



Comparative Structural Response of Spring Materials in a Spring-Loaded Jig Fixture under Variable Clamping Loads Using Static Linear Finite Element Analysis

Vian Rizanda Putra^{1*}, Muhammad Akhlis Rizza¹, Aman Aldino²

¹Program Studi Magister Teknik Rekayasa Teknologi Manufaktur, Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 09, Malang, Jawa Timur

²Program Studi Teknik Otomotif Kendaraan Tempur, Teknik Mesin, Politeknik Angkatan Darat, Jl. Junrejo Pendem Karangploso, Batu, Jawa Timur

ARTICLE INFO

Keywords:
Finite Element Analysis
Jig Fixture
SolidWorks Simulation
Von Mises Stress
Factor of Safety

ABSTRACT

The selection of spring materials significantly affects the structural performance of jig fixtures; however, comparative studies evaluating different spring materials under high clamping loads using Finite Element Analysis (FEA) remain limited. This study investigates the mechanical response of Alloy Steel, AISI 4340, and Copper springs under loads of 400, 800, and 1200 N using Static Linear Analysis in SolidWorks Simulation 2025. A fixed support was applied to the fixture base, while vertical compressive loads were imposed on the spring assembly. The evaluated parameters included Von Mises stress, displacement, equivalent strain, and factor of safety (FoS). The results indicate that increasing the load increased stress, displacement, and strain while reducing the FoS for all materials. At 1200 N, Alloy Steel produced 753.4 N/mm² stress, 0.120 mm displacement, 0.00207 strain, and 0.54 FoS, whereas Copper exhibited the highest deformation. The findings demonstrate that Alloy Steel provides the best overall structural performance based on the combined evaluation of strength, stiffness, and safety for spring-loaded jig fixture applications.

Pendahuluan

Peningkatan produktivitas, akurasi, dan efisiensi proses manufaktur tuntutan utama dalam industri modern, khususnya pada proses pemesinan *milling* yang

digunakan untuk menghasilkan komponen dengan presisi tinggi. Kualitas pemesinan sangat dipengaruhi oleh kemampuan sistem *jig fixture* dalam mempertahankan posisi benda kerja selama proses pemotongan

*Corresponding author: 2hd3.22.vian.rizanda.p@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.24127/armatur.v7i2.11505>

Received 4 May 2026; Received in revised form 29 June 2026; Accepted 1 July 2026

Available online September 2026

berlangsung [1]. Sistem penjepitan yang tidak memiliki kekakuan memadai dapat menyebabkan terjadinya getaran, defleksi, maupun pergeseran benda kerja sehingga menurunkan akurasi dimensi, kualitas permukaan, serta meningkatkan risiko kerusakan pada komponen mesin. Dalam sistem tersebut, pegas berperan sebagai elemen mekanis yang menghasilkan gaya penjepit sekaligus menjaga kestabilan distribusi beban selama proses pemesinan. Karena itu, karakteristik mekanik pegas menjadi salah satu faktor menentukan keandalan, umur pakai, dan keselamatan operasi *jig fixture* [2].

Evaluasi terhadap perilaku mekanik pegas secara eksperimental memerlukan biaya relatif tinggi, waktu pengujian panjang, serta keterbatasan dalam mengamati distribusi tegangan internal. Perkembangan *Finite Element Analysis (FEA)* alternatif lebih efisien melalui simulasi numerik yang mampu memprediksi distribusi tegangan, deformasi, regangan, dan faktor keamanan suatu komponen sebelum diproduksi. Integrasi FEA dengan *SolidWorks Simulation* telah banyak digunakan dalam analisis komponen mekanik karena mampu memberikan hasil yang representatif terhadap kondisi pembebanan aktual serta mendukung proses optimasi desain secara lebih cepat dan ekonomis [3]. Pendekatan simulasi numerik menjadi metode yang relevan untuk mengevaluasi performa pegas pada sistem *jig fixture* tanpa harus melakukan pengujian destruktif terhadap prototipe fisik.

Karakteristik respons mekanik pegas dipengaruhi langsung oleh sifat material penyusunnya, terutama modulus elastisitas, kekuatan luluh, kekuatan tarik, serta kemampuan material dalam mempertahankan deformasi elastis ketika menerima pembebanan. *Alloy Steel* dikenal memiliki kekuatan struktural yang tinggi banyak digunakan pada komponen mekanik, sedangkan *AISI 4340* menawarkan kombinasi kekuatan, ketangguhan, dan ketahanan terhadap beban tinggi setelah perlakuan panas. Sebaliknya, *Copper*

memiliki konduktivitas termal dan ketahanan korosi yang baik, tetapi modulus elastisitas relatif lebih rendah sehingga diperkirakan menghasilkan deformasi yang lebih besar ketika menerima gaya penjepitan. Perbedaan karakteristik mekanik tersebut menunjukkan pemilihan material akan memberikan respons tegangan, deformasi, regangan, dan tingkat keamanan struktur yang berbeda pada kondisi pembebanan yang sama [4]. Berbagai penelitian sebelumnya membahas analisis struktur *jig fixture* maupun optimasi sistem penjepitan menggunakan pendekatan *Finite Element Analysis*.

Sebagian besar penelitian lebih berfokus pada desain *fixture* secara umum, optimasi tata letak penjepitan, atau analisis deformasi benda kerja. Belum terdapat kajian komparatif yang secara sistematis mengevaluasi pengaruh variasi material pegas terhadap distribusi tegangan *Von Mises*, *displacement*, *strain*, dan *factor of safety (FoS)* pada sistem *jig fixture* dengan rentang pembebanan tinggi menggunakan *SolidWorks Simulation* [5]. Keterbatasan tersebut menyebabkan informasi mengenai material pegas yang paling efektif dalam mempertahankan kestabilan struktural pada kondisi operasi yang berbeda masih belum tersedia secara komprehensif. Pernyataan ini menjadi *problem* yang mendasari perlunya penelitian ini dilakukan.

Berdasarkan kesenjangan penelitian tersebut, penelitian ini dirumuskan untuk menjawab beberapa pertanyaan ilmiah, pengaruh variasi material pegas terhadap distribusi tegangan *Von Mises*, *displacement*, *strain*, dan *factor of safety* pada sistem *jig fixture*, serta material yang menghasilkan deformasi paling kecil dan distribusi tegangan paling stabil pada variasi pembebanan 400, 800, dan 1200 N, apakah seluruh material masih berada dalam kondisi aman berdasarkan evaluasi faktor keamanan pada pembebanan maksimum. Dasar dalam penyusunan metodologi penelitian serta analisis hasil simulasi sehingga penelitian memiliki arah jelas dan dapat memberikan

jawaban ilmiah terhadap permasalahan yang diidentifikasi [6].

Penelitian ini tidak hanya terletak pada penggunaan tiga jenis material dan variasi pembebanan, tetapi juga pada penyajian analisis komparatif yang terintegrasi terhadap distribusi tegangan *Von Mises*, *displacement*, *strain*, dan *factor of safety* menggunakan pendekatan Static Linear Finite Element Analysis (FEA) pada sistem pegas *jig fixture* proses *milling* pelat tebal [7]. Pendekatan tersebut memberikan dasar kuantitatif dalam menentukan material pegas yang paling sesuai berdasarkan kombinasi kekakuan struktural, menahan deformasi, distribusi tegangan, dan tingkat keamanan [8]. Hasil penelitian ini memberikan kontribusi ilmiah terhadap pengembangan metode pemilihan material pada desain *jig fixture* sekaligus menjadi referensi bagi optimasi komponen penjepit pada proses manufaktur berbasis simulasi numerik [9], [10].

Metode Penelitian

Penelitian menggunakan pendekatan *Finite Element Analysis* (FEA) berbasis *Static Linear Analysis* dengan bantuan perangkat lunak *SolidWorks Simulation 2025* untuk menganalisis respons mekanik pegas pada sistem *jig fixture* selama proses penjepitan pelat. Material yang dianalisis

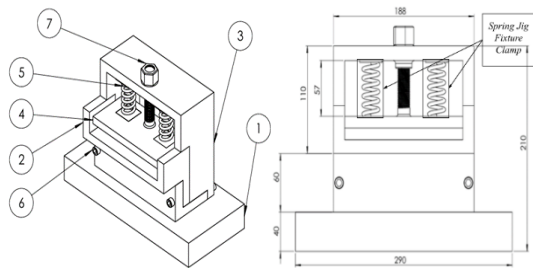
meliputi *Alloy Steel*, *AISI 4340*, dan *Copper*, dengan variasi pembebanan sebesar 400 N, 800 N, dan 1200 N [11]. Parameter yang dievaluasi meliputi tegangan *Von Mises*, *displacement*, *equivalent strain*, dan *factor of safety (FoS)*. Model tiga dimensi *jig fixture* dibuat menggunakan *SolidWorks*, kemudian didiskretisasi *Meshing* menggunakan elemen *tetrahedral* tiga dimensi dengan penyempurnaan *mesh* pada area kritis. Studi konvergensi *mesh* dilakukan memastikan hasil simulasi independen terhadap ukuran elemen [12]. Kondisi batas ditetapkan berupa *fixed support* pada bagian dasar *jig fixture*, sedangkan pembebanan diberikan secara vertikal pada mekanisme penjepit dengan *bonded contact* antar komponen. Material homogen, isotropik, dan berperilaku elastis linier. Proses penyelesaian numerik menggunakan *solver default program SolidWorks Simulation* dengan kriteria konvergensi otomatis [13], [14]. Validasi model melalui perbandingan hasil simulasi dengan teori mekanika material dan hasil penelitian terdahulu untuk memastikan respons tegangan, regangan, dan deformasi yang diperoleh memiliki kesesuaian dengan perilaku mekanik pegas secara teoritis [15]. Rincian sifat mekanik masing-masing material disajikan pada Tabel 1 sebagai input dalam pemodelan dan simulasi numerik [16].

Tabel 1 Komposisi Material *Alloy Steel*, *AISI 4340*, *Copper* [17].

Material Properties			
Nama:	Alloy Steel	AISI 4340	Copper
Model type:	3D Design	3D Design	3D Design
Default failure criterion:	Software Program	Software Program	Software Program
Yield strength:	620.422 N/mm ²	710 N/mm ²	258.456 N/mm ²
Tensile strength:	723.8256 N/mm ²	1110 N/mm ²	394.38 N/mm ²
Elastic modulus:	210000 N/mm ²	205000 N/mm ²	110000 N/mm ²
Poisson's ratio:	0.28	0.32	0.37
Mass density:	7700 N/mm ²	7850 N/mm ²	8900 N/mm ²
Shear modulus:	79000 N/mm ²	80000 N/mm ³	40000 N/mm ³
Thermal expansion coefficient:	13×10 ⁻⁵ K	1.23×10 ⁻⁵ K	2.4×10 ⁻⁵ K

Desain model *Jig Fixture* dirancang menggunakan perangkat lunak *SolidWorks* sesuai dengan dimensi yang akan digunakan dalam proses penggunaan pada mesin

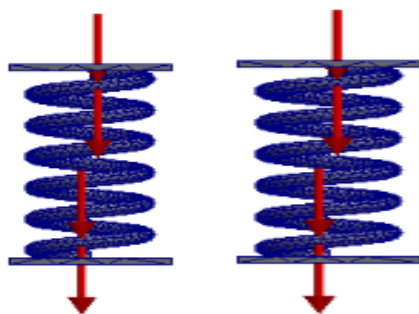
milling konvensional seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Jig Fixture Komponen

Model desain 3D *jig fixture* diekspor *SolidWorks Simulation 2025* untuk dianalisis menggunakan metode *Finite Element Analysis (FEA)* berbasis *Static Linear Analysis*. respons yang diamati meliputi tegangan *Von Mises*, *displacement*, *equivalent strain*, dan *factor of safety (FoS)* [18]. Geometri *jig fixture* dan jenis analisis dipertahankan tetap sehingga perubahan respons struktur hanya dipengaruhi oleh variasi material dan pembebanan. Dimensi model yang digunakan ditunjukkan pada gambar 2, [19], [20]. Untuk memastikan bahwa hasil simulasi memiliki dasar teoritis yang dapat dilakukan validasi numerik menggunakan persamaan dasar pegas tekan (*compression spring*) berdasarkan teori elastisitas.[4]. Konstanta pegas (1) ing menggunakan Persamaan (1)

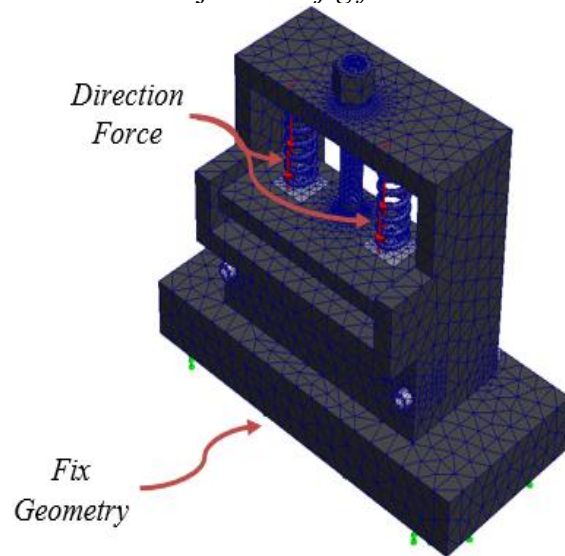
$$k = \frac{G.d^4}{8.D^2.n} \quad (1)$$



Gambar 2. Dimensi Spring Jig Fixture

Gambar 2, representasi teknis rancangan sistem mekanik pada *jig fixture* terdapat 2 buah pegas yang berfungsi sebagai komponen peredam gaya atau sistem penyeimbang. Komponen *jig fixture* tersebut menampung dua buah pegas spiral ditempatkan secara simetris terhadap sumbu vertikal yang dianalisis kekuatan struktur pada pegas tersebut [19]. Di antara kedua pegas tersebut terdapat poros penggerak

berfungsi menyalurkan gaya tekan atau tarik sesuai arah kerja sistem *jig fixture*.



Gambar 3. Meshing Simulasi

Gambar 3, proses *mesh generation* dan penerapan *boundary condition* pada model *jig fixture* menggunakan *SolidWorks Simulation*. Model didiskretisasi menggunakan elemen *tetrahedral* tiga dimensi dengan penyempurnaan *mesh* pada area kritis untuk meningkatkan akurasi analisis [21]. Kondisi batas diterapkan berupa *fixed support* pada bagian dasar *jig fixture*, sedangkan pembebanan diberikan secara vertikal dengan variasi beban 400, 800, dan 1200 N. Simulasi menggunakan *Static Linear Analysis* dengan *bonded contact* dan model material elastis linier. Parameter yang dianalisis meliputi tegangan *Von Mises*, *displacement*, *equivalent strain*, dan *factor of safety (FoS)* [22].

Tabel 2 Mesh Quality

Parameter	Nilai
Element Type	High Quality
Number of Elements	96,842
Number of Nodes	156,978
Average Element Size	4,50 mm
Minimum Element Size	0,90 mm
Average Aspect Ratio	2,31
Maximum Aspect Ratio	5,83
Jacobian Ratio	1,28

Tabel 2, menyajikan *mesh quality* menunjukkan model terdiri 96.842 elemen dan 156.978 *node* dengan kualitas *mesh* yang memadai untuk analisis numerik.

Tabel 3. Mesh Convergent Study

Mesh Size	Number of Element	Stress	Error (%)
6,0	48,562	746,82	-
5,0	71,694	751,45	0,62
4,5	96,842	753,38	0,26
4,0	132,487	754,12	0,10

Tabel 3 menunjukkan hasil *mesh convergence study*, penurunan nilai *error* hingga 0,10% mengindikasikan hasil simulasi konvergen dan independen terhadap ukuran *mesh* [21].

Tabel 4. Solver Setup

Parameter	Setting
Analysis Type	Static Linear Analysis
Solver	Direct Sparse Solver
Material Model	Linear Elastic
Contact Type	Bonded Contact
Boundary Condition	Fixed Support
Loading Direction	Vertical Compression
Load Variation	400, 800, 1200 N
Convergence Criteria	Automatic Convergence

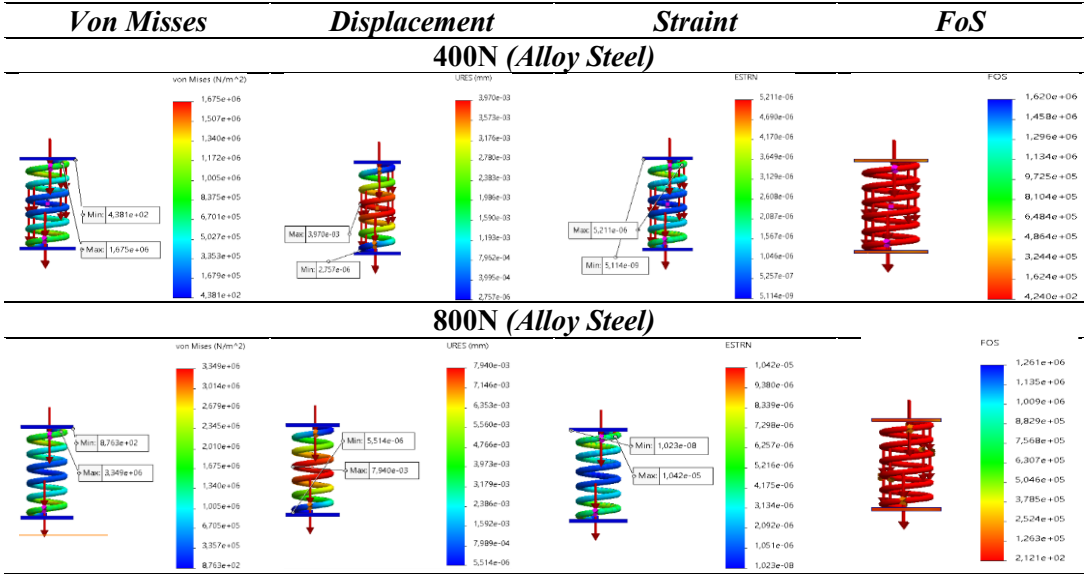
Tabel 4, menyajikan *solver setup* yang digunakan, *Static Linear Analysis* dengan *Direct Sparse Solver*, *bonded contact*, *fixed support*, pembebanan vertikal, serta *automatic convergence criteria*.

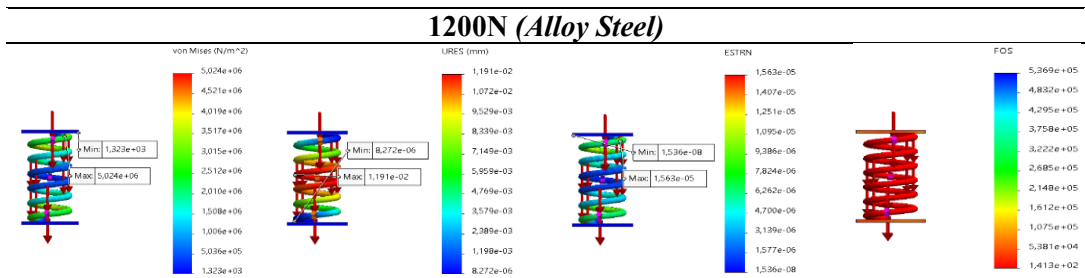
Hasil dan Pembahasan

Simulasi numerik menggunakan *SolidWorks Simulation* dilakukan untuk

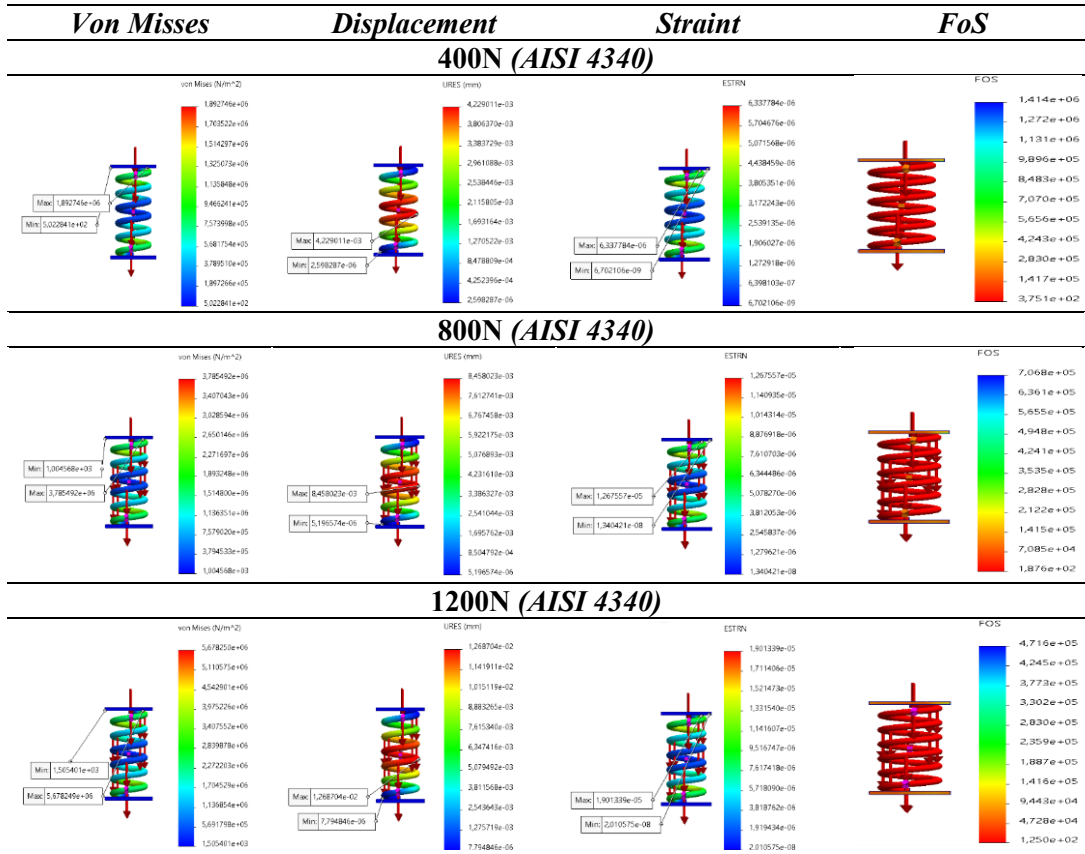
mengevaluasi respons mekanik pegas pada sistem *jig fixture* terhadap variasi pembebanan 400, 800, dan 1200 N material *Alloy Steel*, *AISI 4340*, dan *Copper*. Parameter yang dianalisis meliputi tegangan *Von Mises*, *displacement*, *equivalent strain*, dan *factor of safety (FoS)*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa peningkatan pembebanan menyebabkan kenaikan tegangan *Von Mises* dan regangan pada seluruh material, dengan konsentrasi tegangan tertinggi terjadi pada area kontak pegas dan dudukan penjepit sebagai lokasi kritis terhadap potensi kegagalan struktur [23].

Material *AISI 4340* menunjukkan distribusi tegangan yang lebih merata, deformasi yang relatif kecil, serta nilai *FoS* yang tetap berada pada batas aman, sehingga memberikan respons struktural yang paling stabil. *Alloy Steel* juga menunjukkan kinerja yang baik dan masih berada dalam batas elastis, sedangkan *Copper* mengalami *displacement* dan *strain* terbesar akibat modulus elastisitas yang lebih rendah. Berdasarkan perbandingan seluruh parameter, *AISI 4340* merupakan material yang paling sesuai untuk aplikasi pegas pada *jig fixture* karena memberikan kombinasi terbaik antara kekuatan, kekakuan, dan keamanan struktur, sementara *Alloy Steel* dapat dipertimbangkan sebagai alternatif yang lebih ekonomis [24].

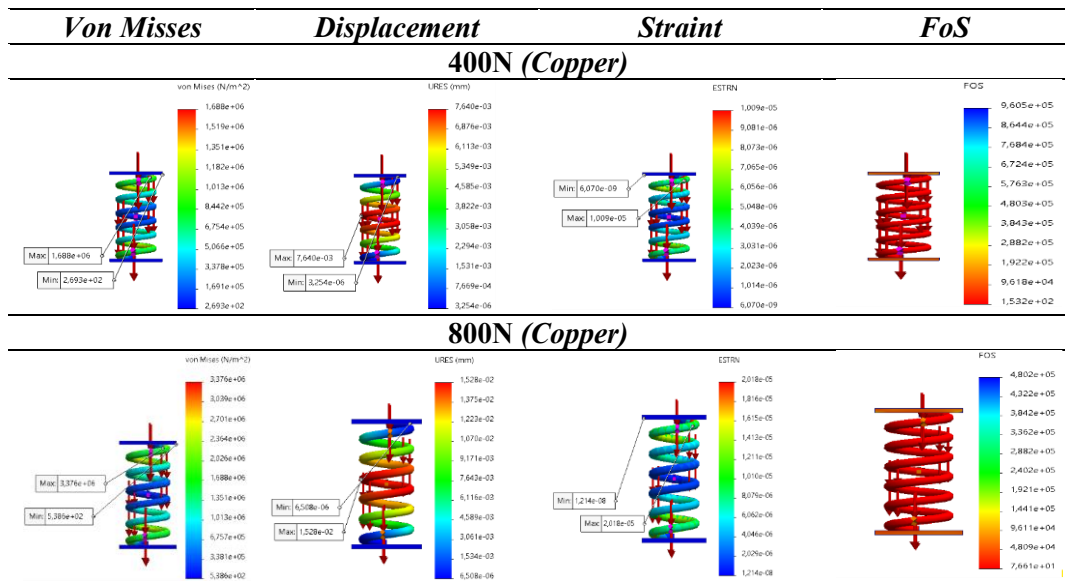


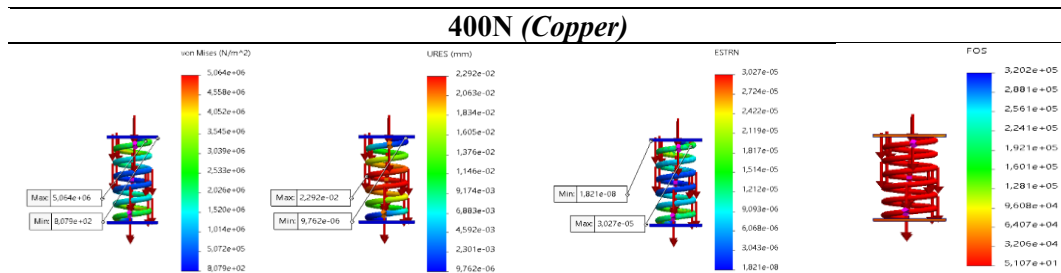


Gambar 4 Hasil Simulasi Material Alloy Steel



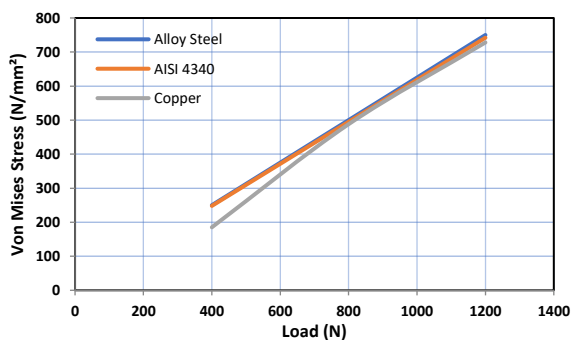
Gambar 5 Hasil Simulasi Material AISI 4340





Gambar 6. Hasil Simulasi Material *Copper*

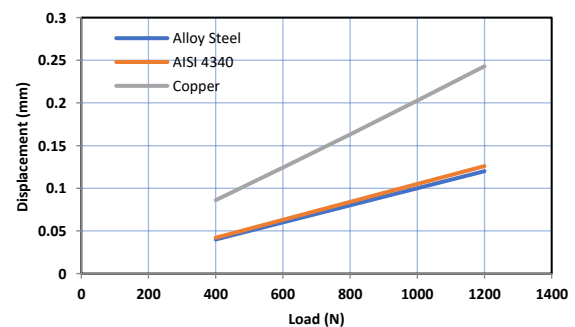
Hasil simulasi gambar 4, gambar 5, dan gambar 6, menunjukkan respons mekanik pegas *jig fixture* terhadap variasi pembebanan 400, 800, dan 1200 N pada material *Alloy Steel*, *AISI 4340*, dan *Copper*. Evaluasi dilakukan berdasarkan distribusi tegangan *Von Mises*, *displacement*, *equivalent strain*, dan *factor of safety (FoS)*. Secara umum, peningkatan pembebanan meningkatkan konsentrasi tegangan pada seluruh material, terutama pada daerah kontak pegas, dudukan pegas, dan poros penjepit yang merupakan jalur utama transfer beban. Deformasi maksimum terjadi pada bagian tengah pegas yang menerima gaya tekan secara langsung, sedangkan bagian dasar *jig fixture* tetap stabil karena diberi kondisi *fixed support*.



Gambar 7. Grafik *Von Mises* (N/mm²)

Gambar 7, menunjukkan hubungan antara pembebanan dan tegangan *Von Mises* pada material *Alloy Steel*, *AISI 4340*, dan *Copper*. Peningkatan beban dari 400 menjadi 1200 N menghasilkan kenaikan tegangan yang hampir linier pada seluruh material, mengindikasikan bahwa struktur masih bekerja pada daerah elastis sesuai asumsi *Static Linear Analysis*. *Alloy Steel* menghasilkan tegangan tertinggi, mencapai 753,4 N/mm² pada beban 1200 N, diikuti

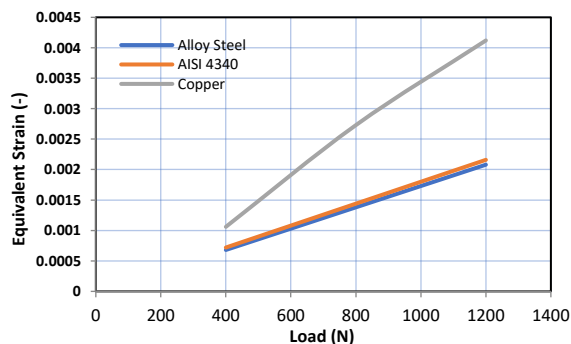
AISI 4340 sebesar 742,2 N/mm² dan *Copper* sebesar 728,6 N/mm². Meskipun *Alloy Steel* menunjukkan nilai tegangan yang lebih tinggi, distribusi tegangan pada *AISI 4340* lebih seragam dan diikuti nilai *displacement*, *equivalent strain*, serta *Factor of safety (Fos)* yang lebih baik, sehingga mampu mempertahankan stabilitas struktural pada seluruh variasi pembebanan. Temuan ini menegaskan evaluasi material tidak dapat didasarkan pada satu parameter saja, melainkan memerlukan analisis terpadu terhadap respons tegangan, deformasi, regangan, dan faktor keamanan. Dengan pendekatan tersebut, menunjukkan bahwa *AISI 4340* memberikan kombinasi kekuatan dan kekakuan yang paling optimal untuk aplikasi pegas pada *jig fixture*, sehingga memperkuat kontribusi penelitian dalam pemilihan material berbasis *Finite Element Analysis (FEA)* untuk sistem penjepitan dengan pembebanan bertingkat.



Gambar 8. Grafik *Displacement* (mm)

Gambar 8, menunjukkan hubungan antara pembebanan dan *displacement* pegas *jig fixture* pada material *Alloy Steel*, *AISI 4340*, dan *Copper*. Peningkatan pembebanan dari 400 hingga 1200 N menyebabkan kenaikan deformasi pada

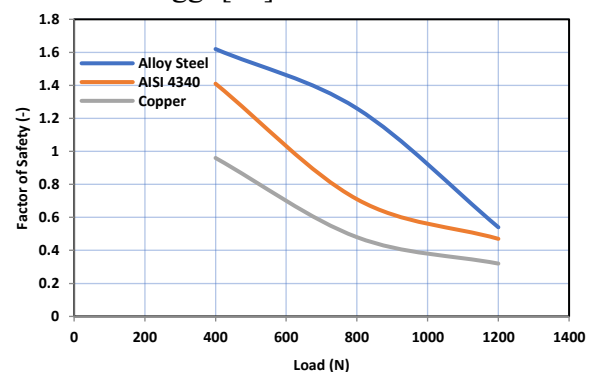
seluruh material, yang mencerminkan respons elastis struktur terhadap gaya tekan. *Copper* menghasilkan *displacement* terbesar pada setiap tingkat pembebanan, mencapai 0,244 mm pada beban 1200 N, akibat modulus elastisitas yang lebih rendah sehingga memiliki kekakuan struktural yang terbatas [25]. Sebaliknya, *Alloy Steel* menunjukkan deformasi terkecil sebesar 0,120 mm, sedangkan *AISI 4340* memiliki nilai yang sangat mendekati, yaitu 0,127 mm, dengan pola deformasi yang lebih stabil pada seluruh variasi beban. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa karakteristik elastis material memberikan pengaruh langsung terhadap kemampuan pegas dalam mempertahankan kestabilan geometri selama proses penjepitan. Hasil ini memperkuat hasil simulasi melalui evaluasi komparatif berbasis *Finite Element Analysis (FEA)*, yang menunjukkan bahwa pemilihan material pegas tidak hanya dipengaruhi oleh tingkat deformasi, tetapi juga oleh keseimbangan antara kekakuan, distribusi tegangan, dan faktor keamanan sebagai dasar optimasi desain *jig fixture* [26].



Gambar 9. Grafik Strain

Gambar 9, menunjukkan hubungan antara pembebanan dan *equivalent strain* pada pegas *jig fixture* untuk material *Alloy Steel*, *AISI 4340*, dan *Copper*. Peningkatan pembebanan dari 400 N hingga 1200 N diikuti oleh kenaikan nilai regangan pada seluruh material, yang menunjukkan bahwa deformasi masih berada dalam rentang elastis *Static Linear Analysis* [27]. Material *Copper* menghasilkan *equivalent strain* tertinggi, yaitu 0,00412 pada beban 1200 N,

yang mengindikasikan kemampuan menahan deformasi elastis lebih rendah akibat modulus elastisitas yang kecil. Sebaliknya, *Alloy Steel* dan *AISI 4340* menunjukkan nilai regangan yang lebih rendah dan meningkat secara proporsional terhadap pembebanan, masing-masing mencapai 0,00207 dan 0,00216 pada beban maksimum [28]. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa sifat mekanik material berpengaruh langsung terhadap kemampuan pegas dalam membatasi deformasi selama proses penjepitan. Hasil ini memperkuat kontribusi penelitian melalui analisis komparatif berbasis *Finite Element Analysis (FEA)*, yang menunjukkan bahwa *AISI 4340* memberikan respons regangan yang lebih terkendali dengan keseimbangan yang baik terhadap distribusi tegangan, deformasi, dan *factor of safety (Fos)*, sehingga lebih sesuai untuk aplikasi pegas pada sistem *jig fixture* yang memerlukan kekakuan dan keandalan struktural tinggi [29].



Gambar 10. Grafik Factor of Safety (FoS)

Gambar 10, menunjukkan hubungan antara pembebanan dan *factor of safety (FoS)* pada pegas *jig fixture* untuk material *Alloy Steel*, *AISI 4340*, dan *Copper*. Peningkatan pembebanan dari 400 N hingga 1200 N menyebabkan penurunan nilai *FoS* pada seluruh material, yang menunjukkan bahwa cadangan kekuatan struktur berkurang seiring meningkatnya tegangan kerja.[30] *Alloy Steel* mempertahankan nilai *FoS* tertinggi pada setiap tingkat pembebanan, yaitu sekitar 1,62 pada 400 N dan 0,54 pada 1200 N, diikuti oleh *AISI 4340* dengan nilai 1,41 dan 0,47, sedangkan *Copper* menunjukkan nilai terendah, yaitu

0,96 dan 0,32. Nilai *FoS* yang lebih rendah pada *Copper* mengindikasikan bahwa material tersebut lebih cepat mendekati batas kekuatannya ketika menerima beban yang semakin besar. Sebaliknya, *Alloy Steel* dan *AISI 4340* masih mampu mempertahankan kapasitas struktur yang lebih baik sehingga memiliki tingkat keandalan yang lebih tinggi [27]. Hasil ini memperkuat kebaruan penelitian melalui evaluasi komparatif berbasis *Finite Element Analysis (FEA)*, yang menunjukkan bahwa penentuan material pegas harus mempertimbangkan keterkaitan antara tegangan *Von Mises*, *displacement*, *equivalent strain*, dan *factor of safety (Fos)* secara terpadu. Pendekatan tersebut memberikan dasar yang lebih komprehensif dalam memilih material pegas untuk *jig fixture* dengan tuntutan kekakuan dan keamanan struktural yang tinggi [31].

Kesimpulan

Berdasarkan hasil *Finite Element Analysis (FEA)*, variasi material memberikan pengaruh terhadap respons mekanik pegas pada sistem *jig fixture* pada pembebanan 400, 800, dan 1200 N. Peningkatan pembebanan diikuti oleh kenaikan tegangan *Von Mises*, *displacement*, dan *strain*, serta penurunan *factor of safety (FoS)* pada seluruh material. Pada pembebanan maksimum, *Alloy Steel* menghasilkan tegangan sebesar 753,4 N/mm², *displacement* 0,120 mm, *strain* 0,00207, dan *FoS* 0,54. *AISI 4340* menunjukkan tegangan 742,2 N/mm², *displacement* 0,127 mm, *strain* 0,00216, dan *FoS* 0,47, sedangkan *Copper* menghasilkan *displacement* dan *equivalent strain* tertinggi, 0,244 mm dan 0,00412, dengan *FoS* terendah sebesar 0,32. Hasil penelitian menunjukkan *Alloy Steel* memiliki tingkat keamanan struktur yang lebih tinggi berdasarkan nilai *FoS* dan deformasi yang lebih rendah, sedangkan *AISI 4340* memberikan distribusi tegangan yang seragam selama pembebanan. Temuan ini menunjukkan pemilihan material pegas tidak dapat ditentukan oleh satu parameter,

tetapi mempertimbangkan tegangan *Von Mises*, *displacement*, *strain*, dan *factor of safety (FoS)* secara terpadu sesuai kebutuhan desain *jig fixture*.

Referensi

- [1] G. V. Gheorghe, C. Persu, I. Gageanu, and D. Cujbescu, "Structural and modal analysis in solidworks of basic structure of equipment to prepare germinative bed in strips," in *Engineering for Rural Development*, Latvia University of Agriculture, 2018, pp. 818–826. doi: 10.22616/ERDev2018.17.N064.
- [2] S. Pattar, "STATIC ANALYSIS OF HELICAL COMPRESSION SPRING." [Online]. Available: <http://www.ijret.org>
- [3] Y. Wang, X. Chen, Q. Liu, and N. Gindy, "Optimisation of machining fixture layout under multi-constraints," *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, vol. 46, no. 12–13, pp. 1291–1300, Oct. 2006, doi: 10.1016/j.ijmachtools.2005.10.014.
- [4] A. R. Udhaya, B. Rajeswari, and T. Mugilan, "Static structural investigation of helical compression spring utilizing different materials for an automobile suspension system," *Mater. Today Proc.*, vol. 80, pp. 653–658, 2023, doi: 10.1016/j.matpr.2022.11.064.
- [5] G. V. Gheorghe, C. Persu, I. Gageanu, and D. Cujbescu, "Structural and modal analysis in solidworks of basic structure of equipment to prepare germinative bed in strips," in *Engineering for Rural Development*, Latvia University of Agriculture, 2018, pp. 818–826. doi: 10.22616/ERDev2018.17.N064.
- [6] S. Babu, A. P. J. Abdul, S. Chandra, and C. Supervisor, "Applications of Finite Element Method with Its Usage in Modern Technology." [Online]. Available: <https://www.ijert.org/>
- [7] S. Y. Sirin, K. Sirin, and E. Kaluc, "Influence of initial conditions on the

- mechanical behavior of ion nitrided AISI 4340 steel,” *Materials Science and Engineering: A*, vol. 564, pp. 232–241, Mar. 2013, doi: 10.1016/j.msea.2012.11.029.
- [8] F. Avero Azhar et al., “STATIC LOADING ANALYSIS ON THREE-WHEELED ELECTRIC VEHICLE FRAME USING SOLIDWORKS,” vol. 16, no. 2, 2023.
- [9] S. Babu, A. P. J. Abdul, S. Chandra, and C. Supervisor, “Applications of Finite Element Method with Its Usage in Modern Technology.” [Online]. Available: <https://www.ijert.org/>
- [10] S. Merheb et al., “A review on recent finite element modeling advancements for studying hydrogen embrittlement in steel,” *Eng. Fract. Mech.*, vol. 324, p. 111233, Jul. 2025, doi: 10.1016/j.engfracmech.2025.111233.
- [11] L. Nirmalkar, “Modelling And Analysis the Structures by Finite Element Methods,” *INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC RESEARCH IN ENGINEERING AND MANAGEMENT*, vol. 09, no. 04, pp. 1–9, Apr. 2025, doi: 10.55041/IJSREM45365.
- [12] G. Canale, V. Esperto, and F. Rubino, “A Finite Element Analysis Framework for Assessing the Structural Integrity of Aero-Engine Ceramic Matrix Composite Component Coatings,” *Metals (Basel)*, vol. 15, no. 3, p. 328, Mar. 2025, doi: 10.3390/met15030328.
- [13] Y. Liu, “Recent Advances in the Design, Modeling, and Control of Flexure-Based Nanopositioning Stages,” *Micromachines (Basel)*, vol. 16, no. 12, p. 1312, Nov. 2025, doi: 10.3390/mi16121312.
- [14] K. Krishnakumar and S. N. Melkote, “Machining fixture layout optimization using the genetic algorithm,” *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, vol. 40, no. 4, pp. 579–598, Mar. 2020, doi: 10.1016/S0890-6955(99)00072-3.
- [15] S. R. Begum, T. Sita, R. Babu, and M. Jagadeeswararao, “International Journal of Current Engineering and Technology Finite Element Analysis and Optimization of Machine Fixture,” 2015. [Online]. Available: <http://inpressco.com/category/ijcet>
- [16] A. S. Al Amli, N. Al-Ansari, and J. Laue, “Study Numerical Simulation of Stress-Strain Behavior of Reinforced Concrete Bar in Soil using Theoretical Models,” *Civil Engineering Journal*, vol. 5, no. 11, pp. 2349–2358, Nov. 2019, doi: 10.28991/cej-2019-03091416.
- [17] W.-S. Lee and T.-T. Su, “Mechanical properties and microstructural features of AISI 4340 high-strength alloy steel under quenched and tempered conditions,” *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 87, no. 1–3, pp. 198–206, Mar. 1999, doi: 10.1016/S0924-0136(98)00351-3.
- [18] J. Feng et al., “Optimization Method of Floating Fixture Layout for Distortion Control of Low-Stiffness Thin-Walled Beams,” *Materials*, vol. 17, no. 17, p. 4226, Aug. 2024, doi: 10.3390/ma17174226.
- [19] L. Sha and A. Zhang, “Static Load Test and Finite Element Analysis of Phosphogypsum Concrete Composite Slabs,” *Buildings*, vol. 15, no. 7, p. 1122, Mar. 2025, doi: 10.3390/buildings15071122.
- [20] O. Zamzam, A. A. Ramzy, M. Abdelaziz, T. Elnady, and A. A. A. El-Wahab, “Structural performance evaluation of electric vehicle chassis under static and dynamic loads,” *Sci. Rep.*, vol. 15, no. 1, p. 5168, Feb. 2025, doi: 10.1038/s41598-025-86924-w.
- [21] A. Ramos and J. A. Simões, “Tetrahedral versus hexahedral finite elements in numerical modelling of the proximal femur,” *Med. Eng. Phys.*, vol. 28, no. 9, pp. 916–924, Nov.

- 2006, doi: 10.1016/j.medengphy.2005.12.006.
- [22] J. Xie, D. Sun, C. Xu, and J. Wu, "The Influence of Finite Element Meshing Accuracy on a Welding Machine for Offshore Platform'S Modal Analysis," *Polish Maritime Research*, vol. 25, no. s3, pp. 147–153, Dec. 2018, doi: 10.2478/pomr-2018-0124.
- [23] R. V Patil, P. R. Reddy, and P. Laxminarayana, "Buckling Analysis Of Straight Helical Compression Springs Made Of ASTM A229 Gr-II, ASTM A 313 Materials (Type 304 & 316)." [Online]. Available: www.ijert.org
- [24] A. R. Udhaya, B. Rajeswari, and T. Mugilan, "Static structural investigation of helical compression spring utilizing different materials for an automobile suspension system," *Mater. Today Proc.*, vol. 80, pp. 653–658, 2023, doi: 10.1016/j.matpr.2022.11.064.
- [25] F. Fiedler et al., "Jigs and fixtures in production: A systematic literature review," Feb. 01, 2024, Elsevier B.V. doi: 10.1016/j.jmsy.2023.10.006.
- [26] F. Fardana and F. Rhohman, "Analisa Simulasi Kekuatan Rangka pada Mesin Brush Sander menggunakan Aplikasi Solidwork," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 24, no. 1, pp. 1–5, Mar. 2024, doi: 10.36706/jrm.v24i1.450.
- [27] H. S. Hanandita, Ubaidillah, A. R. Prabowo, B. W. Lenggana, A. Turnip, and E. Joelianto, "Static Structural Analysis of Checking Fixture Frame of Car Interior Using Finite Element Method," *Automotive Experiences*, vol. 6, no. 3, pp. 652–668, Nov. 2023, doi: 10.31603/ae.9860.
- [28] A. Balakrishna and P. K. Mishra, "Modelling and analysis of static and modal responses of leaf spring used in automobiles," *International Journal of Hydromechatronics*, vol. 4, no. 4, p. 350, 2021, doi: 10.1504/IJHM.2021.120616.
- [29] P. Setyo et al., "Analisis Kegagalan Pegas Ulir Tekan Pada Komponen Return Spring Mesin Six-Spindle Automatic Lathe," 2025. [Online]. Available: <http://prosiding.pnj.ac.id>
- [30] M. I. Rusydi and B. Prabowo, "ANALISIS FACTOR OF SAFETY HOUSING BEARING DENGAN PENDEKATAN FINITE ELEMENT METHOD," vol. 5, no. 1, 2025.
- [31] R. Ghosh, S. Ghosh, S. Ghimire, and R. Nath Barman, "Article ID: IJMET_07_05_025 Cite this Article: Rohit Ghosh, Sushovan Ghosh, Shirish Ghimire and Dr. Rabindra Nath Barman, Static Analysis of Multi-Leaf Spring Using Ansys Workbench 16.0," *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, vol. 7, no. 5, pp. 241–249, [Online]. Available: <http://www.iaeme.com/IJMET/index.asp241http://www.iaeme.com/ijmet/issues.asp?JType=IJMET&VType=7&IType=5JournalImpactFactor>