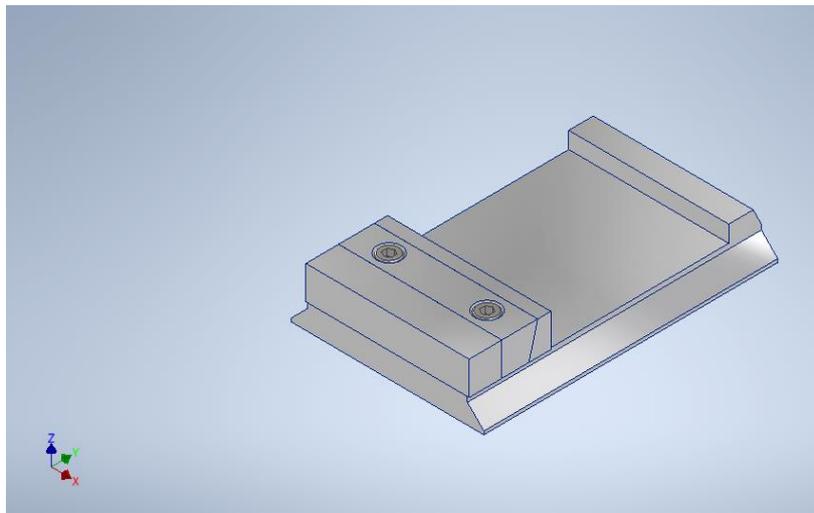
Jika data perhitungan di dapatkan, maka dilanjutkan dengan proses pemodelan (3D) dengan aplikasi Inventor. Pemodelan dimaksud untuk mendapatkan gambaran secara detail bentuk mesin termasuk detail komponen-komponen yang digunakan. Dalam pendesain 3D juga bertujuan memperjelas dari gambar 2D yang dikhususkan pada klem di CNC *milling desktop* ini. *Finite elements analysis* (FEA) yang dalam bahasa Indonesia dikenal sebagai analisis elemen hingga adalah metode komputerasi untuk memprediksi bagaimana sebuah produk bereaksi terhadap pembebanan, vibrasi panas, aliran fluida dan efek fisik lainnya. Analisis elemen hingga menunjukkan apakah suatu produk akan rusak, aus, atau berfungsi sesuai desainnya. Dalam proses pengembangan produk, simulasi FEA digunakan untuk memprediksi apa yang akan terjadi ketika produk digunakan dalam aplikasi dunia nyata untuk memastikan produk dapat bekerja dan bertahan dengan aman dan efisien.

Dengan mempertimbangkan faktor-faktor di atas terbentuklah model dasar seperti tampak pada gambar berikut:

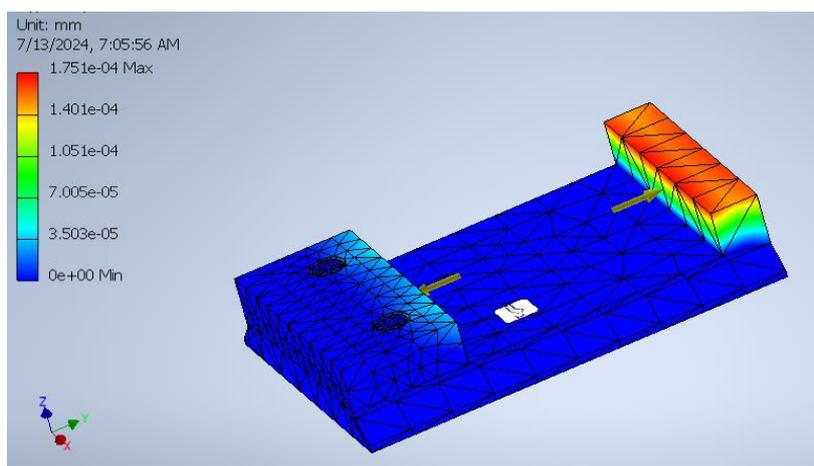


Gambar 2. Rancangan 3D CNC *milling desktop*

Dan berikut adalah bagian yang ditinjau



Gambar 3. Klem pada CNC *milling desktop*



Gambar 4. Hasil simulasi FEA

Dan dari gambar 2.3 Pada tahapan ini dilakukan validasi FEA, yang dimaksud adalah merubah nilai pada proses *meshing* menjadi lebih kecil namun sampai hasil akhir tetap sama. Kemudian dilakukan lagi penggantian nilai ke nilai yang besar namun mengalami kegagalan karena desain tidak kompatibel dengan nilai yang lebih besar karena berukuran kecil sehingga ditentukan nilai yang di dapat telah *valid*.

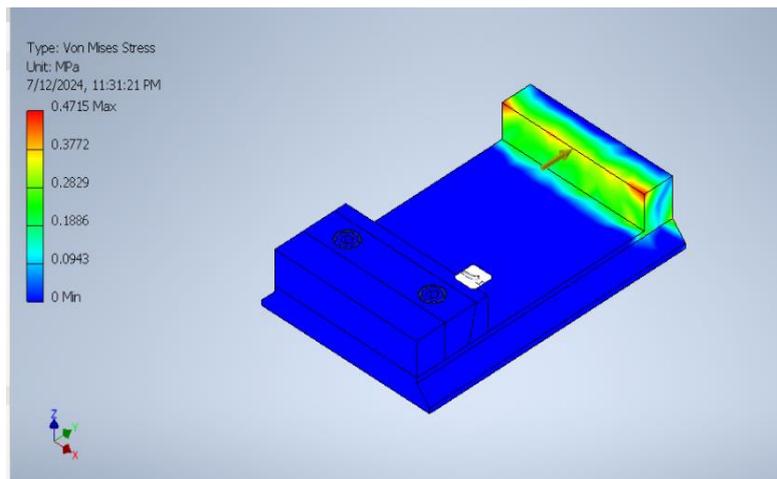
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Perancangan dan Desain Klem CNC Milling Desktop

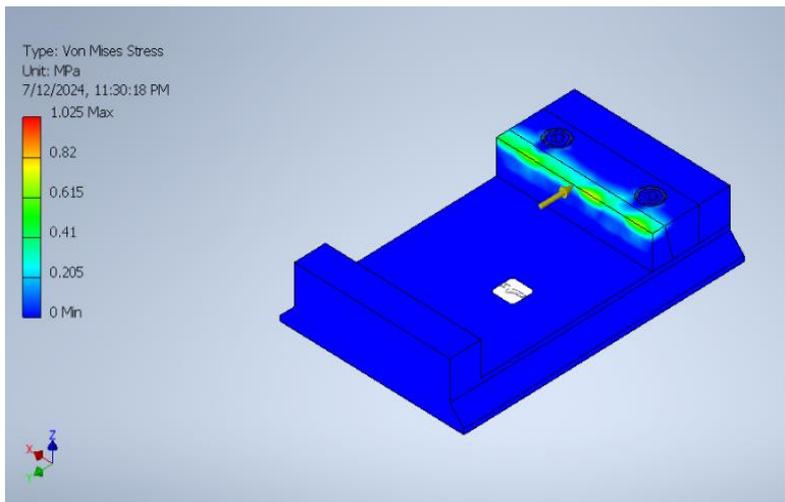
Hasil dari perancangan adalah berupa desain klem pada CNC *milling desktop* dengan pengujian FEA (*Finite Element Analysis*) atau yang bisa sebut analisis elemen hingga di Inventor untuk mengambil data simulasi secara lebih mudah, efisiensi dan ekonomis. Dan untuk pengambilan data secara manual dilakukan perhitungan manual pada klem tersebut. Adapun setelah dilakukan penelitian yang berjudul "Perancangan Klem Mesin CNC *Milling Desktop* Menggunakan Inventor", hasil perhitungan didapat sebagai berikut:

Tabel 1. Rangkuman Hasil Perhitungan Manual

Tegangan pada Klem			
Jenis Material	Aluminium 6061-T1		Satuan
Yield Strength (N/mm ²)	τ_y	110	MPa
Acuan Tegangan			
Gaya berat	F_w	0.981	N
Gaya potong endmill	F_t	150,04	N
Tegangan Bending			
Rahang tetap	σ_{b_rt}	0.45	MPa
Rahang bebas	σ_{b_rb}	0.072	MPa
Tegangan Geser			
Rahang tetap	τ_{tetap}	0.075	MPa
Rahang bebas	τ_{bebas}	0.03	MPa
Defleksi pada klem			
	δ_{max}	0.0000871	Mm
Tegangan Cekam			
	F_{cekam}	187.5	N
Tegangan pada Baut			
Jenis Material	SS 304		
Yield Strength (N/mm ²)	τ_y	215	MPa
Geser baut pencekam			
	$\tau_{baut\ cekam}$	1.503	MPa
Normal baut pencekam			
	$\sigma_{baut\ cekam}$	2.984	MPa
Geser ulir profil			
	$\tau_{ulir\ profil}$	0.540	MPa

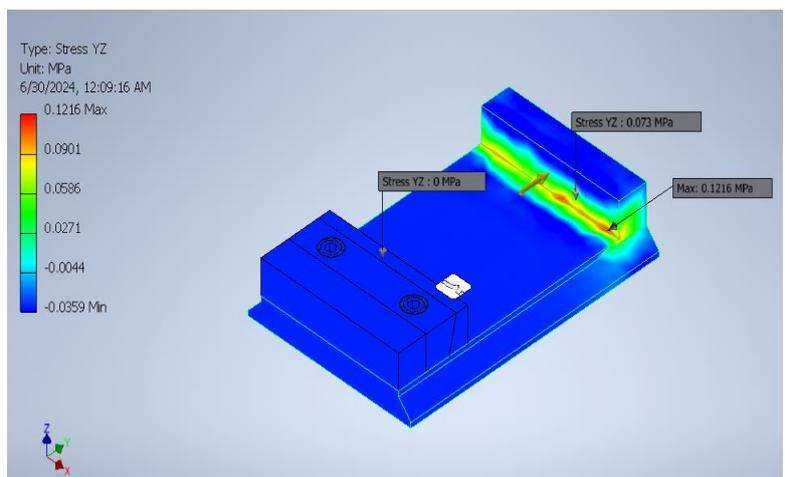


Gambar 5. Simulasi tegangan *bending* rahang tetap

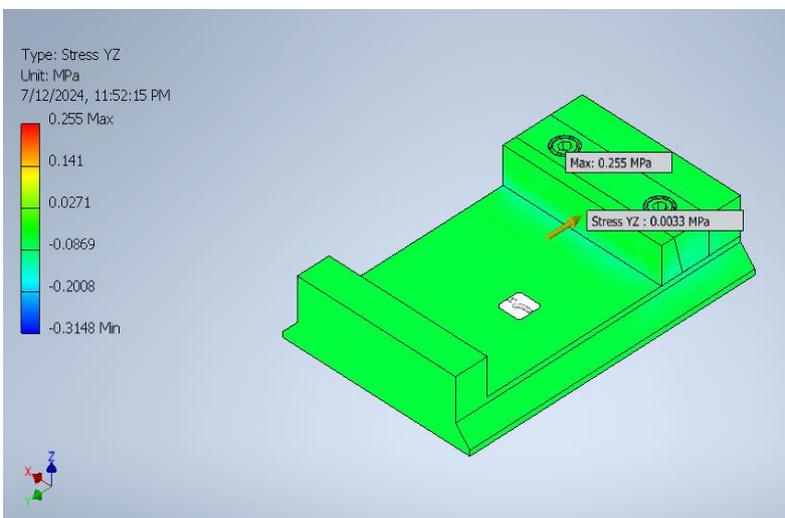


Gambar 6. Simulasi tegangan *bending* rahang bebas

Dari hasil analisa tegangan bending dengan memberikan gaya sebesar 150,04 N, dibagian maksimum rahang tetap terdapat nilai sebesar 0.4715 MPa, dan pada maksimum rahang bebas terdapat nilai 1.025 MPa.



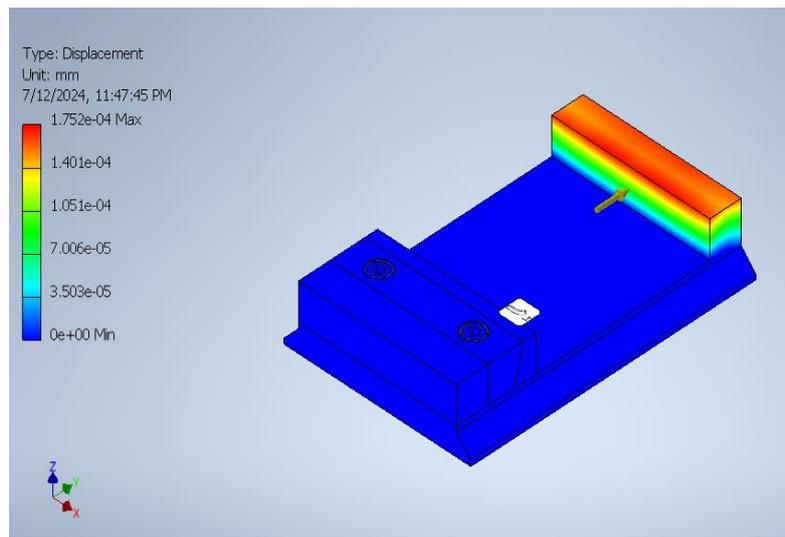
Gambar 7. Simulasi tegangan geser rahang tetap



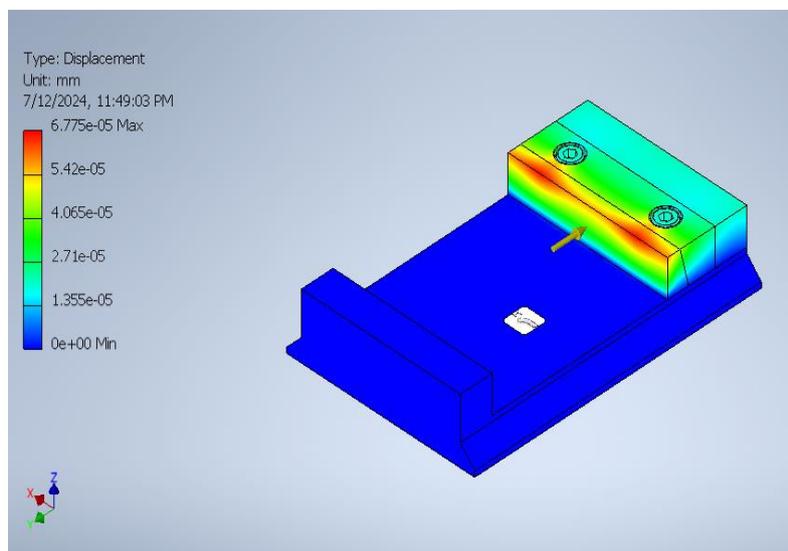
Gambar 8. Simulasi tegangan geser rahang bebas

Hasil dari analisa Stress YZ (Gaya geser searah sumbu Y). Dari simulasi terdapat nilai pada maksimum rahang tetap sebesar 0.1216 MPa, dan untuk tegangan di area cekam tersebut maka didapatkan tegangan nya sebesar 0.073 MPa.

Dan dapat diketahui pada maksimum rahang bebas sebesar 0.255 MPa, dan untuk tegangan area cekam tersebut maka didapatkan tegangan nya sebesar 0.0033 MPa, pada pembebanan gaya potong F_t sebesar 150,04 N.

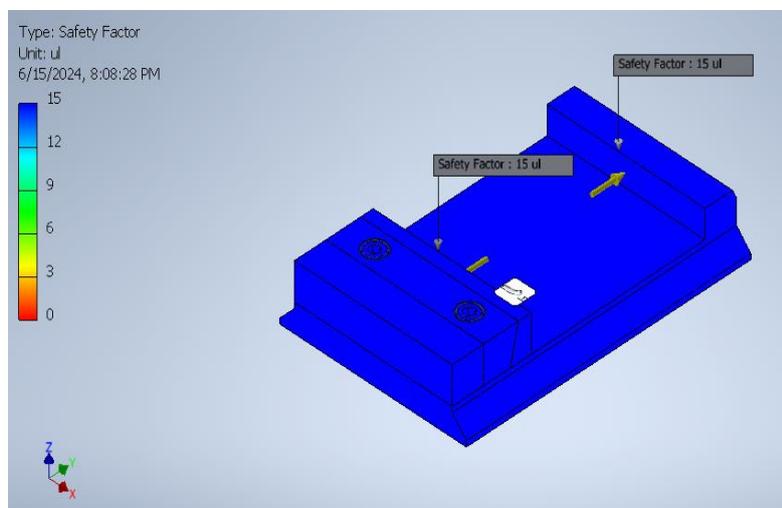


Gambar 9. Simulasi defleksi rahang tetap



Gambar 10. Simulasi defleksi rahang bebas

Kemudian hasil dari analisa *displacement* diperoleh hasil defleksi dari rahang tetap sebesar 1.752 mm, dan untuk defleksi dari rahang bebas sebesar 6.775 mm, dalam *displacement* ini yang dikenai yaitu tegangan maksimum area cekam pada elemen sumbu Y saat mendapat pembeban gaya potong F_t sebesar 150,04 N.



Gambar 11. Simulasi *safety factor*

Dan dari analisa *Safety Factor* ini menunjukkan bahwa kekuatan elemen-elemen mesin masih dalam kondisi aman saat diberikan pembebanan gaya potong F_t sebesar 150,04 N. Maka untuk perhitungan manual diasumsikan mendekati nilai angka dengan hasil pengujian FEA nya, angka tersebut saja bisa kurang atau lebih gimana hasil perhitungannya. Tabel berikut ini menunjukkan hasil analisa perhitungan manual dengan hasil dari simulasi FEA dengan $F_t = 150,04$ N.

Tabel 2. Perbandingan hitungan manual dan FEA

	Perhitungan Manual (MPa)		Analisis FEA (MPa)		Keterangan
	Rahang tetap	Rahang bebas	Rahang tetap	Rahang bebas	
Tagangan Bending	0.45	0.072	0.4715	1.025	Tegangan maksimal area cekam
Tegangan Geser	0.075	0.030	0.073	0.0033	Tegangan area cekam
			0.1216	0.255	Tegangan maksimal area cekam
Defleksi	0.0000871 mm		0.0000175 mm	0.0000677 mm	Defleksi

Terdapat selisih hasil perhitungan manual dan FEA namun kedua perhitungan masih menunjukkan nilai dibawah batas aman material.

Perhitungan dengan *software* FEA dipencekam terhadap beberapa bagian seperti rahang tetap, rahang bebas, dan akibat dari gaya yang berlaku, dalam simulasi dapat terlihat bagaimana klem yang dirancang dapat berfungsi dalam kondisi aman.

4. KESIMPULAN

Dari hasil perancangan klem dapat disimpulkan dalam hal sebagai berikut:

Hasil perancangan klem dengan ukuran 180x110x35 mm sangat cocok untuk kegiatan praktikum. Dengan bentuk yang sederhana serta ketersediaan komponen yang banyak terdapat di toko *online*, proses pembuatan mesin, pemeliharaan dan perbaikan dapat dilakukan dengan mudah.

Hasil dari analisa menunjukkan gaya potong (F_t) atau beban benda kerja = 150,04 N menghasilkan tegangan *bending* rahang tetap sebesar $\sigma_{b_rt} = 0.45$ MPa, tegangan geser rahang tetap $\tau_{geser_rt} = 0.075$ MPa, tegangan bending rahang bebas sebesar $\sigma_{b_rb} = 0.072$ MPa, tegangan geser rahang bebas $\tau_{geser_rb} = 0.030$ MPa, serta tegangan cekamnya $P = 187.5$ N, dan defleksinya $\delta_{max} = 0.0000871$ mm jauh dibawah batas defleksi yang ditentukan sebesar 0.05 mm. Dan untuk baut pada klem tegangan geser baut pencekam = 1.503 MPa, tegangan normal baut pencekam = 2.984 MPa, dan pada tegangan geser profil ulir = 0.540 MPa.

Dari hasil perhitungan manual dan simulasi FEA terdapat nilai selisih hasil perhitungan namun dari perhitungan manual dan simulasi FEA masih dalam batas aman terhadap kekuatan material dan defleksinya. Maka dari itu dinyatakan aman, kemudian proses bisa dilanjutkan ke tahap berikutnya. Proses penelitian ini penulis dapat memahami perhitungan analisa gaya beban dan tegangan pada material serta proses desain sebuah mesin dan proses analisa dengan FEA.

5. DAFTAR RUJUKAN

- [1] Priyamanggala, A. (2023). Perancangan Jig and fixture Untuk Pembuatan Ragum Tipe 125. *ROTASI*, vol 25.
- [2] Restu, F. (2017). Analisa Kekuatan Material ASTM A36 Pada Konstruksi Ragum. *Jurnal Integrasi*.
- [3] Kurniawan, A. (2015). ANALISA KEKUATAN DAN KECEPATAN PADA RANCANGAN SISTEM PENCEKAMAN RAGUMYANG DIGUNAKAN DI MESIN MILLING MIKRON POLITEKNIK ATMI SURAKARTA. *MEKANIKA*, vol 13.
- [4] Komara, A. I. (2020). Perancangan dan Validasi Fixture Pemesinan Komponen Utama Produk Ragum Meja. *Jurnal Teknologi Rekayasa*, vol 5.
- [5] "MaterialData_Stainless Steel 304", Diakses: 10 Januari 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?MatGUID=abc4415b0f8b490387e3c922237098da&ckck=1>
- [6] <https://www.autodesk.com>, "Finite Element Analysis (FEA) Software | Autodesk." Diakses: 15 Juni 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.autodesk.com/solutions/simulation/finite-element-analysis>

- [7] "Cutting force measurement: forces during milling | Kistler." Diakses: 30 Juni 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.kistler.com/PT/en/measuring-cutting-forces-in-milling-operations/C00000127>
- [8] Balai Pelatihan dan Pengembangan Teknologi Informasi dan Komunikasi (BPPTIK), "Mengenal Internet of Things (IoT)", 24 Februari, 2015, [Online]. Sumber: <https://bpptik.kominfo.go.id/2015/02/24/810/> [diakses 20 Mei 2019]
- [9] "MaterialData_Carbon Steel S45C", Diakses: 25 Desember 2023. [Daring]. Tersedia pada: https://drive.google.com/file/d/1cJnDwQEwo0CxaTajslRB4WwRfUImBfU1/view?usp=drive_link
- [10] M. H. M Haritubagus, "PERANCANGAN MESIN CNC MINI UNTUK PRAKTIKUM LABORATORIUM TEKNOLOGI MATERIAL UNIVERSITAS UHAMMADIYAH SUMATERA BARAT DENGAN DIMENSI BAHAN UJI 50 CM X 30 CM X 10 CM," Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat, 2021. Diakses: 15 Juni 2024. [Daring]. Tersedia pada: <http://eprints.umsb.ac.id/937/1/17014%20M.%20Haritubagus.pdf>
- [11] "MaterialData_Aluminum 6061-T1", Diakses: 4 Januari 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.makeitfrom.com/material-properties/6061-T1-Aluminum>
- [12] "MITcalc - Power screws, design, calculation and check." Diakses: 18 Desember 2023. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.mitcalc.com/doc/powerscrew/help/en/PowerScrew.htm>
- [13] G. E. Pramono, D. Yulijaji, R. Waluyo, dan J. Jaenal, "Rancang Bangun CNC Mini Router 3 Axis untuk Keperluan Praktikum CAD/CAM," *AME (Aplikasi Mekanika dan Energi): Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 1, no. 1, hlm. 6–14, 2015, Diakses: 15 Juni 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://ejournal.uika-bogor.ac.id/index.php/ame/article/download/102/9>
- [14] Restu, F., Hakim, R., & Anwar, F. S. (2017). Analisa Kekuatan Material ASTM A36 pada Konstruksi Ragum terhadap Variasi Gaya Cekam dengan Menggunakan Software SolidWorks 2013. *Jurnal Integrasi*, 9(2), 113. <https://doi.org/10.30871/ji.v9i2.444>
- [15] Syah, D. (2018). *Perencanaan Trunion Fixture Untuk Proses Machining Part Headstock Pada Mtu-150 Lathe Di Pt. Cnc Controller Indonesia*.
- [16] Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia, "Buku Mekanika dan Elemen Mesin 2." Diakses: 28 Mei 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://sumberbelajar.seamolec.org/Media/Dokumen/597425f33f6dc50f3561554e/b8ebc49069c4cd0888dbdd824d36d3a9.pdf>
- [17] "Bantam Tools – Bantam Tools." Diakses: 30 Juni 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.bantamtools.com/>
- [18] "Welcome to Mazak." Diakses: 30 Juni 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.mazak.co.id/>