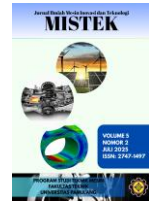




JURNAL TEKNIK MESIN MISTEK MESIN INOVASI DAN TEKNOLOGI



SIMULASI PENGARUH KEKUATAN MATERIAL PENYANGGA BAWAH DAN ATAS PADA UJI *BENDING* DENGAN KEKUATAN MAKSIMAL 10 KN

Aep Samsuri¹, Nur Rohmat², Ansor Salim Siregar³

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

E-mail: aepsamsuri22@gmail.com¹, dosen00597@unpam.ac.id², dosen10016@unpam.ac.id³

Masuk : 06 Januari 2025

Direvisi : 03 Februari 2025

Disetujui : 24 Februari 2025

Abstrak: Uji *bending* merupakan salah satu metode pengujian mekanik yang digunakan untuk mengevaluasi kekuatan material akibat pembebanan lentur. Penyangga atas dan bawah pada alat uji *bending* berperan sebagai komponen penopang utama yang berpotensi mengalami deformasi dan tegangan selama pengujian. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan penyangga atas dan bawah menggunakan material ASTM A36, AISI 4340, dan S45C dengan pembebanan sebesar 10.000 N. Analisis dilakukan melalui simulasi numerik menggunakan perangkat lunak *SolidWorks* 2014 dengan parameter yang diamati meliputi tegangan (*stress*), perpindahan (*displacement*), regangan (*strain*), dan *factor of safety*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa material S45C menghasilkan nilai tegangan dan perpindahan yang lebih rendah dibandingkan dengan ASTM A36 dan AISI 4340, baik pada penyangga atas maupun penyangga bawah. Sementara itu, material AISI 4340 menunjukkan nilai regangan dan *factor of safety* yang paling tinggi. Meskipun demikian, nilai *factor of safety* pada seluruh material masih berada di bawah nilai standar keamanan struktural ($FOS \geq 1$). Berdasarkan hasil tersebut, material S45C menunjukkan performa mekanik yang relatif lebih baik dari sisi tegangan dan deformasi, namun diperlukan optimasi desain atau pengurangan beban agar alat uji *bending* dapat memenuhi kriteria keselamatan.

Kata Kunci: ASTM A36, AISI 4340, S45C, *SolidWorks*, Penyangga Atas dan Bawah.

Abstract: The bending test is a mechanical testing method used to evaluate material strength under bending loads. The upper and lower supports in a bending testing machine function as the main load-bearing components and are susceptible to deformation and stress during operation. This study aims to analyze the strength of the upper and lower supports using ASTM A36, AISI 4340, and S45C materials under a load of 10,000 N. The analysis was conducted through numerical simulation using *SolidWorks* 2014, with observed parameters including stress, displacement, strain, and factor of safety. The simulation results indicate that S45C exhibits lower stress and displacement values than ASTM A36 and AISI 4340 for both the upper and lower supports. Meanwhile, AISI 4340 shows the highest strain and factor of safety values. However, the factor of safety for all materials remains below the standard structural safety requirement ($FOS \geq 1$). Based on these results, S45C demonstrates relatively better mechanical performance in terms of stress and deformation; nevertheless, design optimization or load reduction is required to ensure that the bending testing machine meets safety criteria.

Keywords: ASTM A36, AISI 4340, S45C, *SolidWorks*, Upper and Lower Supports.

PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan teknologi saat ini, penggunaan material berbasis logam, khususnya logam ferro, semakin dominan dalam bidang teknik mesin. Hal ini disebabkan oleh peranan logam ferro yang sangat penting dalam mendukung berbagai aplikasi teknik [1]. Logam merupakan material yang memiliki sifat konduktivitas listrik dan panas yang baik, ketahanan terhadap temperatur tinggi, titik didih yang tinggi, bersifat keras, tidak tembus cahaya, serta memiliki kemampuan untuk mengalami deformasi plastis [2], [3].

Tegangan lentur (*bending stress*) merupakan tegangan yang timbul akibat adanya pembebanan lentur pada suatu benda kerja. Uji *bending* merupakan salah satu metode pengujian mekanik yang digunakan untuk mengevaluasi mutu material secara visual. Selain itu, uji *bending* juga berfungsi untuk mengukur kekuatan material terhadap pembebanan serta tingkat kekenyalan spesimen [4].

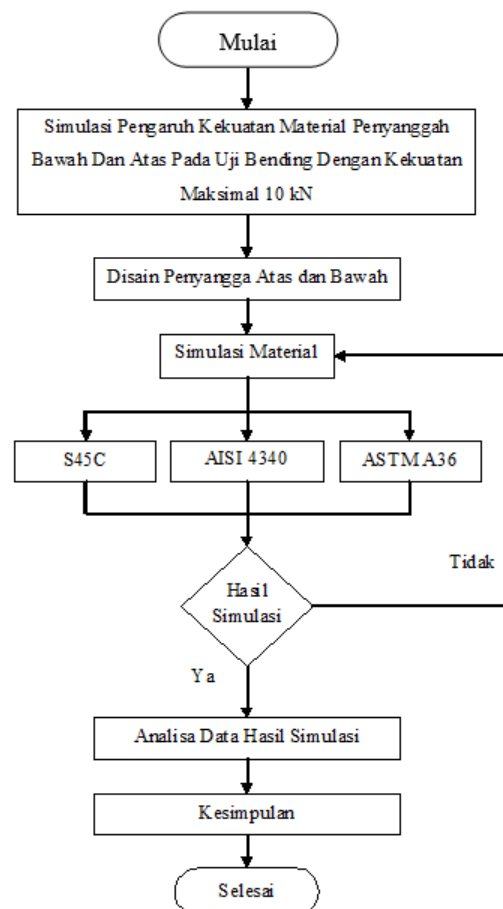
Nilai tegangan yang timbul akibat pembebanan dapat digunakan untuk mengevaluasi batas kekuatan material terhadap deformasi. Pada kondisi pembebanan rendah, tegangan yang terjadi masih berada di bawah batas kekuatan luluh material sehingga spesimen bekerja dalam daerah elastis. Namun, pada pembebanan yang lebih besar, tegangan maksimum dapat mendekati nilai kekuatan luluh material, yang menunjukkan bahwa struktur berada pada batas aman dan berpotensi mengalami deformasi plastis apabila pembebanan terus ditingkatkan [5].

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk membandingkan karakteristik material AISI 4340, ASTM A36, dan S45C pada penyangga atas dan bawah alat uji *bending* dengan ketebalan 10,2 mm dan beban maksimal sebesar 10 kN. Material ASTM A36 dipilih karena memiliki nilai *yield strength* sebesar 250 MPa, material AISI 4340 memiliki nilai *yield strength* sebesar 470 MPa, sedangkan material S45C memiliki nilai *yield strength* sebesar 343 MPa. Perbedaan nilai kekuatan luluh yang cukup signifikan pada ketiga material tersebut menjadi dasar dalam melakukan perbandingan kinerja struktural.

Perbandingan ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh karakteristik masing-masing material terhadap kekuatan penyangga atas dan bawah pada alat uji *bending* ketika diberikan beban maksimal 10 kN. Berdasarkan beberapa referensi mengenai mesin uji *bending*, tekanan rata-rata yang digunakan umumnya berada di bawah 10 kN. Oleh karena itu, penggunaan beban sebesar 10 kN dalam simulasi ini dimaksudkan untuk menguji kekuatan alat secara lebih maksimal, yaitu dengan memberikan pembebanan di atas nilai rata-rata. Penelitian ini dilakukan melalui simulasi numerik menggunakan perangkat lunak *SolidWorks*.

METODOLOGI

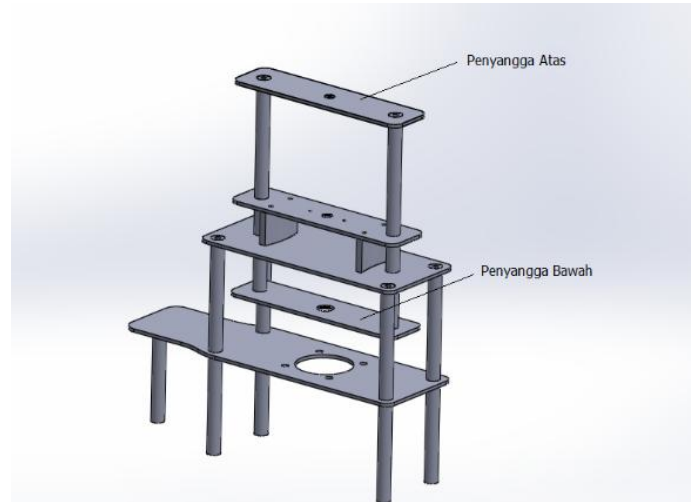
Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data primer, yaitu data yang diperoleh secara langsung oleh peneliti dari objek yang diteliti [6]. Data primer tersebut diperoleh dari hasil simulasi alat uji *bending* yang dilakukan menggunakan perangkat lunak *SolidWorks*. Tahapan penelitian disusun secara sistematis dan divisualisasikan dalam bentuk diagram alir untuk mempermudah pemahaman alur penelitian, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Desain Penyangga Atas dan Bawah Alat Uji *Bending*

Penyangga atas dan bawah pada alat uji *bending* dirancang menggunakan tiga jenis material, yaitu baja ASTM A36, baja AISI 4340, dan baja S45C. Masing-masing penyangga memiliki dimensi yang sama, yaitu panjang 600 mm, lebar 150 mm, dan ketebalan 10,2 mm. Desain penyangga atas dan bawah ini digunakan sebagai dasar dalam proses simulasi untuk menganalisis pengaruh perbedaan karakteristik material terhadap kinerja struktural alat uji *bending*.



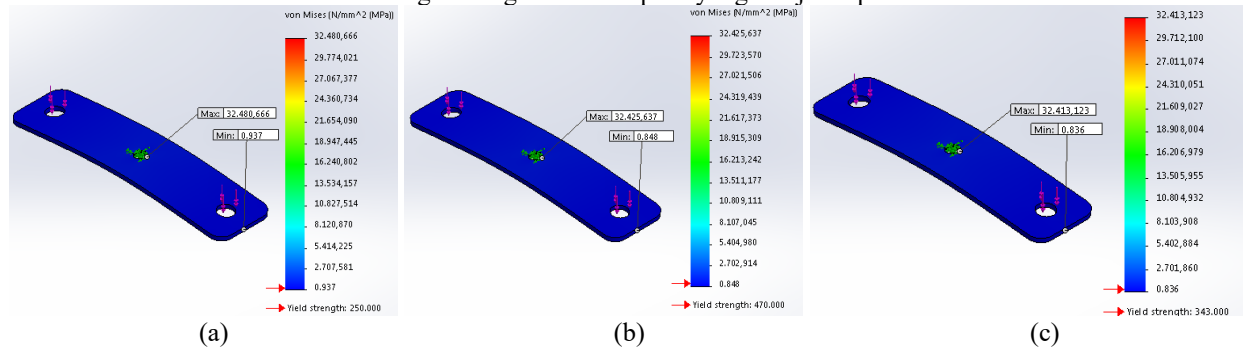
Gambar 2. Desain Penyangga Atas dan Bawah Alat Uji *Bending*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi dilakukan dengan memberikan beban sebesar 10.000 N pada penyangga atas dan penyangga bawah alat uji *bending* menggunakan material ASTM A36, AISI 4340, dan S45C. Parameter yang dianalisis meliputi tegangan (*stress*), perpindahan (*displacement*), regangan (*strain*), dan *factor of safety*.

Hasil Simulasi Tegangan (*Stress*) Penyangga Atas

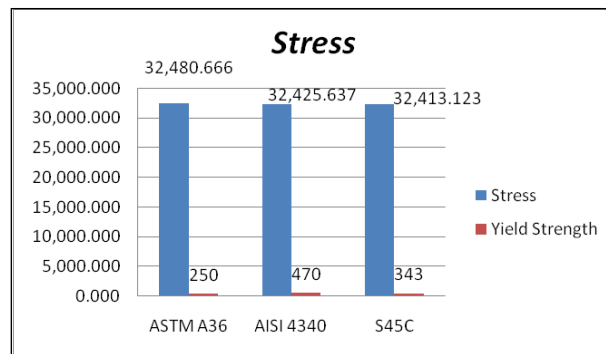
Hasil simulasi tegangan pada penyangga atas yang ditunjukkan pada Gambar 3, diperoleh nilai tegangan minimum dan maksimum untuk masing-masing material seperti yang disajikan pada Tabel 1 dan Gambar 4.



Gambar 3. Hasil Simulasi *Stress* Penyangga Atas dengan Material (a) ASTM A36 (b) AISI 4340 dan (c) S45C

Tabel 1. Hasil Simulasi *Stress* Penyangga Atas

Material	<i>Stress</i> (MPa)		<i>Yield Strength</i> (MPa)
	<i>Min</i>	<i>Max</i>	
ASTM A36	0,937	32.480,666	250
AISI 4340	0,848	32.425,637	470
S45C	0,836	32.413,123	343

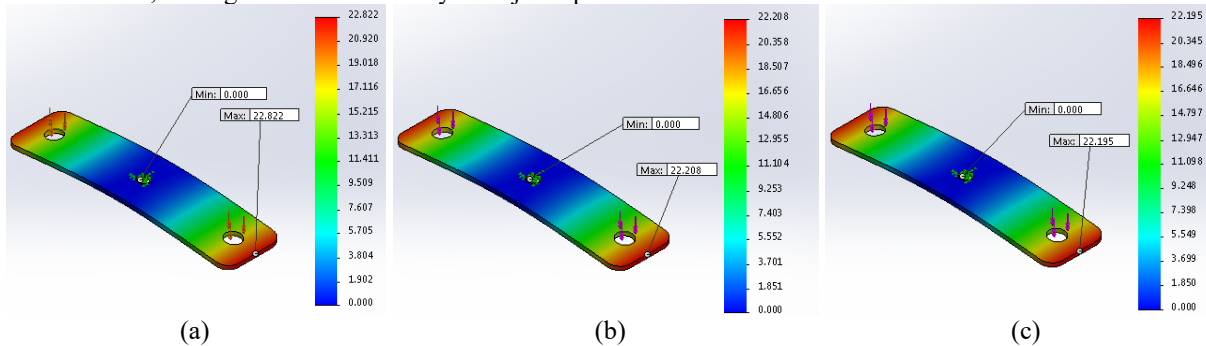


Gambar 4. Grafik Hasil Simulasi *Stress* Penyangga Atas

Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai tegangan maksimum yang terjadi pada masing-masing material berada di atas nilai *yield strength*. Hal ini disebabkan oleh besarnya beban yang diberikan, yaitu 10.000 N. Material S45C menghasilkan nilai tegangan paling rendah dibandingkan dengan ASTM A36 dan AISI 4340. Perbedaan nilai tegangan yang terjadi pada ketiga material dipengaruhi oleh karakteristik material, seperti nilai *yield strength*, *tensile strength*, kekerasan (*hardness*), modulus elastisitas (*Young's modulus*), dan densitas.

Hasil Simulasi Perpindahan (*Displacement*) Penyangga Atas

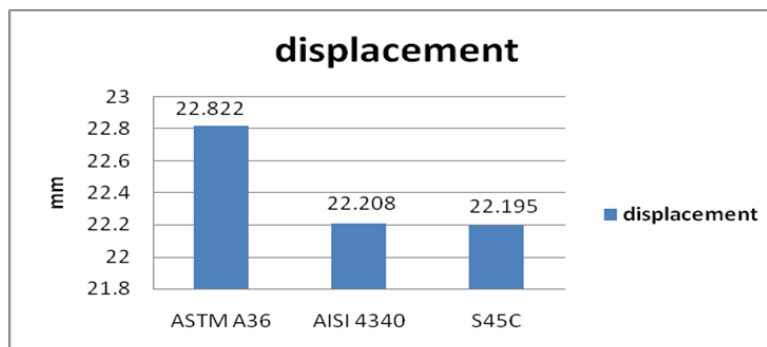
Hasil simulasi perpindahan penyangga atas untuk material ASTM A36, AISI 4340, dan S45C ditunjukkan pada Gambar 5, sedangkan nilai numeriknya disajikan pada Tabel 2 dan Gambar 6.



Gambar 5. Hasil Simulasi *Displacement* Penyangga Atas dengan Material (a) ASTM A36 (b) AISI 4340 dan (c) S45C

Tabel 2. Hasil Simulasi *Displacement* Penyangga Atas

Material	<i>Stress</i> (MPa)	
	<i>Min</i>	<i>Max</i>
ASTM A36	0,000	22,822
AISI 4340	0,000	22,208
S45C	0,000	22,195

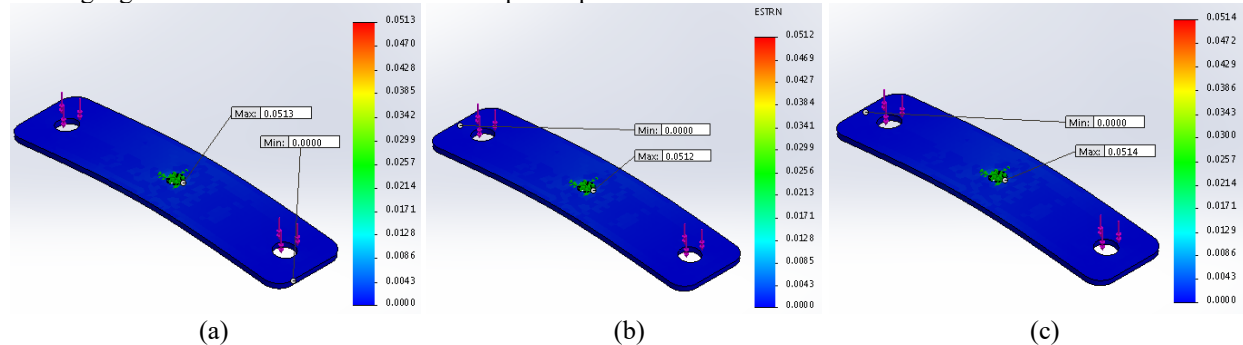


Gambar 6. Grafik Hasil Simulasi *Displacement* Penyangga Atas

Berdasarkan grafik hasil simulasi, material S45C menunjukkan nilai perpindahan paling kecil dibandingkan dengan material ASTM A36 dan AISI 4340. Meskipun demikian, selisih nilai perpindahan antar ketiga material relatif kecil. Perbedaan nilai perpindahan ini dipengaruhi oleh sifat mekanik masing-masing material, seperti *yield strength*, *tensile strength*, kekerasan, modulus elastisitas, dan densitas.

Hasil Simulasi Regangan (*Strain*) Penyangga Atas

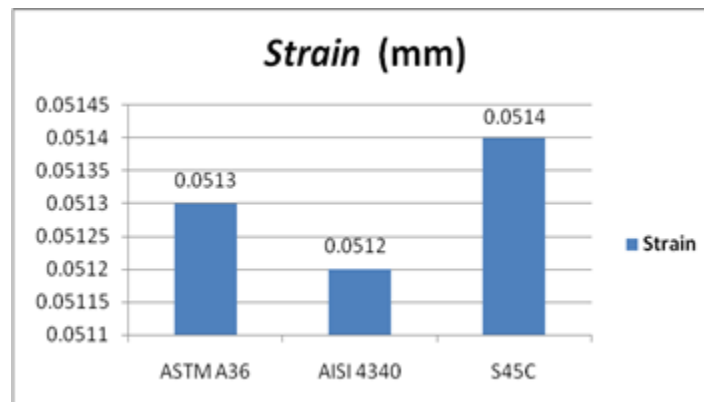
Distribusi regangan pada penyangga atas untuk masing-masing material ditunjukkan pada Gambar 7, dengan nilai regangan minimum dan maksimum ditampilkan pada Tabel 3 dan Gambar 8.



Gambar 7. Hasil Simulasi *Strain* Penyangga Atas dengan Material (a) ASTM A36 (b) AISI 4340 dan (c) S45C

Tabel 3. Hasil Simulasi *Strain* Penyangga Atas

Material	<i>Stress</i> (MPa)	
	<i>Min</i>	<i>Max</i>
ASTM A36	0,000	0,0513
AISI 4340	0,000	0,0512
S45C	0,000	0,0514

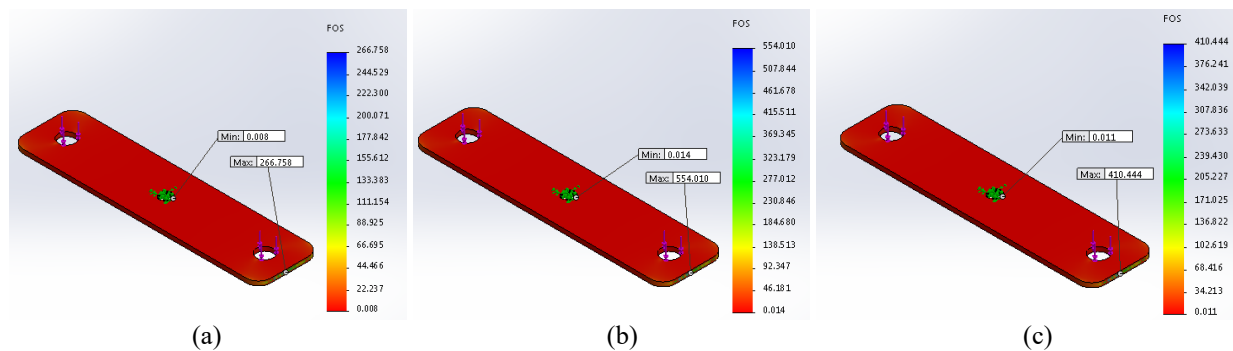


Gambar 8. Grafik Hasil Simulasi *Strain* Penyangga Atas

Hasil analisis menunjukkan bahwa material AISI 4340 memiliki nilai regangan paling kecil dibandingkan dengan ASTM A36 dan S45C. Hal ini disebabkan oleh nilai *yield strength* AISI 4340 yang lebih tinggi. Lokasi regangan maksimum pada penyangga atas teridentifikasi berada di bagian tengah penyangga, khususnya pada area ulir, sedangkan bagian lainnya menunjukkan kondisi yang relatif normal.

Hasil Simulasi *Factor of Safety* Penyangga Atas

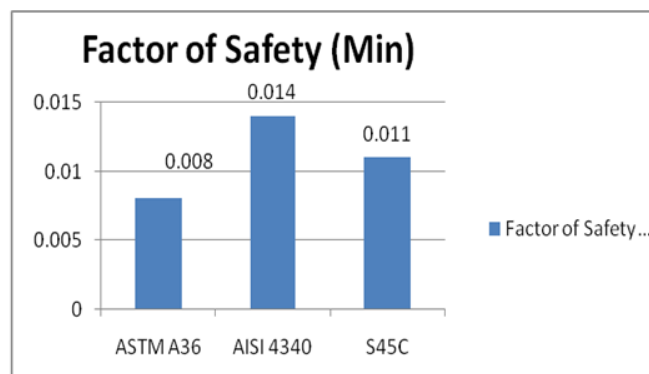
Hasil simulasi *factor of safety* (FOS) pada penyangga atas untuk ketiga material ditunjukkan pada Gambar 9, dengan nilai regangan minimum dan maksimum ditampilkan pada Tabel 4 dan Gambar 10.



Gambar 9. Hasil Simulasi *Factor of Safety* Penyangga Atas dengan Material (a) ASTM A36 (b) AISI 4340 dan (c) S45C

Tabel 4. Hasil Simulasi *Factor of Safety* Penyangga Atas

Material	<i>Stress (MPa)</i>	
	<i>Min</i>	<i>Max</i>
ASTM A36	0,008	266,758
AISI 4340	0,014	554,010
S45C	0,011	410,44

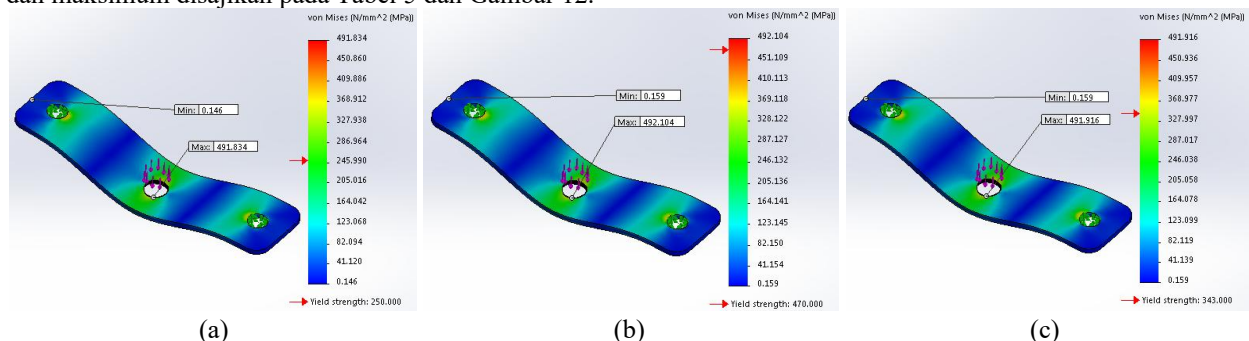


Gambar 10. Grafik Hasil Simulasi *Factor of Safety* Penyangga Atas

Berdasarkan hasil analisis, material AISI 4340 memiliki nilai FOS yang lebih besar dibandingkan dengan ASTM A36 dan S45C. Nilai FOS minimum yang diperoleh adalah 0,008 untuk ASTM A36, 0,014 untuk AISI 4340, dan 0,011 untuk S45C. Nilai FOS tersebut masih berada di bawah standar keamanan struktural, yaitu $FOS \geq 1$. Dengan demikian, penyangga atas pada ketiga material belum memenuhi standar *factor of safety*.

Hasil Simulasi Tegangan (*Stress*) Penyangga Bawah

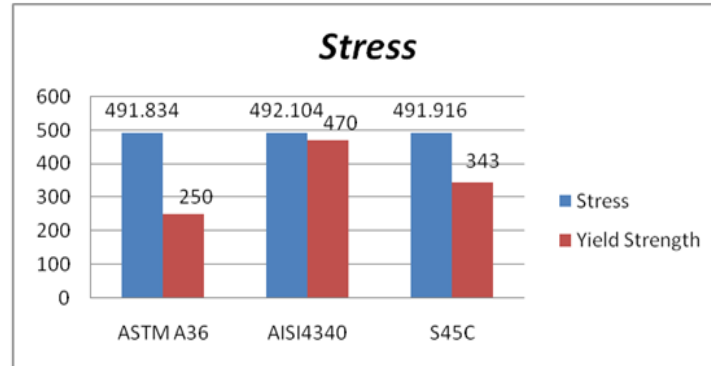
Distribusi tegangan pada penyangga bawah ditunjukkan pada Gambar 11, dengan nilai tegangan minimum dan maksimum disajikan pada Tabel 5 dan Gambar 12.



Gambar 11. Hasil Simulasi *Stress* Penyangga Bawah dengan Material (a) ASTM A36 (b) AISI 4340 dan (c) S45C

Tabel 5. Hasil Simulasi *Stress* Penyangga Bawah

Material	<i>Stress</i> (MPa)		<i>Yield Strength</i> (MPa)
	<i>Min</i>	<i>Max</i>	
ASTM A36	0,146	491,834	250
AISI 4340	0,159	492,104	470
S45C	0,159	491,916	343

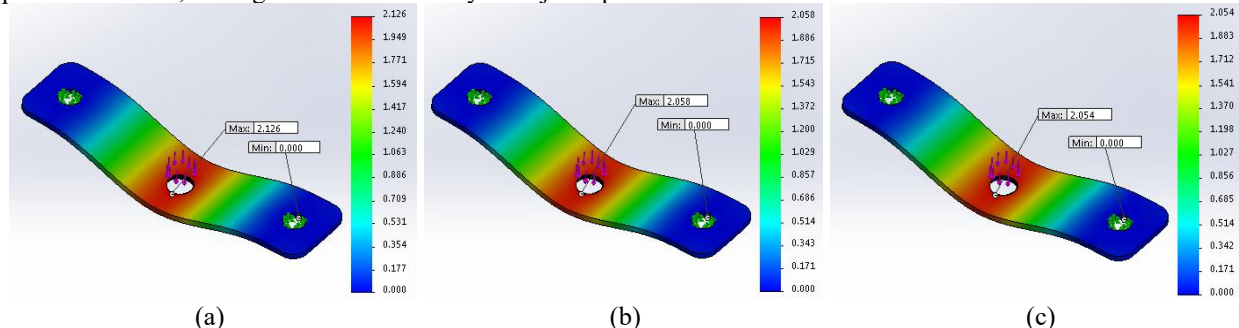


Gambar 12. Grafik Hasil Simulasi *Stress* Penyangga Bawah

Hasil simulasi menunjukkan bahwa tegangan maksimum yang terjadi pada ketiga material melebihi nilai *yield strength*-nya masing-masing. Kondisi ini berpotensi menyebabkan kegagalan atau patahnya penyangga bawah. Material ASTM A36 dan S45C memiliki nilai tegangan yang sedikit lebih rendah dibandingkan dengan AISI 4340, meskipun AISI 4340 memiliki nilai *yield strength* yang lebih tinggi. Perbedaan ini dipengaruhi oleh karakteristik mekanik material, seperti *yield strength*, *tensile strength*, kekerasan, modulus elastisitas, dan densitas.

Hasil Simulasi Perpindahan (*Displacement*) Penyangga Bawah

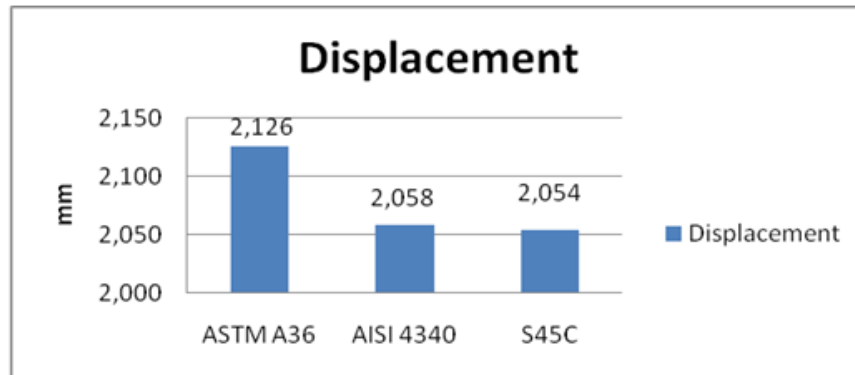
Hasil simulasi perpindahan penyangga bawah untuk material ASTM A36, AISI 4340, dan S45C ditunjukkan pada Gambar 13, sedangkan nilai numeriknya disajikan pada Tabel 6 dan Gambar 14.



Gambar 13. Hasil Simulasi *Displacement* Penyangga Bawah dengan Material (a) ASTM A36 (b) AISI 4340 dan (c) S45C

Tabel 6. Hasil Simulasi *Displacement* Penyangga Bawah

Material	<i>Stress</i> (MPa)	
	<i>Min</i>	<i>Max</i>
ASTM A36	0,000	2,126
AISI 4340	0,000	2,058
S45C	0,000	2,054

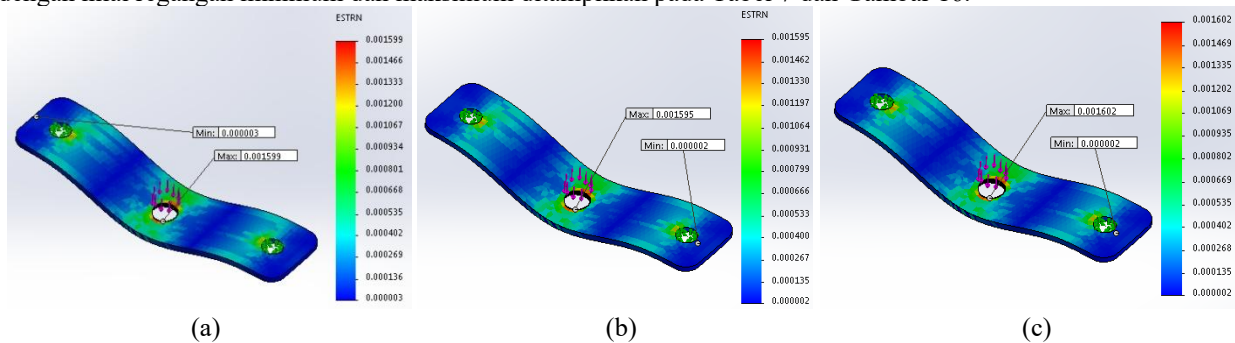


Gambar 14. Grafik Hasil Simulasi *Displacement* Penyangga Bawah

Material S45C menunjukkan nilai perpindahan paling kecil sebesar 2,054 mm dibandingkan dengan ASTM A36 dan AISI 4340. Perpindahan dominan terjadi pada bagian ujung kiri dan ujung kanan penyangga bawah. Perbedaan nilai perpindahan antar material disebabkan oleh perbedaan sifat mekanik masing-masing material.

Hasil Simulasi Regangan (*Strain*) Penyangga Bawah

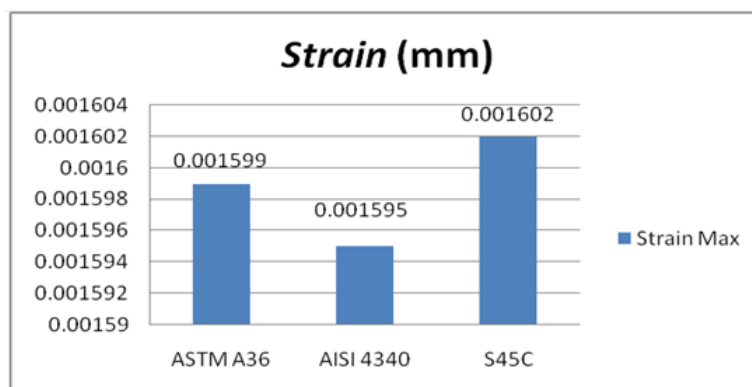
Distribusi regangan pada penyangga bawah untuk masing-masing material ditunjukkan pada Gambar 15, dengan nilai regangan minimum dan maksimum ditampilkan pada Tabel 7 dan Gambar 16.



Gambar 15. Hasil Simulasi *Strain* Penyangga Bawah dengan Material (a) ASTM A36 (b) AISI 4340 dan (c) S45C

Tabel 7. Hasil Simulasi *Strain* Penyangga Bawah

Material	<i>Stress</i> (MPa)	
	<i>Min</i>	<i>Max</i>
ASTM A36	0,000003	0,001599
AISI 4340	0,000002	0,001595
S45C	0,000002	0,001602

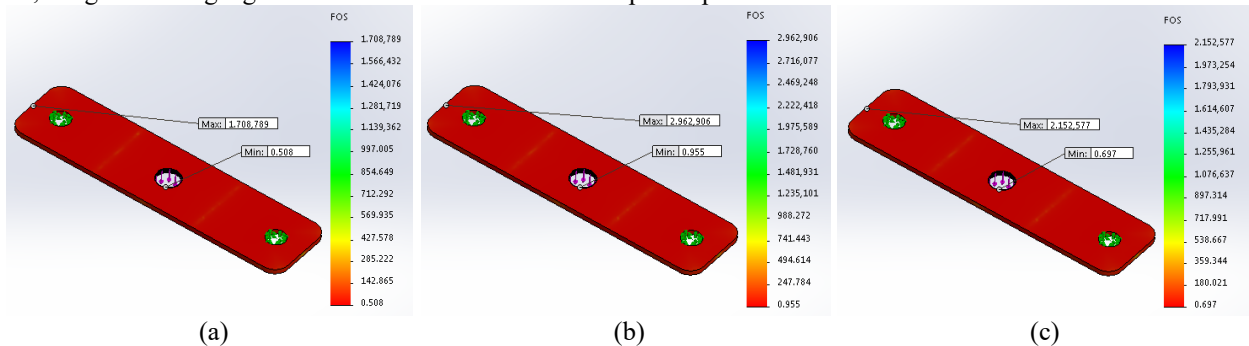


Gambar 16. Grafik Hasil Simulasi *Strain* Penyangga Bawah

Hasil analisis menunjukkan bahwa material AISI 4340 memiliki nilai regangan paling kecil dibandingkan dengan ASTM A36 dan S45C. Hal ini berkaitan dengan nilai *yield strength* AISI 4340 yang lebih tinggi, sehingga material tersebut mampu menahan deformasi elastis yang lebih kecil.

Hasil Simulasi *Factor of Safety* Penyangga Bawah

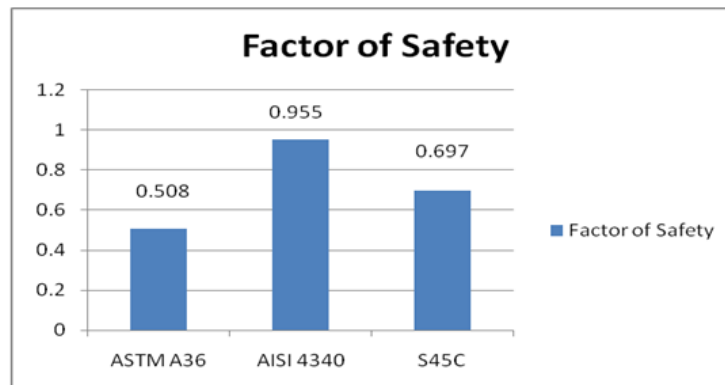
Hasil simulasi *factor of safety* (FOS) pada penyangga bawah untuk ketiga material ditunjukkan pada Gambar 17, dengan nilai regangan minimum dan maksimum ditampilkan pada Tabel 8 dan Gambar 18.



Gambar 17. Hasil Simulasi *Factor of Safety* Penyangga Bawah dengan Material (a) ASTM A36 (b) AISI 4340 dan (c) S45C

Tabel 8. Hasil Simulasi *Factor of Safety* Penyangga Bawah

Material	<i>Stress</i> (MPa)	
	<i>Min</i>	<i>Max</i>
ASTM A36	0,508	1.708,789
AISI 4340	0,955	2.962,906
S45C	0,697	2.152,577



Gambar 18. Grafik Hasil Simulasi *Factor of Safety* Penyangga Bawah

Material AISI 4340 menunjukkan nilai FOS yang paling tinggi dibandingkan dengan ASTM A36 dan S45C, dengan nilai FOS minimum mendekati 1. Meskipun demikian, nilai FOS ketiga material masih berada di bawah standar keamanan struktural, sehingga penyangga bawah belum memenuhi kriteria *factor of safety* yang disyaratkan.

KESIMPULAN DAN SARAN

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

1. Hasil analisis pada penyangga atas dan bawah menunjukkan bahwa nilai tegangan (*stress*) yang dihasilkan oleh material S45C lebih kecil dibandingkan dengan material ASTM A36 dan AISI 4340 pada pembebanan maksimal sebesar 10.000 N. Hal ini menunjukkan bahwa material S45C memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menahan tegangan pada kondisi pembebanan tersebut.
2. Berdasarkan hasil analisis perpindahan (*displacement*) pada penyangga atas dan bawah, material S45C menghasilkan nilai perpindahan yang lebih kecil dibandingkan dengan material ASTM A36 dan AISI 4340.

Perbedaan ini menunjukkan bahwa material S45C mengalami deformasi yang relatif lebih kecil pada kondisi pembebanan yang sama.

3. Hasil analisis regangan (*strain*) pada penyangga atas dan bawah menunjukkan bahwa material AISI 4340 memiliki nilai regangan yang lebih kecil dibandingkan dengan material ASTM A36 dan S45C. Hal ini mengindikasikan bahwa material AISI 4340 memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menahan deformasi elastis, khususnya pada penyangga atas, karena nilai regangan yang dihasilkan lebih rendah.
4. Berdasarkan analisis *factor of safety* pada penyangga atas dan bawah, material AISI 4340 memiliki nilai *factor of safety* tertinggi dibandingkan dengan material ASTM A36 dan S45C. Namun demikian, nilai *factor of safety* yang dihasilkan oleh material AISI 4340 masih berada di bawah nilai standar keamanan struktural, yaitu $FOS \geq 1$, sehingga belum memenuhi kriteria keamanan yang disyaratkan.

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan meningkatkan ketebalan penyangga atas dan bawah guna menurunkan nilai tegangan (*stress*) yang terjadi. Selain itu, penurunan beban kerja menjadi sekitar 1.000 N dapat dipertimbangkan agar nilai *factor of safety* berada di atas standar keamanan, yaitu $FOS \geq 1$.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. F. Folle *et al.*, "A Review on Sheet Metal Forming Behavior in High-Strength Steels and the Use of Numerical Simulations," *Metals*, vol. 14, no. 12, p. 1428, 2024. doi: <https://doi.org/10.3390/met14121428>.
- [2] K. F. Lunn and D. Apelian, "Thermal and Electrical Conductivity of Aluminum Alloys: Fundamentals, structure-property relationships, and pathways to enhance conductivity," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 924, p. 147766, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2024.147766>.
- [3] T. Molkens, K. A. Cashell, M. Malaska, M. Alanen, and B. Rossi, "Performance of structural stainless steel following a fire," *Eng. Struct.*, vol. 235, p. 112001, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112001>.
- [4] ASTM, "Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials," *ASTM D790*. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020.
- [5] G. A. Pamungkas, I. G. N. Priambadi, and A. A. I. A. S. Komaladewi, "Analisis Defleksi Pada Rangka Alat Pembuat Briket Sampah Organik," *J. Mettek J. Ilm. Nas. dalam Bid. Ilmu Tek. Mesin*, vol. 6, no. 2, pp. 121–128, 2021, doi: <https://doi.org/10.24843/METTEK.2020.v06.i02.p06>.
- [6] M. I. Hasan, *Pokok Pokok Materi Metodologi Penelitian dan Aplikasinya*. Jakarta: Ghalia Indonesia, 2002.