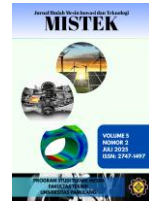




JURNAL TEKNIK MESIN MISTEK MESIN INOVASI DAN TEKNOLOGI



ANALISIS KEKUATAN KLEM BENDA KERJA PLAT PADA MESIN UJI TARIK KAPASITAS 5 TON MENGGUNAKAN SIMULASI AUTODESK INVENTOR

Ari Muchyar Pribadi¹, Jaja Miharja², Mohamad Sjahmanto³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pamulang, Jl. Surya Kencana No.1, Tangerang Selatan, Indonesia

E-mail: arimuchy0322@gmail.com¹

Masuk : 20 Januari 2025

Direvisi : 03 Maret 2025

Disetujui : 17 Maret 2025

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan klem benda kerja plat pada mesin uji tarik berkapasitas 5 ton menggunakan metode simulasi dan perhitungan teoretis. Analisis dilakukan dengan pendekatan simulasi numerik berbasis metode *Finite Element Analysis* (FEA) menggunakan perangkat lunak *Autodesk Inventor*. Material yang digunakan dalam simulasi adalah Baja ST 37 atau *carbon steel* AISI 1047 dengan variasi pembebanan tarik sebesar 1 ton, 3 ton, dan 5 ton. Hasil simulasi menunjukkan bahwa peningkatan beban tarik menyebabkan kenaikan nilai *von Mises stress* dan *displacement*, serta penurunan nilai *safety factor*. Pada pembebanan maksimum 5 ton, diperoleh nilai *von Mises stress* sebesar 140 MPa, *displacement* sebesar 0,05 mm, dan *safety factor* sebesar 1,47. Selain itu, dilakukan perhitungan teoretis untuk mengevaluasi gaya, tegangan geser, dan reaksi tumpuan. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa gaya tarik sebesar 5 ton setara dengan 49.000 N, dengan nilai *safety factor* sebesar 0,37 serta tegangan geser pada baut M30 sebesar 347 Nm/s². Perbandingan antara hasil simulasi dan perhitungan teoretis menunjukkan adanya perbedaan nilai *safety factor* akibat perbedaan pendekatan analisis, namun keduanya menunjukkan tren yang konsisten bahwa pembebanan 5 ton merupakan kondisi kerja kritis yang mendekati batas aman sistem klem. Berdasarkan hasil analisis tersebut, dapat disimpulkan bahwa klem benda kerja plat dengan baut M30 berbahan Baja ST 37 atau AISI 1047 masih layak digunakan pada mesin uji tarik berkapasitas 5 ton dengan batas pembebanan yang terkontrol.

Kata Kunci: Simulasi, Klem, Baut M30, Baja ST 37, *Autodesk Inventor*.

Abstract: This study aims to analyze the strength of a plate workpiece clamp used in a 5-ton capacity tensile testing machine through numerical simulation and theoretical calculation. The analysis was conducted using a numerical simulation approach based on the *Finite Element Analysis* (FEA) method with *Autodesk Inventor* software. The material used in the simulation was ST 37 steel or AISI 1047 carbon steel, with tensile load variations of 1 ton, 3 tons, and 5 tons. The simulation results indicate that increasing tensile load leads to higher *von Mises stress* and *displacement*, accompanied by a decrease in the *safety factor*. At the maximum load of 5 tons, the simulation produced a *von Mises stress* of 140 MPa, a maximum *displacement* of 0.05 mm, and a *safety factor* of 1.47. In addition, theoretical calculations were performed to evaluate the applied force, shear stress, and support reactions. The results show that a 5-ton load corresponds to a force of 49,000 N, with a calculated *safety factor* of 0.37 and a shear stress of 347 Nm/s² acting on the M30 bolt. A comparison between the simulation and theoretical results reveals differences in *safety factor* values due to different analytical approaches. However, both methods consistently indicate that the 5-ton load represents a critical working condition close to the allowable safety limit of the clamp system. Therefore, it can be concluded that the plate workpiece clamp using an M30 bolt made of ST 37 steel or AISI 1047 is still suitable for use in a 5-ton tensile testing machine under controlled loading conditions.

Keywords: Simulation, Clamp, M30 Bolt, ST 37 Steel, *Autodesk Inventor*.

PENDAHULUAN

Dalam pelaksanaan pengujian tarik terhadap suatu spesimen pada mesin uji tarik, kapasitas pengujian harus disesuaikan dengan karakteristik dan kemampuan spesimen yang diuji. Selain itu, penempatan benda kerja pada saat pengujian perlu disesuaikan dengan bentuk dan dimensi benda kerja tersebut. Agar proses pengujian berlangsung dengan

baik dan aman, klem uji tarik harus memiliki kemampuan pengecaman yang kuat terhadap benda kerja. Kegagalan sistem pengecaman dapat menyebabkan benda kerja terlepas, yang berpotensi menimbulkan risiko keselamatan bagi penguji serta memengaruhi keakuratan hasil pengujian [1], [2].

Klem merupakan suatu perangkat yang berfungsi untuk memegang, menopang, dan memposisikan benda kerja selama proses pengujian tarik terhadap spesimen tertentu, tanpa berfungsi sebagai pemandu alat pemotong. Klem hanya menyediakan permukaan referensi atau perangkat penahan. Karakteristik utama dari sebuah klem adalah desainnya yang dibuat secara khusus agar sesuai dengan bentuk atau jenis benda kerja tertentu [3].

Tujuan utama penggunaan klem adalah untuk memposisikan dan, dalam beberapa kondisi, menahan benda kerja selama proses permesinan atau proses industri lainnya [4], [5]. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan klem berbahan Baja ST 37 dalam mencekam benda kerja berbentuk pelat, khususnya pelat berdimensi kecil atau benda kerja yang tidak memiliki bagian khusus untuk dicekam. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menganalisis konstruksi klem pada mesin uji tarik agar mampu menghasilkan pengecaman yang optimal sehingga data hasil pengujian benda kerja berbentuk pelat dapat diperoleh secara akurat.

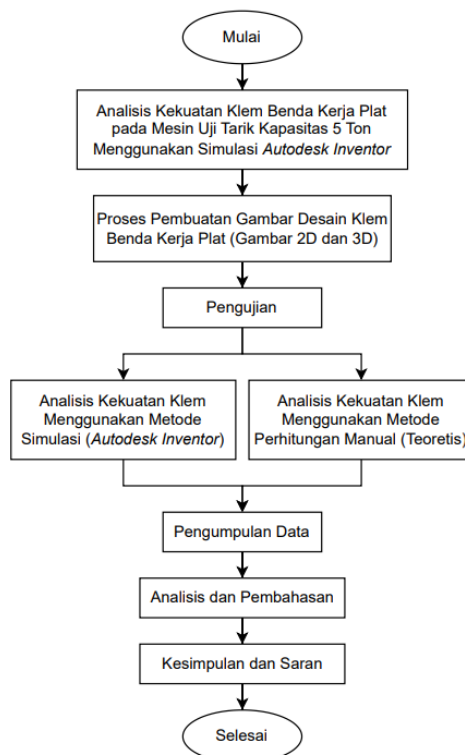
Manfaat dari penelitian ini antara lain mempermudah dan mempercepat proses pengaturan benda kerja berbahan *aluminium alloy*, Baja ST 37, dan kuningan CuZn15 pada meja mesin uji tarik. Selain itu, penelitian ini memberikan informasi mengenai nilai kekuatan daya pengecaman klem terhadap benda kerja pelat, serta dapat dijadikan sebagai studi perbandingan dalam bidang teknik permesinan. Konstruksi klem yang mampu mencekam benda kerja secara optimal juga diharapkan dapat mendukung tercapainya kualitas hasil pengujian yang lebih baik.

Sebagai upaya penerapan ilmu yang diperoleh selama perkuliahan di Universitas Pamulang, penulis melakukan analisis dan pengamatan terhadap permasalahan pada alat bantu yang terdapat di Laboratorium Pengujian Bahan Universitas Pamulang. Berdasarkan hasil pengamatan terhadap mesin uji tarik, ditemukan beberapa kendala, salah satunya terkait dengan kekuatan klem benda kerja plat pada mesin uji tarik berkapasitas 5 ton. Oleh karena itu, aspek kekuatan klem perlu mendapat perhatian khusus, mengingat pada proses pengujian tarik suatu bahan atau spesimen diperlukan sistem pengecaman yang mampu menahan spesimen secara aman dan stabil selama proses pengujian berlangsung.

METODOLOGI

Diagram Alir Penelitian

Berikut diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Metodologi penelitian ini diawali dengan penyusunan diagram alir penelitian yang menggambarkan tahapan analisis kekuatan klem benda kerja plat pada mesin uji tarik berkapasitas 5 ton. Tahapan penelitian dimulai dari proses perancangan, pengujian, pengumpulan data, analisis, hingga penarikan kesimpulan.

Alat dan Skema Penelitian

Perlengkapan yang digunakan dalam analisis kekuatan klem terhadap tiga jenis bahan spesimen dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan pengukuran detail spesimen menggunakan alat ukur yang sesuai dengan dimensi benda kerja.
2. Membuat gambar detail ukuran dengan merancang desain dua dimensi (2D) menggunakan *AutoCAD* serta desain tiga dimensi (3D) menggunakan *SketchUp*.
3. Melakukan simulasi untuk menganalisis kekuatan klem benda kerja plat dengan dimensi panjang 200 mm dan lebar 100 mm, serta variasi ketebalan 4 mm, 8 mm, dan 12 mm. Simulasi dilakukan dengan variasi beban tarik dari 1 hingga 5 ton menggunakan perangkat lunak *Autodesk Inventor*.

Alat Ukur

Peralatan ukur yang digunakan merupakan alat yang umum dipakai dalam proses pembuatan alat uji, mulai dari tahap pengukuran bahan hingga pelaksanaan pengujian.

1. Jangka sorong (sigmat)
Jangka sorong atau sigmat merupakan alat ukur yang digunakan untuk mengukur diameter lubang pada klem. Alat ini mudah dioperasikan dan dapat digunakan untuk tiga jenis pengukuran, yaitu pengukuran kedalaman, diameter dalam, dan diameter luar.
2. Meteran
Meteran digunakan untuk mengukur luas permukaan klem benda kerja plat dan spesimen. Alat ukur ini banyak digunakan karena bersifat sederhana dan mampu mengukur dimensi yang relatif panjang, seperti panjang dan lebar rangka serta tinggi alat uji.

Prosedur Simulasi

Mesin yang digunakan dalam pengujian adalah mesin uji tarik berkapasitas 5 ton dengan material uji berupa *aluminium alloy*, Baja ST 37, dan kuningan CuZn15, yang digunakan sebagai bahan pengujian untuk analisis kekuatan klem plat.

Prosedur simulasi analisis kekuatan perancangan dilakukan menggunakan perangkat lunak *Autodesk Inventor* dengan membuat model mesin uji tarik dalam bentuk dua dimensi (2D) dan tiga dimensi (3D). Tahap selanjutnya adalah melakukan verifikasi material dengan mengisi data *material properties*. Penentuan *constraints* dilakukan berdasarkan posisi tumpuan pada desain produk yang telah dimodelkan. Jenis *constraints* yang digunakan meliputi *fixed constraint*, *pin constraint*, dan *friction constraint*. Setelah itu ditentukan posisi serta besar beban tarik yang bekerja pada mesin penjepit sebesar 5 ton.

Tahapan berikutnya adalah proses *meshing*, yaitu proses pendiskritan sistem kontinyu dari benda yang dianalisis menjadi elemen-elemen berukuran kecil dengan jumlah terbatas. Proses *running* dilakukan dengan menerapkan metode *Finite Element Analysis* (FEA). Selanjutnya dilakukan proses *mesh refinement*, yaitu penghalusan jumlah elemen dan *node* pada bagian yang mengalami konsentrasi tegangan tinggi. Pada area dengan tegangan maksimum dilakukan *mesh refinement* menggunakan fitur *Local Mesh Control*. Proses ini dilakukan setelah *running* awal selesai, sehingga diperoleh hasil analisis yang lebih mendekati kondisi aktual, termasuk nilai tegangan, *displacement*, dan *safety factor* pada seluruh elemen struktur.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah proses *running* simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak *Autodesk Inventor*, diperoleh beberapa parameter utama yang digunakan untuk mengevaluasi kekuatan klem benda kerja plat, yaitu *von Mises stress*, *displacement*, dan *safety factor*. Parameter-parameter tersebut merepresentasikan respons mekanik klem terhadap variasi beban tarik yang diberikan.

Tabel 1. Hasil Simulasi Analisis Klem Uji Tarik

Beban Tarik	<i>Von Mises Stress</i> Maks. (MPa)	<i>Displacement</i> Maks. (mm)	<i>Safety Factor</i> Min.
1 Ton	28,06	0,01	7,37
3 Ton	84,25	0,03	2,46
5 Ton	140,00	0,05	1,47

Von Mises Stress

Von Mises stress merupakan tegangan ekuivalen yang digunakan sebagai indikator terjadinya kegagalan material pada kondisi tegangan triaksial. Tegangan ini berkaitan dengan energi regangan akibat pembebanan dan digunakan untuk memprediksi kondisi material ketika mendekati atau melampaui batas luluh (*yield strength*). Kegagalan material dapat terjadi dalam berbagai bentuk, seperti retak, patah, keausan, maupun kerusakan akibat pengaruh lingkungan dan temperatur. Faktor-faktor yang memengaruhi kegagalan antara lain kesalahan desain, pembebanan operasional yang berlebih, cacat material, serta kesalahan dalam perawatan komponen.

Berdasarkan hasil simulasi, nilai maksimum *von Mises stress* yang terjadi pada klem benda kerja plat meningkat seiring dengan bertambahnya beban tarik, yaitu sebesar 28,06 MPa pada beban 1 ton, 84,25 MPa pada beban 3 ton, dan mencapai 140 MPa pada beban 5 ton.

Displacement / Perubahan Bentuk

Displacement merupakan perpindahan atau perubahan bentuk yang terjadi pada benda akibat adanya beban atau tekanan yang bekerja. Pada simulasi ini, perubahan bentuk yang terjadi berupa lendutan pada klem benda kerja plat. Area yang mengalami lendutan terbesar ditunjukkan oleh warna merah, sedangkan area dengan lendutan paling kecil ditunjukkan oleh warna hijau dan biru. Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai *displacement* meningkat seiring dengan peningkatan beban tarik, yaitu sebesar 0,01 mm pada beban 1 ton, 0,03 mm pada beban 3 ton, dan 0,05 mm pada beban 5 ton.

Safety Factor

Safety factor merupakan parameter yang menunjukkan tingkat keamanan suatu komponen teknik dalam menahan beban luar. Parameter ini digunakan dalam perancangan elemen mesin untuk memastikan bahwa komponen dapat bekerja dengan aman tanpa mengalami kegagalan. Apabila nilai acuan yang digunakan adalah *yield strength*, maka *safety factor* dapat dihitung menggunakan Persamaan 1.

$$SF = \frac{\text{yield strength}}{\text{maximum von Mises stress}} \quad (1)$$

Menurut Krisna Rao dalam buku *Design of Machine Element: Vol. II* (2013), rentang nilai *safety factor* berdasarkan jenis pembebanan adalah 1,2–2,0 untuk beban statis, 2,0–3,0 untuk beban dinamis, dan 3,0–5,0 untuk beban kejut. Berdasarkan hasil simulasi, diperoleh nilai *safety factor* sebesar 7,37 pada beban 1 ton, 2,46 pada beban 3 ton, dan 1,47 pada beban 5 ton.

Berdasarkan hasil simulasi, diperoleh nilai *safety factor* sebesar 7,37 untuk beban 1 ton, 2,46 untuk beban 3 ton, dan 1,47 untuk beban 5 ton. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan beban tarik menyebabkan kenaikan nilai *von Mises stress* dan *displacement*, serta penurunan nilai *safety factor*.

Hasil Perhitungan Beban

Berdasarkan hasil perhitungan pembebanan, gaya yang bekerja pada rangka akibat beban tarik sebesar 5 ton adalah 49.000 Newton. Akibat gaya maksimum tersebut, tegangan geser yang terjadi adalah sebesar 608,54 Nm/s². Nilai *safety factor* yang diperoleh dari hasil perhitungan ini adalah sebesar 0,37.

Selain itu, reaksi tumpuan yang terjadi akibat pembebanan 5 ton menunjukkan bahwa kedua dudukan menerima beban yang sama besar, yaitu masing-masing sebesar RA = 24.500 Newton dan RB = 24.500 Newton. Dengan demikian, total reaksi tumpuan yang terjadi adalah sebesar 49.000 Newton, yang nilainya sebanding dengan gaya tarik yang diberikan pada sistem.

Hasil Teoretis Pembebanan 5 Ton

Berdasarkan perhitungan teoretis pada kondisi pembebanan 5 ton, diperoleh bahwa tegangan geser yang terjadi pada baut M30 adalah sebesar 347 Nm/s². Pada spesimen berbahan *aluminium alloy*, regangan yang terjadi sebesar 8,75 mm dengan modulus geser sebesar 69,55 N/m². Untuk spesimen berbahan Baja ST 37, regangan yang terjadi adalah sebesar 5,46 mm dengan modulus geser sebesar 111,45 N/m². Sementara itu, pada spesimen berbahan kuningan CuZn15, diperoleh nilai regangan sebesar 5,46 mm dengan modulus geser sebesar 199,52 N/m².

Pembahasan Komparatif Simulasi dan Perhitungan Teoretis

Berdasarkan perbandingan antara hasil simulasi dan perhitungan teoretis pada pembebanan 5 ton, terdapat perbedaan nilai *safety factor*, yaitu sebesar 1,47 pada hasil simulasi dan 0,37 pada hasil perhitungan manual. Perbedaan ini menunjukkan bahwa pendekatan simulasi numerik dengan metode *Finite Element Analysis* (FEA) mempertimbangkan distribusi tegangan secara lebih menyeluruh pada seluruh geometri klem, termasuk pengaruh kondisi batas (*constraints*) dan interaksi antar elemen, sehingga menghasilkan nilai *safety factor* yang lebih konservatif terhadap distribusi tegangan maksimum lokal.

Sebaliknya, perhitungan teoretis dilakukan dengan pendekatan idealisasi dan asumsi sederhana terhadap kondisi pembebanan dan geometri, sehingga menghasilkan nilai *safety factor* yang lebih kecil. Meskipun demikian, kedua hasil tersebut menunjukkan tren yang konsisten, yaitu bahwa pembebanan 5 ton merupakan kondisi kerja maksimum yang mendekati batas aman sistem klem. Dengan demikian, hasil simulasi dan perhitungan teoretis saling melengkapi dalam memberikan gambaran menyeluruh mengenai perilaku mekanik dan tingkat keamanan klem benda kerja plat pada mesin uji tarik berkapasitas 5 ton.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil simulasi menunjukkan bahwa peningkatan beban tarik menyebabkan kenaikan *von Mises stress* dan *displacement*, serta penurunan *safety factor* pada klem benda kerja plat.
2. Pada pembebanan maksimum 5 ton, diperoleh *von Mises stress* sebesar 140 MPa, *displacement* sebesar 0,05 mm, dan *safety factor* simulasi sebesar 1,47, yang menunjukkan kondisi kerja mendekati batas aman pembebanan statis.
3. Hasil perhitungan teoretis pada pembebanan 5 ton menghasilkan gaya sebesar 49.000 N dengan *safety factor* sebesar 0,37, serta menunjukkan bahwa pembebanan 5 ton merupakan kondisi kritis sistem klem.
4. Perbandingan hasil simulasi dan perhitungan teoretis menunjukkan tren yang konsisten, sehingga klem benda kerja plat dengan baut M30 berbahan Baja ST 37 atau AISI 1047 dinyatakan masih layak digunakan pada mesin uji tarik berkapasitas 5 ton dengan batas pembebanan yang terkontrol.

Disarankan dilakukan pengujian eksperimental secara langsung pada klem benda kerja plat untuk memvalidasi hasil simulasi dan perhitungan teoretis, serta mengevaluasi pengaruh kondisi aktual seperti toleransi pemasangan dan gesekan terhadap nilai *safety factor*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Setyawan, A. Sulisetyono, and W. D. Aryawan, "Effect of Additional Grip on Tensile Strength of Non-ferrous Materials for Ship," *J. Appl. Eng. Sci.*, vol. 20, no. 4, pp. 1175–1183, 2022, doi: <https://doi.org/10.5937/jaes0-37093>.
- [2] P. Horvath *et al.*, "Advanced 3D-Printed Capstan Clamping System for Accurate Uniaxial Tensile Testing of Biological Soft Tissues," *Applied Sciences*, vol. 14, no. 24, p. 11537, 2024. doi: <https://doi.org/10.3390/app142411537>.
- [3] H. Mustofa, "Simulasi Kekuatan Tarik Baut Pada Cekam Mesin Uji Tarik Kapasitas 5 Ton Dengan Menggunakan Baut Bahan Mild Steel Dan Carbon Steel," *J. Inov. Ilmu Pengetah. Dan Teknol.*, vol. 2, no. 2, pp. 34–39, 2021.
- [4] F. Fiedler *et al.*, "Jigs and Fixtures in Production: A Systematic Literature Review," *J. Manuf. Syst.*, vol. 72, pp. 373–405, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2023.10.006>.
- [5] H. Liu, C. Wang, T. Li, Q. Bo, K. Liu, and Y. Wang, "Fixturing technology and system for thin-walled parts machining: a review," *Front. Mech. Eng.*, vol. 17, no. 4, p. 55, 2022, doi: <https://doi.org/10.1007/s11465-022-0711-5>.