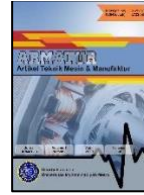


Contents list available at [Sinta](https://sinta)**A R M A T U R**

: Artikel Teknik Mesin &amp; Manufaktur

Journal homepage: <https://scholar.ummetro.ac.id/index.php/armatur>**Studi komparatif variasi ketebalan pelat baja ASTM A36 main steel sebagai penopang baterai****Hidayat, Rofiqah Sabila<sup>1</sup>, Muhaji<sup>2</sup>, Wahyudi, Dedy<sup>3</sup>, Coutsar, Ardan Nagra<sup>4</sup>, Prasetyawati, Dian<sup>5</sup>**

Prodi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Jl. Ketintang, Kec. Gayungan, Kota Surabaya, Jawa Timur 60231.

Prodi Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surabaya, Jl. Sutorejo No. 59, Mulyorejo, Kota Surabaya, Jawa Timur.

Email corresponding author: [rofiqah.23022@mhs.unesa.ac.id](mailto:rofiqah.23022@mhs.unesa.ac.id)**A R T I C L E  
I N F O**

*Keywords:*  
*design*  
*manufacture*  
*material*  
*mechanical engineering*  
*von mises stress*

**A B S T R A C T**

*This simulation aims to conduct a comparative study of variations in the thickness of ASTM A36 steel plates to determine the most optimal thickness for supporting the load of batteries, which are currently a critical energy source. The analysis focuses on the values of von Mises stress, displacement, and safety factor. Battery supports are the primary focus of this study, which will compare variations in optimal thickness for batteries that typically require thicknesses of up to 3 to 4 mm; in this simulation, a thinner and optimal solution will be sought. As technology advances and the demands of manufacturing digitalization grow, production processes are increasingly utilizing simulations in Computer-Aided Engineering (CAE) software, making conventional testing more efficient. Using SolidWorks software simulation, a static analysis was conducted to evaluate each variation. ASTM A36 steel plates measuring 1400 mm in length, 70.6 mm in width, and with thicknesses of 1 mm, 2 mm, and 3 mm were selected to accommodate the battery weight. Three battery blocks, each weighing 5 kg, were used in this simulation. ASTM A36 material was selected because it has a high yield strength of 250 MPa. In addition to the parameters mentioned above, dynamic loads with variations of 1.5G and 2G will also be calculated. The optimal strength of the battery*

\*Corresponding author: [rofiqah.23022@mhs.unesa.ac.id](mailto:rofiqah.23022@mhs.unesa.ac.id)

DOI: <https://doi.org/10.24127/armatur.v7i2.10995>

Received 14 January 2026; Received in revised form 12 April 2026; Accepted 21 April 2026

Available online 1 September 2026

---

*mount was determined through simulation in SolidWorks. The results of each thickness variation were then analyzed using a comparative study to determine the optimal thickness based on a comparison of von Mises stress, displacement, and safety factor. Ultimately, the optimal thickness was determined to be 3 mm, with von Mises stress reduced by 32.8% to 82 MPa. Displacement was reduced by 1.08% compared to the two previous variations, specifically 12 mm at the center of the plate. The optimal dynamic load stress occurs at a thickness of 3 mm.*

---

## **Pendahuluan**

Perkembangan teknologi penyimpanan energi saat ini telah menempatkan sistem baterai sebagai komponen krusial dalam berbagai sektor, mulai dari industri otomotif listrik, penyimpanan energi terbarukan, hingga perangkat elektronik skala besar. Seiring dengan meningkatnya kapasitas dan dimensi unit baterai, aspek keamanan struktural pada sistem penopang (*battery support system*) menjadi tantangan teknis yang signifikan. Komponen penopang tidak hanya dituntut untuk mampu menahan beban massa statis baterai dalam jangka waktu lama, tetapi juga harus memiliki ketahanan terhadap deformasi mekanis guna mencegah kerusakan sel baterai yang sangat sensitif terhadap tekanan eksternal. [1]. Keunggulan yang paling terasa pada baterai adalah tidak ada suara bising saat pengoperasian. Baterai umumnya memiliki beban yang besar, sehingga memerlukan penyangga yang kuat untuk menjaga kinerja komponen internal [2](Tanduk et al., 2019)

Kegagalan pada struktur penyangga baterai platform akan menyebabkan pergeseran baterai bahkan merusak komponen baterai, yang pada akhirnya akan mengganggu kinerja dan operasional padaperalatan ataupun semua system yang menggunakan baterai. Akibat fatal tersebut harus dihindari menggunakan simulasi di awal dengan teknologi perangkat lunak

berbasis Computer-Aided Engineering (CAE) [3]. Hal ini sangat linear, karena saat ini semua pekerjaan mendapat tantangan dari revolusi industri 4.0 salah satunya dalam proses manufaktur. Bagi orang Teknik Mesin, memahami dinamika industri ini bukan lagi sebuah pilihan, melainkan keharusan untuk memastikan relevansi keilmuan dengan kebutuhan pasar kerja yang semakin kompetitif [4].

Karena baterai merupakan sumber terpenting, maka dukungan dari baterai harus dari material yang paling efisien dan kuat menopang. ASTM A36 merupakan pilihan tepat, karena memiliki ketahanan luluh dan tarik yang memadai untuk menopang barang berat [5]. [6]. Sehingga tujuan dari studi ini mengambil variasi yang paling optimal dengan perbandingan simulasi melalui SolidWorks. Variasi ketebalan yang akan diuji, yaitu 1 mm, 2 mm, 3 mm dengan 3 mm sebagai baseline. Jumlah balok yang dipakai ada 3, dengan total bobot baterai 15 kg (5 kg per balok) dan menentukan beban dinamis ekuivalen dari tiap variasi dengan menambahkan 3 variasi faktor beban.

Simulasi ini ditujukan untuk memabandingkan hasil simulasi performa struktur penyangga baterai yang optimal. Perbandingan akan dilihat dari hasil Von Mises Stress, Displacement, dan Factor of Safety. Von mises stress adalah nilai skalar tegangan yang digunakan untuk memprediksi kegagalan material ulet (ductile) seperti baja atau aluminium. Teori ini menyatakan bahwa kegagalan terjadi

ketika energi distorsi per satuan volume mencapai batas tertentu [5].

Displacement merupakan perubahan posisi atau geometri suatu titik pada struktur akibat beban luar. Dalam simulasi Finite Element Analysis (FEA), ini adalah variabel utama yang dihitung pertama kali sebelum menentukan regangan (strain) dan tegangan (stress) [7]. Factor of Safety yang merupakan kunci keamanan konstruksi merupakan rasio antara kekuatan maksimum material dengan tegangan aktual yang terjadi. Nilai ini menunjukkan seberapa aman sebuah desain dalam menahan beban.

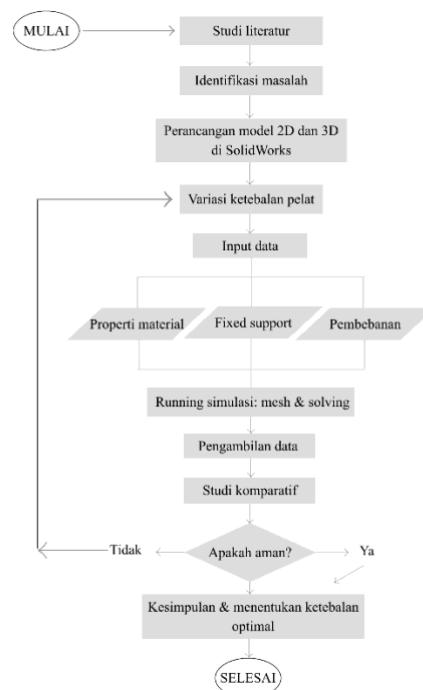
Analisis difokuskan pada kondisi beban statis untuk menentukan respon material terhadap beban gravitasi baterai secara konstan. Hasil dari simulasi ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi ketebalan yang optimal yang memenuhi kriteria safety factor dalam standar Teknik.

Meskipun penggunaan baja ASTM A36 telah banyak diimplementasikan dalam berbagai struktur konstruksi umum, aplikasi spesifiknya sebagai elemen penopang utama (*main steel*) pada sistem penyimpanan baterai masih memerlukan analisis teknis yang mendalam, terutama terkait optimasi antara kekuatan mekanis dan efisiensi massa. Kebaruan dari penelitian ini terletak pada studi komparatif variasi ketebalan pelat yang dirancang secara spesifik untuk memitigasi risiko kegagalan struktur akibat beban statis baterai. Pengembangan penelitian ini tidak hanya berfokus pada nilai kekakuan material, tetapi juga menentukan titik ambang ketebalan kritis (*critical thickness baseline*) yang mampu menghasilkan faktor keamanan (*safety factor*) optimal dengan bobot struktur yang paling minimal. Data yang dihasilkan diharapkan dapat menjadi referensi teknis dalam standarisasi manufaktur dudukan baterai yang aman dan efisien, yang sejauh ini masih memiliki reverensi terbatas pada penggunaan material baja karbon rendah.

## Metode Penelitian

Alur simulasi dimulai dari studi literatur mengenai baja ASTM A36, von mises stress, displacement, dan factor of safety. Simulasi ini dapat divalidasi dari jurnal milik Kakana Buranapunviwat dan Kittichai Soppjiphan yang berjudul *Destructive Testing and Hardness Measurement of Resistance Stud Welded Joints of ASTM A36 Steel*, dengan perbedaan ukuran pelat dan variasi sebagai novelty penelitian.

Prosedur penelitian dilakukan secara urut mulai dari pengumpulan data, perancangan model, hingga tahap perbandingan hasil simulasi. Prosedur kerja yang dilakukan secara urut bertujuan agar memastikan setiap langkah simulasi memiliki dasar yang kuat dan dapat dijadikan acuan.

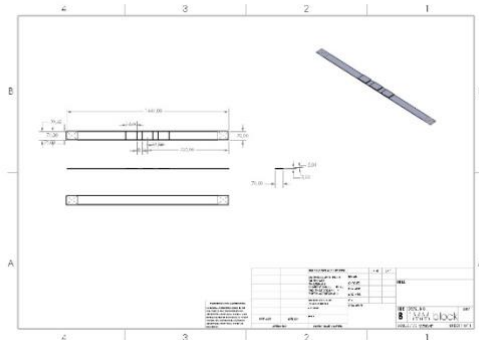


Gambar 1. Alur penelitian

Tahap awal merancang pelat dilakukan dengan merancang model 2D dan dilanjutkan ke model 3D yang sudah disesuaikan dengan data lapangan. Simulasi menggunakan perangkat lunak SolidWorks model penyangga sederhana, pelat baja ASTM A36 untuk menopang baterai, fokusnya ada pada kekuatan optimal [8].

Variabel yang dievaluasi pada simulasi ini adalah variasi 3 ketebalan, yaitu 1 mm, 2 mm, 3 mm. Perbedaan ketebalan ini diajukan untuk melihat kekuatan masing-masing variasi.

Setelah mengatur 2D kemudian mengubah ke bentuk 3D menggunakan fitur extrude boss. Berikut model 3D pelat dari semua sisi.



Gambar 2. Desain 3D pelat tampak semua sisi.

Material yang digunakan untuk pelat penyangga adalah baja karbon rendah ASTM A36 [9]. Pada simulasi ini, properti material diperhatikan spesifikasinya untuk mendapat hasil struktur yang akurat, material akan di gunakan saat akan memasuki run study. Saat simulasi, kekuatan luluh akan sangat berpengaruh, karena menjadi acuan pada perbandingan dengan von mises stress dan dasar perhitungan pada factor of safety. Berikut tabel spesifikasi ASTM A36 yang membuat material ini dipilih menjadi penyangga baterai dengan bobot besar:

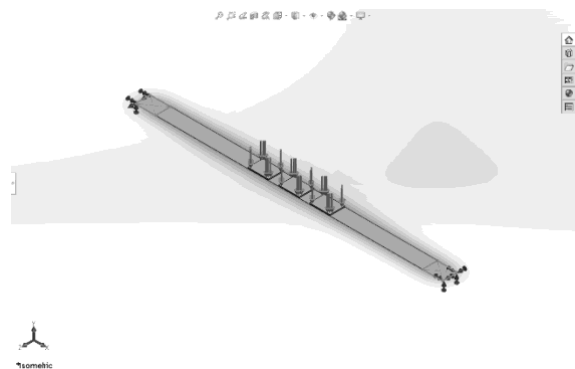
Tabel 1. Spesifikasi ASTM A36

Properti mekanik	Nilai
Kekuatan luluh (yield strength)	250 MPa
Kekuatan tarik (tensile strength)	400 – 550 MPa
Perpanjangan (elongation)	20% - 23%
Modulus elastisitas	200 GPa

Kekerasan 119 – 159 HB  
(brinell hardness)

Kerapatan (density) 7,85 g/cm<sup>3</sup>

Untuk mensimulasikan keadaan aktual, model pelat diberikan kondisi batas (boundary conditions) yang menunjukkan posisi operasional pelat penyangga diletakkan. Bagian bawah penyangga ditetapkan sebagai fixed support Dimana area tersebut dianggap sebagai tempat permanen melalui pengelasan atau baut. Baterai diletakkan di tengah-tengah pelat dengan jarak antar baterai kanan kiri sebesar 4,8 mm. Pengolahan data dimulai dari proses meshing, yaitu membagi model pelat menjadi elemen-elemen kecil untuk melihat analisis secara numerik. Setelah selesai pada meshing, ambil run study yang ingin dicari,



yaitu von mises stress, displacement, dan factor of safety.

Gambar 3. Letak pembebanan dan fixed support

Struktur pelat baja dinyatakan aman jika, von mises stress lebih kecil dari yield strength [10]. Rumus dasar von mises stress sebagai berikut:

$$\sigma_{vm} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \quad (1)$$

Keterangan:

$\sigma_{vm}$  adalah tegangan von mises (MPa) dan  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  adalah tegangan utama (MPa). Di dunia analisis teknik, membandingkan hasil tegangan (dalam simulasi ini tegangan von mises) dengan kemampuan maksimum material ASTM A36 dilakukan untuk melihat, kemampuan material bertahan

sebelum mengalami perubahan bentuk permanen (yield strength) [11]. Berikut rumus perhitungan perbandingan hasil tegangan dengan kemampuan maksimum material:

$$\text{Rasio tegangan} = \left( \frac{\sigma_{\text{yield}}}{\sigma_{\text{max}}} \right) \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan:

Rasio tegangan material ( $\text{N/mm}^2$ ),  $\sigma_{\text{max}}$  von mises stress tertinggi yang dihasilkan (MPa) dan  $\sigma_{\text{yield}}$  batas luluh baja ASTM A36 (250 MPa). Pada kondisi  $\sigma_{\text{vm}} < \sigma_{\text{yield}}$ , nilai displacement pada dasarnya akan berbanding lurus dengan besarnya beban yang didapat. Jika beban digandakan (pada saat total tegangan masih dibawah yield), maka nilai displacement juga akan meningkat dua kali lipat, mengikuti prinsip kekakuan material sebagai berikut:

$$F = [K] \cdot \Delta x \quad (3)$$

Keterangan:

F adalah beban (N), K merupakan matriks kekakuan material yang bergantung pada ketebalan pelat (N/m) dan  $\Delta x$  adalah nilai displacement yang sedang dicari (m).

Berikutnya parameter penentu utama, factor of safety. Factor of safety atau factor kemanan merupakan angka yang menunjukkan berapa besar Cadangan kekuatan struktur sebelum mengalami kegagalan material [12]. Pada material ulet dan dalam kondisi statis, factor of safety dapat di hitung dengan rumus berikut:

$$\text{FoS} = \frac{\sigma_{\text{yield}}}{\sigma_{\text{max}}} \quad (4)$$

Keterangan:

$\sigma_{\text{yield}}$  adalah batas luluh baja ASTM A36 (250 MPa), sedangkan  $\sigma_{\text{maks}}$  Adalah von mises stress tertinggi yang dihasilkan (MPa). Kriteria untuk batas aman factor of safety pada simulasi ini  $> 1,5$ .

Selanjutnya, sesuai yang telah disinggung di bagian pendahuluan akan nada perhitungan beban dinamis ekuivalen, tujuannya untuk mengubah massa baterai

menjadi beban gaya dinamis sebelum melanjutkan ke perhitungan tegangan lentur maksimal. Berikut rumus beban dinamis ekuivalen:

$$P_d = n \cdot (m \cdot g) \quad (5)$$

Keterangan:

$P_d$  merupakan dinamis ekuivalen (N), n merupakan factor beban G, ini akan diisi dengan 3 variasi (1,5G, 2G) 1G juga akan dihitung (statis) sebagai pembandingan statis dan dinamis, m adalah massa baterai (Kg), dan g merupakan percepatan gravitasi ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ). Selanjutnya masuk ke tegangan lentur maksimal ( $\sigma_{\text{max}}$ ) untuk menghitung tegangan pada tiap variasi tegangan:

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{M_{\text{max}} \cdot c}{I} \quad (6)$$

Keterangan:

$\sigma_{\text{max}}$  merupakan tegangan lentur maksimal (MPa),  $M_{\text{max}}$  merupakan momen lentur maksimal (N.mm), c merupakan jarak dari garis netral ke serat terluar (ketebalan dibagi 2, mm), I merupakan momen inersia ( $\text{mm}^4$ ). Nilai  $M_{\text{max}}$  didapat dari rumus:

$$M_{\text{max}} = \frac{P_d \cdot L}{4} \quad (7)$$

Dengan L adalah Panjang pelat baja, rumus ini digunakan karena baterai terletak di Tengah-tengah pelat.

Pemilihan hasil dari masing-masing parameter tidak sama, pada von mises stress dan displacement diambil angka maksimal karena kerentanan mereka ada di angka maksimal seperti pada rumus dasar, nilai von mises yang lebih kecil dari 250 MPa merupakan yang aman, sehingga mengambil nilai minimum akan mempengaruhi hasil komparatif. Sedangkan pada factor of safety diambil hasil minimum, karena kerentanan material ada pada nilai terkecil, jika

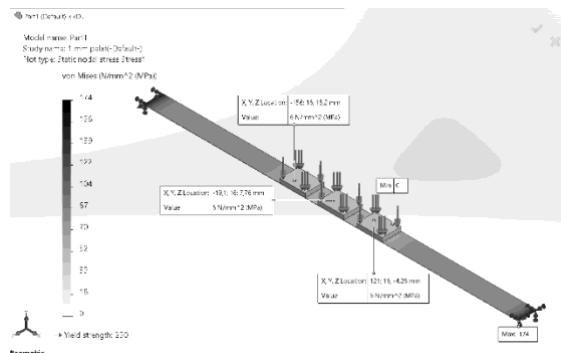
mengambil hasil maksimal dan tidak melihat hasil minimum, maka akan mempengaruhi hasil komparatif dan tujuan mencari ketebalan optimal tidak tercapai [11].

### Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan simulasi dengan pembebanan statis yang dilakukan pada pelat baja ASTM A36 sebagai penopang baterai platform, diperoleh hasil perbandingan mekanis dari ketiga variasi ketebalan sebagai berikut:

#### Ketebalan 1 mm

Pada variasi ketebalan terkecil, yaitu 1 mm, hasil menunjukkan nilai von mises stress maksimal sebesar 174 MPa. Nilai ini masih dalam kategori aman, yaitu < 250 MPa, dapat dilihat pada gambar



berikut: Gambar 4. Von mises ketebalan 1 mm

Walaupun masih dalam batas aman, rasio tegangan terhadap kekuatan material mencapai 69,6%, hal ini membuat ruang sempit untuk mengantisipasi ketidakpastian beban statis.

Gambar 5. Displacement ketebalan 1 mm

Hasil displacement lumayan tinggi, nilai maksimumnya mencapai 13 mm posisinya tepat di tengah. Pada posisi kanan kiri baterai mencapai angka 11 mm sampai 12 mm, nilai ini lumayan tinggi, dikhawatirkan untuk jangka panjang terjadi kelelahan material jika beban statis dari baterai ini dibiarkan dalam jangka waktu lama.

Gambar 6. Factor of safety ketebalan 1 mm

Pada ketebalan 1 mm ini, hasil minimumnya 1, ini tentu sudah tidak termasuk dari kategori teknis, dimana jika factor of safety tepat di angka 1, maka struktur pelat baja tersebut berada di kategori kondisi kritis. Secara teknis, penggunaan pelat ketebalan 1 mm menunjukkan displacement yang cukup tinggi, 13 mm. hal ini menandakan bahwa ketebalan ini kurang stabil jika dioperasikan langsung pada platform. Penurunan ketebalan membantu mengurangi bobot total platform, namun risiko terjadinya kegagalan struktur menjadi lebih tinggi akibat displacement pelat yang cukup tinggi dan factor of safety yang masih tepat di angka 1 [13].

Setelah selesai mencari semua parameter, selanjutnya menghitung beban statis 1G dan dinamis ekuivalen dengan variasi n 1,5G dan 2G:

$$P_d = n \cdot (m \cdot g)$$

$$P_d = 1G \cdot (15 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2)$$

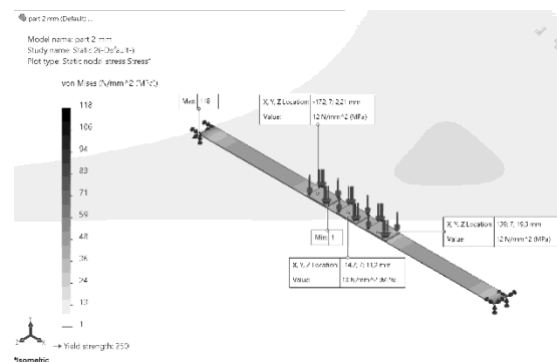
$$P_d = 147,15 \text{ N}$$

Hasil beban dinamis ekuivalen 1G = 147,15 N

$$P_d = n \cdot (m \cdot g)$$

$$P_d = 1,5G \cdot (15 \text{ Kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2)$$

$$P_d = 220,725 \text{ N}$$



Hasil beban dinamis ekuivalen 1,5G = 220,725 N

$$P_d = n \cdot (m \cdot g)$$

$$P_d = 2G \cdot (15 \text{ Kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2)$$

$$P_d = 294,3 \text{ N}$$

Hasil beban dinamis ekuivalen  $2G = 294,3 \text{ N}$

Setelah mendapat semua nilai beban dinamis ekuivalen, perhitungan dilanjutkan ke tegangan lentur maksimal untuk menghitung tegangan tiap variasi.

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max} \cdot c}{I}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{51502,5 \text{ N.mm} \cdot 0,5 \text{ mm}}{5,8 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma_{\max} = 4439,8 \text{ MPa}$$

Hasil tegangan lentur  $1G = 4439,8 \text{ MPa}$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max} \cdot c}{I}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{77253,75 \text{ N.mm} \cdot 0,5 \text{ mm}}{5,8 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma_{\max} = 6659,8 \text{ MPa}$$

Hasil tegangan lentur  $1,5G = 6659,8 \text{ MPa}$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max} \cdot c}{I}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{103,005 \text{ N.mm} \cdot 0,5 \text{ mm}}{5,8 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma_{\max} = 8,879 \text{ MPa}$$

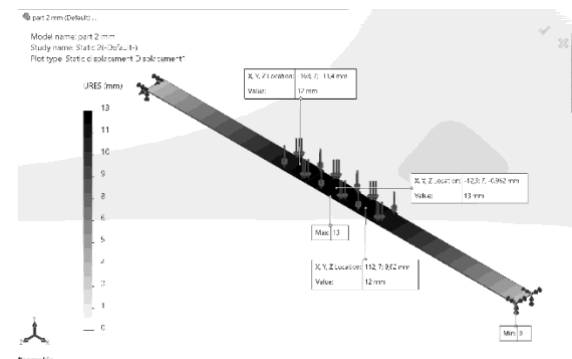
Hasil tegangan lentur  $2G = 8,879 \text{ MPa}$

### Ketebalan 2 mm

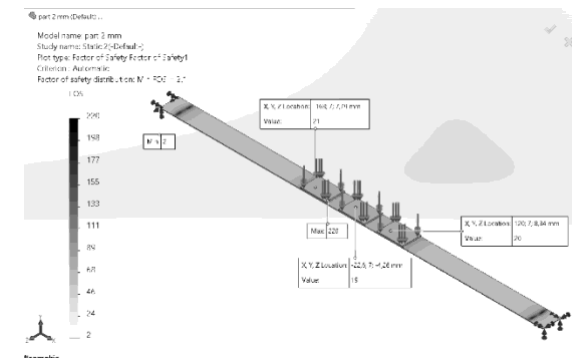
Pada ketebalan 2 mm, hasil simulasi mengalami penurunan angka pada von mises, hasil von mises pada gambar menunjukkan nilai maksimal 112 MPa yang berarti menjadi lebih aman dibandingkan dengan ketebalan 1 mm.

Gambar 7. Von mises ketebalan 2 mm

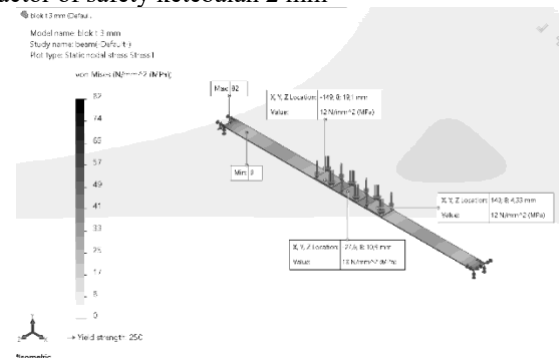
Rasio tegangan von mises terhadap kekuatan material mencapai 44,8%. Secara teknis kenaikan ketebalan ini meningkatkan kekakuan lentur struktur. Tidak terjadi penurunan displacement pada ketebalan 2 mm, hasilnya tetap di angka 13 mm, sehingga untuk displacement masih di kategori rentan. Factor of safety mengalami kenaikan, menjadi 2. Nilai ini tentu sudah melewati standar keamanan untuk pembebanan statis.



Gambar 8. Displacement ketebalan 2 mm



Gambar 9. Factor of safety ketebalan 2 mm



Pada ketebalan 2 mm ini, nilai von mises yang mengalami penurunan signifikan dan safety factor yang masuk kategori aman di dunia teknis membuat variasi ini bisa dijadikan opsi ketebalan optimal, namun

displacement yang tidak mengalami pengurangan menjadi pertimbangan keamanan baterai. Dimana untuk digunakan jangka panjang masih kurang efektif untuk menopang.

Melanjutkan mencari nilai tegangan lentur maksimal. Untuk nilai beban dinamis ekuivalen tidak perlu di cari lagi, menggunakan nilai yang sudah di dapat diatas karena tidak ada yang berubah dari isi rumusnya.

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max} \cdot c}{I}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{51502,5 \text{ N.mm} \cdot 1 \text{ mm}}{47 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma_{\max} = 1095,8 \text{ MPa}$$

Hasil tegangan lentur maksimal 1G = 1095,8 MPa.

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max} \cdot c}{I}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{77253,75 \text{ N.mm} \cdot 1 \text{ mm}}{47 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma_{\max} = 1643,7 \text{ MPa}$$

Hasil tegangan lentur maksimal 1,5G = 1643,7 MPa.

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max} \cdot c}{I}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{103,005 \text{ N.mm} \cdot 1 \text{ mm}}{47 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma_{\max} = 2,2 \text{ MPa}$$

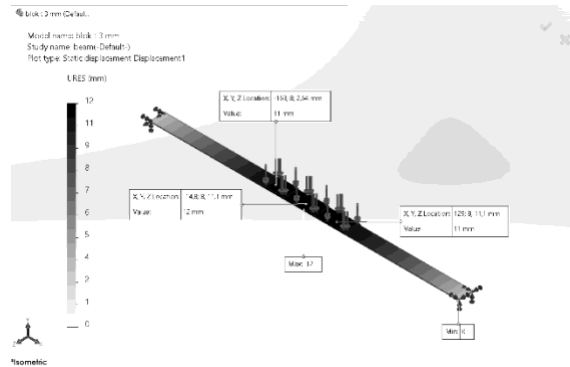
Hasil tegangan lentur maksimal 2G = 2,2 MPa.

### Ketebalan 3 mm

Pada ketebalan terakhir ini, nilai von mises semakin turun menjadi 82 MPa.

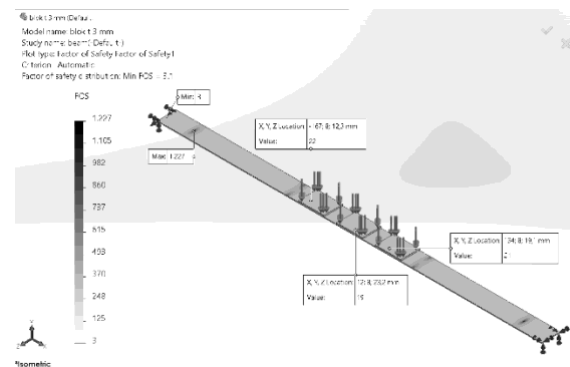
Gambar 10. Von mises stress ketebalan 3 mm

Rasio tegangan von mises terhadap kekuatan material mencapai hasil 32,8%. Nilai ini menunjukkan semakin tebal pelat maka semakin menurun nilai von mises stressnya.



Gambar 11. Displacement ketebalan 3 mm

Hasil displacement ketebalan 3 mm mengalami penurunan sebanyak 1,08% dari ketebalan 1 mm dan 2 mm, yaitu maksimalnya menjadi 12 mm ditengah dan posisi kanan kiri menjadi 11 mm. nilai ini merupakan peningkatan yang baik mengingat pada ketebalan 1 mm dan 2 mm tidak terjadi penurunan.



Gambar 12. Factor of safety ketebalan 3 mm

Hasil factor of safety dari ketebalan 3 mm mencapai angka 3. Angka ini masuk kategori sangat aman dalam standar teknik dan cocok digunakan untuk beban signifikan dibandingkan ketebalan 1 mm dan 2 mm. pada ketebaln 3 mm ini, von mises yang semakin turun, displacement menurun dan safety factor mencapai angka 3 membuat ketebalan 3 mm menjadi yang paling optimal diantara dua ketebalan lainnya.

Selanjutnya menghitung tegangan lentur maksimal:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max} \cdot c}{I}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{51502,5 \text{ N.mm} \cdot 1,5 \text{ mm}}{158,85 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma_{\max} = 486,3 \text{ MPa}$$

Hasil tegangan lentur maksimal 1G = 486,3 MPa.

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max} \cdot c}{I}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{77253,75 \text{ N.mm} \cdot 1,5 \text{ mm}}{158,85 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma_{\max} = 729,5 \text{ MPa}$$

Hasil tegangan lentur maksimal 2G = 729,5 MPa.

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max} \cdot c}{I}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{103,005 \text{ N.mm} \cdot 1,5 \text{ mm}}{158,85 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma_{\max} = 0,97 \text{ MPa}$$

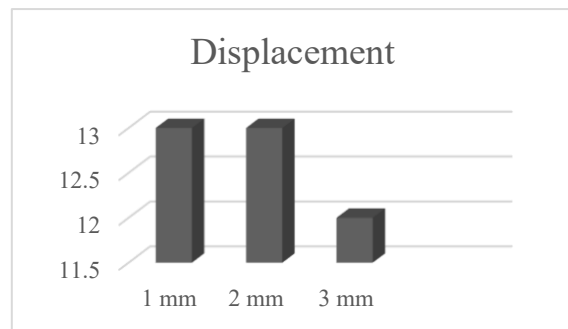
Hasil tegangan lentur maksimal 2G = 0,97 MPa.

Dapat dipahami sejauh ini bahwa, semakin tebal pelat nya, maka ketiga parameter (von mises stress, displacement, dan factor of safety) mencapai bahkan melebihi batas aman. Berikut akan ditampilkan gambar grafik masing-masing parameter agar terlihat perbandingan secara jelas dan lebih mudah dipahami:

Gambar 13. Grafik von mises stress

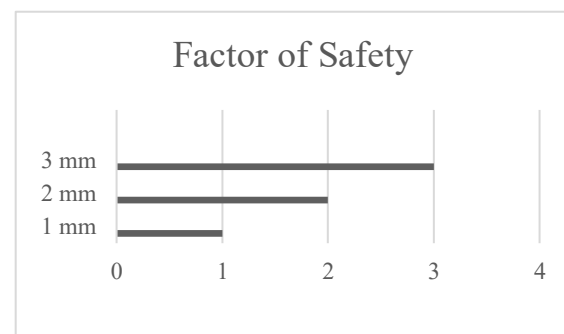
Pada grafik perbandingan variasi ketebalan melalui parameter von mises stress, dapat dilihat bahwa, semakin tebal pelat baja ASTM A36, maka nilai dari von mises semakin menurun [14]. Artinya, material berada dalam kondisi aman karena tegangan kerja yang diterima dari bobot baterai masih di bawah batas luluh baja ASTM A36, yaitu 250 MPa, sehingga material hanya mengalami deformasi elastis

dan tidak akan berubah secara permanen,



sehingga pada parameter ini didapat hasil von mises optimal pada ketebalan 3 mm. Hasil dari von mises memiliki konsekuensi langsung dengan hasil dari

displacement. Karena material masih bekerja dibawah batas luluh, maka displacement yang terjadi sepenuhnya bersifat elastis. Pergeseran partikel material hanya terjadi saat diletakkan beban saja, setelah beban dihilangkan, pelat baja akan kembali ke bentuk semula [15]. Jika melihat dari grafik, displacement pada ketebalan 3 mm memiliki hasil yang sangat baik dan langsung menurun drastis dibandingkan ketebalan 1 mm dan 2 mm.



Gambar 15. Grafik factor of safety

Kemudian, membahas perbandingan hasil perhitungan tegangan maksimal dan beban dinamis dari tiap variasi untuk menemukan titik batas aman safety pada struktur. Berikut akan ditampilkan tabel rangkuman hasil tegangan maksimal untuk perbandingan.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Tegangan Maksimal

Variasi Ketebalan	Kondisi	$\sigma_{\max}$ (MPa)	$\frac{\sigma_y}{\sigma_{\max}}$

1 mm	Statis (1G)	4439,8	0,05
	Dinamis (1,5G)	6659,8	0,04
	Dinamis (2G)	8,879	0,28
2 mm	Statis (1G)	1095,8	0,22
	Dinamis (1,5G)	1643,7	0,15
	Dinamis (2G)	2,2	1,3
3 mm	Statis (1G)	486,3	0,51
	Dinamis (1,5G)	729,5	0,34
	Dinamis (2G)	0,97	2,5

Dari penjabran tabel diatas, dapat disimpulkan jika beban dinamis paling naik keamanan semakin baik, dan keamanan paling baik ada pada ketebalan 3 mm sebagai baseline, sehingga pada simulasi dan penelitian ini, tidak dapat dipakai untuk ketebalan dibawah 3 mm.

### Kesimpulan

Dari simulasi tiap variasi ketebalan, didapat hasil ketebalan optimal, yaitu 3 mm. Pada ketebalan 1 mm, secara teknis masih termasuk kategori aman pada hasil von mises stress, namun displacement yang tinggi dan factor of safety yang masuk kategori kritis, sehingga tidak bisa dipilih bahkan masuk kategori rawan kegagalan. Pada ketebalan 2 mm, von mises dan factor of safety masuk kategori aman, namun displacement yang tidak mengalami penurunan, masih di angka 13 mm, sehingga tidak dipilih karena masih rentan. Pada

ketebalan 3 mm, von mises jauh lebih kecil dari kedua variasi lainnya, factor of safety berasa di angka 3 dan displacement menurun 1,08% dari kedua variasi lainnya. Sehingga diambil kesimpulan ketebalan 3 mm sebagai ketebalan optimal sebagai penopang baterai . Untuk beban dinamis, sangat optimal ada pada ketebalan baseline yaitu 3 mm.

### Ucapan terimakasih

Alhamdulillah bersyukur kepada Allah SWT. Atas karunianya jurnal ini bisa diselesaikan dengan lancar. Sholawat kepada Nabi Muhammad SAW. Semoga selalu tercurahkan. Terimakasih kepada orang tua saya yang selalu memberikan support, terimakasih kepada kakak sepupu saya, Mery Satya Anggraini, S.E., M.Ak., yang sudah mendorong saya membuat jurnal dan berkontribusi banyak pada bimbingan, dan kepada Prof. Dr. Drs. Muhaji, S.T. M.T atas bimbingannya.

### Referensi

- [1] Badruzzaman, dkk. (2020). *Analisis Kekuatan Pembebanan Rangka Pada Perancangan Mesin Grading fish Jenis Ikan Lele Menggunakan Simulasi Solidworks*. 26–27.
- [2] Tanduk, Y. B. dkk. (2019). *Diplomasi Pertahanan Indonesia terhadap Korea Selatan dalam Proses Transfer of Technology ( ToT ) pada Pengembangan Kapal Selam KRI Alugoro*.
- [3] Alhammadi, A. S. S. et al. (2022). *Simulation Analyses Related to Human Bone Scaffold : Utilisation of Solidworks ® Software in 3D Modelling and Mechanical Simulation Analyses*. 1(2), 97–104.
- [4] Prayitno, H. dkk. (2025). *Pengembangan Kompetensi Mahasiswa Teknik Mesin Universitas Lampung dalam Era Industri 4 . 0 : Pembekalan*. 17–26.
- [5] Prayoga, D. dkk. (2025). *Analisis Pengaruh Jenis Cat dan Jumlah Pelapisan*

Spray Coating Baja Karbon Rendah ASTM A36

[6] Hendaryati, H. dkk. (2024). *Pengaruh variasi ketebalan plat alumunium 2024 T42 terhadap kekuatan tarik dan macrography pada proses resistance spot welding The effect of variations in thickness of 2024 T42 aluminum plate on tensile strength and macrography in the process of resistance spot welding.* 3, 96–107. <https://doi.org/10.37373/jttm.v3i2.299>

[7] Dianna, S. B. dkk. (2025). Laju Korosi Baja Karbon Rendah Besi Astm A36 dan Paku pada Lingkungan Perairan Manyar Gresik. *Jurnal Surya Teknika*, 12(1), 44–50. <https://doi.org/10.37859/jst.v12i1.9134>

[8] Djuhana, dkk. (2020). *Plate Mold dengan Software Simulasi (Solidworks 3D)*. 3(2), 6–16.

[9] Arifin, M. Z. dkk. (2020). Characteristics of ASTM A36 steel plate corrosion rate due to bending treatment with angle, corrosion media, and corrosion time variations. *Journal of Engineering and Applied Technology*, 1(1), 21–29. <https://doi.org/10.21831/jeatech.v1i1.31478>

[10] Arifin, J. dkk. (2017). *Baja adalah logam paduan dengan besi sebagai unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya . Kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0 , 2 % hingga karbon dalam baja adalah sebagai unsur pengeras*

*dengan mencegah dislokasi.* 13(1), 27–31.

[11] Susilo, F. R. dkk. (2025). *ANALISIS TEGANGAN VON MISES , DEFORMASI , DAN SAFETY FACTOR PADA RANGKA SEPEDA MOTOR MATIC 110 CC MENGGUNAKAN METODE ELEMEN.* 13(4), 13–20.

[12] Ikhsan, M. N. dkk. (2024). ANALISA PERBANDINGAN STRUKTUR RANGKA ATAP KAYU DENGAN BAJA RINGAN DARI SEGI KETAHANAN DAN KEGAGALAN KONSTRUKSI. *Jurnal Informasi , Teknologi ,.* 3(2), 11–20.

[13] Wijaya, C. dan Romadoni, A. M. (2025). *SIMULASI FINITE ELEMENT ANALYSIS ( FEA ) PADA RANGKA PORTABLE MINI COLD STORAGE MENGGUNAKAN SOFTWARE SOLIDWORKS 2021.* 3(3), 857–863.

[14] Yoganata, Y. S. dkk. (2025). *Analisis Nilai Tegangan Terhadap Variasi Cekungan pada Pelat Baja Menggunakan Finite Element Method.* X(2), 13080–13090.

[15] Putra, E. B., Fiveriati, A., Catrawedarma, I., Sari, E. N., & Wahid, M. A. (2024). *NUMERICAL SIMULATION.* 6(1), 1701–1710.