

ANALISIS SIMULASI KERUSAKAN CRASHBOX PADA CHASSIS LADDER FRAME MOBIL HEMAT ENERGI POLIBAN

CRASHBOX DAMAGE SIMULATION ANALYSIS ON THE LADDER FRAME CHASSIS OF THE POLIBAN ENERGY-SAVING CAR

Muhammad Rifqi Fadhilah, A'yan Sabitah, Rusmini Sri Maryati

Politeknik Negeri Banjarmasin, Banjarmasin, Indonesia

email : fadhilahmuhammadrifqi@gmail.com¹, ayansabitah@poliban.ac.id², rusmini_sri42@yahoo.co.id³

Received:
27 Maret 2025

Accepted:
8 April 2025

Published:
30 Mei 2025



Abstrak

Crashbox adalah komponen penting dalam sistem keselamatan pasif kendaraan, berperan dalam menyerap energi kinetik saat tabrakan. Penelitian ini menganalisis kerusakan crashbox yang terintegrasi dengan chassis ladder frame pada mobil hemat energi. Tiga desain crashbox (lurus, ganda, lengkung) dievaluasi menggunakan perangkat lunak autodesk inventor di bawah pembebanan statis 25kg dan 55kg untuk mengukur distribusi tegangan von mises. Hasil simulasi menunjukkan bahwa desain lurus menghasilkan tegangan maksimum 1.819 Mpa pada beban 25kg dan 4.402 Mpa pada beban 55kg. Desain ganda mencatat tegangan maksimum 1.263 Mpa pada beban 25kg dan 2.780 Mpa pada beban 55kg. Desain lengkung menunjukkan performa terbaik dengan tegangan maksimum 0.5093 Mpa pada beban 25kg dan 1.120 Mpa pada beban 55kg. Desain lengkung mampu mendistribusikan tegangan secara lebih merata, mengurangi risiko deformasi plastis, dan meningkatkan keandalan struktural. Dengan demikian, desain crashbox lengkung dinilai paling optimal untuk mobil hemat energi karena kemampuannya dalam menekan tegangan maksimum dan meningkatkan keselamatan penumpang melalui pengurangan risiko kegagalan struktural.

Kata Kunci: Crashbox, Chassis Ladder Frame, Autodesk Inventor

Abstract

The crashbox is a crucial component in a vehicle's passive safety system, playing a key role in absorbing kinetic energy during a collision. This research analyzes the failure of a crashbox integrated with a ladder frame chassis in an energy-efficient vehicle. Three crashbox designs (straight, double, curved) were evaluated using autodesk inventor software under static loads of 25kg and 55kg to measure the distribution of von mises stress. The simulation results show that the straight design generated a maximum stress of 1.819 Mpa under a 25kg load and 4.402 Mpa under a 55kg load. The double design recorded a maximum stress of 1.263 Mpa under a 25kg load and 2.780 Mpa under a 55kg load. The curved design demonstrated the best performance, with a maximum stress of 0.5093 Mpa under a 25kg load and 1.120 Mpa under a 55kg load. The curved crashbox design was able to distribute stress more evenly, reducing the risk of plastic deformation and enhancing structural reliability. Therefore, the curved crashbox design is considered the most optimal for energy-efficient vehicles due to its ability to minimize maximum stress and improve passenger safety by reducing the risk of structural failure

Keywords: Crashbox, Ladder Frame Chassis, Autodesk Inventor

How to cite: Muhammad Rifqi Fadhilah, A'yan Sabitah, Rusmini Sri Maryati, "Analisis Simulasi Kerusakan

PENDAHULUAN

Mobil merupakan alat transportasi darat di zaman modern yang umum digunakan oleh manusia, mobil digerakan oleh tenaga mesin, beroda empat (atau lebih) berbahan bakar minyak (bensin atau solar). Jumlah produksi akan kebutuhan mobil dari tahun ketahun juga semakin meningkat, hal itu sangat berbanding terbalik dengan ketersediaan bahan bakar yang digunakan untuk menjalankan mobil. Dengan kemajuan teknologi yang memungkinkan saat ini dan persaingan global, mobil hemat energi kini mulai dikembangkan dari segi bahan bakar, motor penggerak, dan juga sistem chassis dan roda (Setiawan, 2020).

Kontes Mobil Hemat Energi (KMHE) 2023 merupakan sebuah lomba kendaraan yang berfokus pada penghematan bahan bakar pada tingkat nasional. Kegiatan ini diharapkan dapat mendorong generasi muda bangsa utamanya para mahasiswa untuk melahirkan teknologi otomotif yang hemat energi dan aman terhadap kecelakaan. Kemampuan untuk merancang dan membangun kendaraan yang irit, aman, dan ramah lingkungan merupakan kemampuan yang harus dimiliki oleh seluruh peserta dalam kegiatan ini (Sukmayadi et al., 2023).

Crashbox adalah bagian dari sistem keamanan pasif dalam kendaraan. Sistem keamanan pasif crashbox akan aktif ketika kecelakaan tabrakan tidak dapat dihindari secara tidak langsung sistem keamanan aktif dalam mode transportasi akan menjadi aktif ketika tidak lagi mampu mencegah insiden seperti tabrakan atau jatuh. Bahkan dalam pengembangan teknologinya crashbox ini dirancang dalam beberapa transportasi seperti kereta api untuk bertindak sebagai penyerapan untuk menyerap energi kinetik sebanyak mungkin selama tabrakan, yang kemudian dikendalikan oleh elemen deformasi dan mengurangi gaya yang diterapkan pada seluruh rangka atau struktural (Wirawan et al., 2021).

Crashbox dimaksudkan untuk menahan energi tabrakan sebanyak mungkin sambil mengurangi energi tumbukan yang dipindahkan ke penumpang. Penyerapan energi yang tinggi pada crashbox diharapkan dapat mengurangi perlambatan tinggi yang dialami penumpang sekaligus menjaga ruang kabin penumpang yang memadai jika terjadi tabrakan (Fransisco et al., 2016), (Tawaf & Asroni, 2019).

Crashbox dipasang secara horizontal di belakang bumper pada bagian depan kendaraan dibandingkan dengan arah tabrakan lainnya, penelitian menunjukkan bahwa tabrakan frontal terjadi pada tingkat tertinggi. Tabrakan frontal dapat terjadi secara langsung di bagian tengah kendaraan atau dengan persentase offset tertentu dari bagian tengah depan kendaraan (Akbar et al., 2020).

Karena rasio kekuatan terhadap massa yang tinggi dan penyerapan energi yang efisien, struktur prismatik berdinding tipis biasanya digunakan dalam konstruksi crashbox. Faktor material dan dimensi memainkan peran penting dalam desain crashbox karena sementara banyak penyerapan energi yang diinginkan, kendaraan membutuhkan massa struktural ringan mungkin untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar (Akbar et al., 2020).

Autodesk Inventor merupakan sebuah program CAD (*Computer Aided Design*) dengan kemampuan pemodelan tiga dimensi solid untuk proses pembuatan objek prototipe 3D secara visual, simulasi dan drafting beserta dokumentasi data – datanya. Dalam inventor, seorang desainer bisa membuat sketsa 2D produk, memodelkannya menjadi 3D untuk dilanjutkan dengan proses pembuatan prototipe visual atau bahkan yang lebih kompleks lagi, yaitu simulasi. Autodesk inventor, yang dikembangkan oleh Perusahaan perangkat lunak CAD mekanik desain 3D untuk membuat *prototype* digital 3D yang digunakan dalam desain, visualisasi dan simulasi produk (Ramadhana, 2024).

Stress Analysis merupakan salah satu alat pengujian struktur pada Autodesk Inventor yang dilakukan dengan menerapkan konsep Finite Element Analysis (FEA). Cara kerjanya adalah dengan memecah suatu objek struktur yang akan diuji menjadi element – element berhingga yang saling terhubung satu sama lain yang akan dikelola dengan perhitungan khusus oleh software, sehingga menghasilkan hasil yang lebih akurat. Keakuratan hasil analisis bergantung pada material, restraint (bagian diam), dan beban yang diterapkan. Kita harus memastikan bahwa properti material yang akan kita gunakan untuk mendapatkan hasil yang valid pada dasarnya, restraints dan loads harus merepresentasikan kondisi kerja benda tersebut. Analisis tegangan atau statis menghitung perpindahan, regangan, dan tegangan berdasarkan material, restraints, dan loads diberikan. Suatu material akan retak atau berubah bentuk ketika tegangannya mencapai tingkat tertentu (Ramadhana, 2024).

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi performa desain crashbox pada mobil hemat energi khususnya dalam konteks integrasinya dengan chassis ladder frame, dengan menggunakan aplikasi autodesk inventor penelitian ini menganalisis bagaimana variasi geometri crashbox mempengaruhi kemampuan crashbox dalam menyerap energi tabrakan dan melindungi penumpang. Tujuan lainnya adalah untuk mengidentifikasi desain crashbox yang paling efisien dalam mendistribusikan tegangan serta mengurangi risiko deformasi plastis dan kegagalan struktural, yang pada akhirnya dapat berkontribusi pada peningkatan keselamatan kendaraan (Fakhri & Sukarnoto, 2023).

METODE PENELITIAN

Variabel Penelitian

Variabel adalah konsep yang memiliki variasi nilai. Variabel dapat diartikan sebagai pengelompokan logis dari dua atribut atau lebih. Sedangkan variabel penelitian adalah objek penelitian, atau apa yang menjadi fokus dalam suatu penelitian. Dalam penelitian ini terdapat tiga macam variabel, yaitu variabel bebas (*independent*), variabel terikat (*dependent*), dan variabel kontrol (*control*).

- A. Variabel Bebas (*Independent*) adalah faktor – faktor yang sengaja diubah oleh peneliti untuk melihat pengaruhnya terhadap variabel terikat. Dalam penelitian ini desain *crashbox* dan pembebanan adalah variabel bebas karena peneliti ingin mengetahui bagaimana variasi desain dan pembebanan mempengaruhi kerusakan *crashbox*.
 - a) Desain *crashbox*: penelitian ini menggunakan tiga desain *crashbox* yang berbeda (Lurus, Lengkung, Ganda), variasi desain ini menjadi faktor yang dimanipulasi untuk melihat pengaruhnya terhadap kerusakan.
 - b) Pembebanan: penelitian ini melibatkan variasi pembebanan pada *crashbox*, yaitu 25kg dan 55kg.
- B. Variabel Terikat (*Dependent*) adalah hasil yang diamati dan diukur sebagai respons terhadap perubahan variabel bebas, kerusakan *crashbox* yang diukur melalui tegangan *von mises* adalah variabel terikat karena nilainya bergantung pada desain dan pembebanan yang diterapkan.
 - a) Kerusakan *crashbox*: variabel ini adalah hasil yang diamati dan diukur dalam penelitian, kerusakan *crashbox* dinilai berdasarkan tegangan *von mises* yang dihasilkan dari simulasi menggunakan aplikasi *Autodesk inventor*.
- C. Variabel Kontrol (*Control*) adalah faktor – faktor yang sengaja dipertahankan konstan untuk menghindari pengaruhnya terhadap hubungan antara variabel bebas dan terikat, dalam penelitian ini material *crashbox* dan aplikasi simulasi adalah variabel kontrol dengan menjaga variabel ini tetap, peneliti dapat memastikan bahwa perbedaan hasil simulasi murni disebabkan oleh perubahan desain dan pembebanan.
 - a) Material *crashbox*: material yang digunakan untuk *crashbox* dalam penelitian ini adalah *galvanis steel*, variabel ini dijaga konstan untuk memastikan bahwa

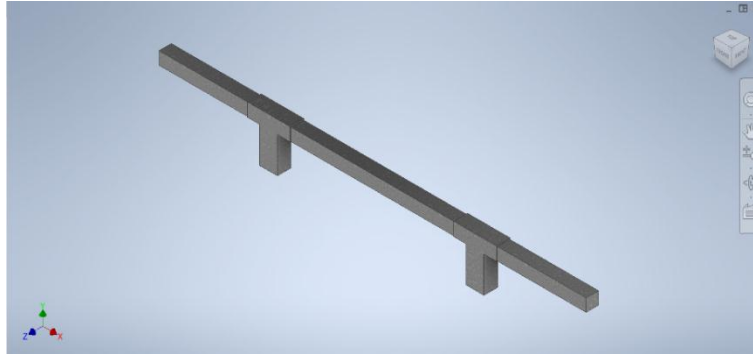
perbedaan hasil simulasi disebabkan oleh variasi desain dan pembebanan, bukan perbedaan material

- b) Aplikasi simulasi: penelitian ini menggunakan *autodesk inventor 2025* untuk semua simulasi

Desain *Crashbox*

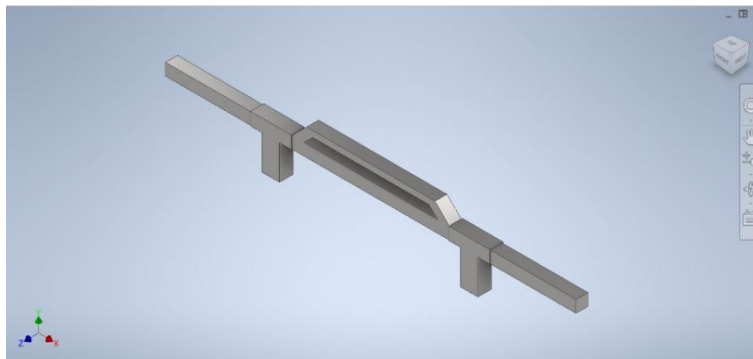
Tiga desain *crashbox* yang berbeda dikembangkan menggunakan *autodesk inventor*.

- Desain Lurus desain sederhana dengan penampang lurus.



Gambar 1 Desain *Crashbox* Lurus

- Desain Ganda terdiri dari dua bagian yang saling terhubung untuk meningkatkan kekuatan dan kekakuan.



Gambar 2 Desain *Crashbox* Ganda

- Desain Lengkung memiliki bentuk melengkung untuk mendistribusikan energi tabrakan secara lebih merata.

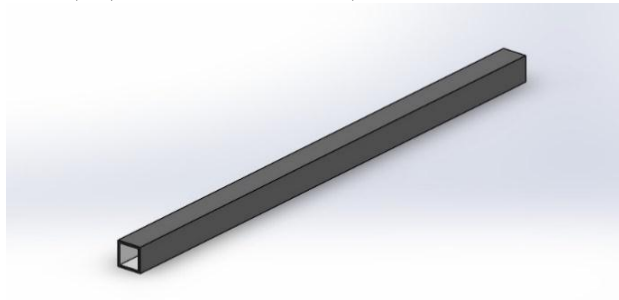


Gambar 3 Desain *Crashbox* Lengkung

Material *Crashbox*

Bahan yang digunakan dalam pembuatan *crashbox* ini adalah *galvanis steel* tujuan menggunakan *galvanis steel* sebagai *crashbox* dari mobil hemat energi ini adalah

kekuatannya karena besi *galvanis* ini tahan akan cuaca panas maupun dingin serta tidak mudah memuai, mempunyai tampilan yang menarik serta pemasangan yang tergolong sangat mudah karena tidak memerlukan keahlian khusus, selain itu tidak menghantarkan api. Aplikasi *Autodesk inventor* digunakan untuk menganalisis struktur dari *crashbox* ini (Agus Choiron et al., 2015), (Isworo et al., 2019).



Gambar 4 Material Crashbox Galvanis Steel

HASIL DAN PEMBAHASAN

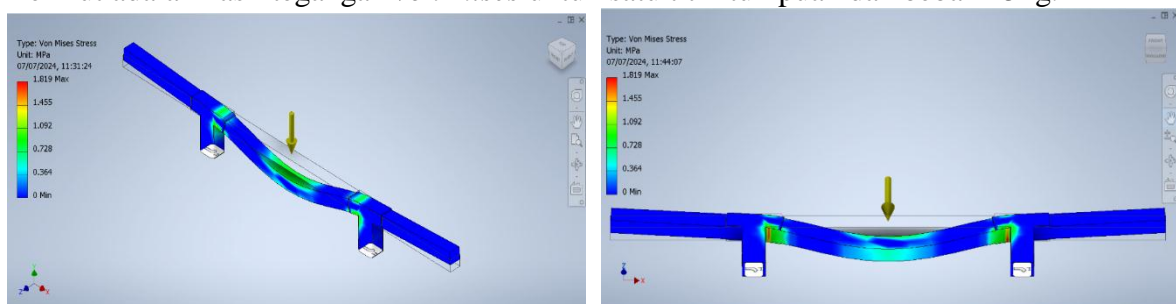
Selain menggambar desain objek, *autodesk inventor* juga memiliki fitur analisis tegangan yang berfungsi untuk menganalisis kekuatan suatu desain sebelum dibuat, fitur analisis tegangan adalah fitur bawaan bagi pengguna *autodesk inventor* yang berguna untuk menganalisis kekuatan suatu rancangan untuk membantu mengurangi kesalahan dalam proses pembuatan. Kekuatan hasil analisis bergantung pada material, *restraint* (bagian yang diam) dan beban yang diterapkan (Sutra Perdana et al., 2022).

Hasil Simulasi *Crashbox* Desain Lurus

Nilai tegangan *von mises* diperoleh setelah simulasi *crashbox* beban statis dengan satu titik beban dalam analisis tegangan.

A. Simulasi *crashbox* dengan satu titik tumpuan dan beban 25kg

Berikut adalah hasil tegangan *von mises* untuk satu titik tumpuan dan beban 25kg.



Gambar 5 Hasil Simulasi *Crashbox* Dengan Beban 25kg

Hasil analisis menunjukkan bahwa pada beban 25kg yang diterapkan pada satu tumpuan, tegangan maksimum yang dialami oleh komponen mencapai 1.819 Mpa, sementara tegangan minimum 0 Mpa. Tegangan *von mises* yang digunakan untuk menilai kemungkinan terjadinya deformasi plastis pada material, dihitung dari kombinasi tegangan normal dan tegangan geser dalam material, dalam simulasi tegangan diukur dalam satuan MegaPascal (Mpa).

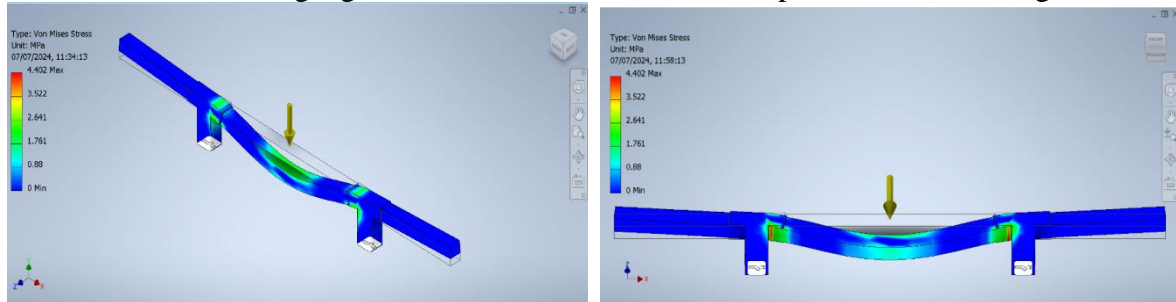
Distribusi tegangan pada komponen ditampilkan dalam gambar 5, dimana area dengan tegangan tertinggi ditunjukkan oleh warna merah, sementara area dengan tegangan terendah ditunjukkan oleh warna biru beban sebesar 25kg diberikan pada satu titik tertentu dengan arah beban yang diindikasikan oleh panah kuning.

Interpretasi hasil simulasi menunjukkan bahwa area dengan warna merah mendekati kuning merupakan area kritis, dimana tegangan tertinggi terjadi jika tegangan melebihi batas *yield* material, maka area tersebut berpotensi mengalami deformasi plastis atau

bahkan kegagalan. Oleh karena itu nilai tegangan maksimum ini harus dibandingkan dengan nilai *yield strength* dari material yang digunakan. Untuk memastikan keamanan dan keandalan komponen, modifikasi desain atau pemilihan dengan kekuatan yang lebih tinggi diperlukan jika nilai tegangan *von mises* mendekati atau melebihi kekuatan luluh.

B. Simulasi *crashbox* dengan satu titik tumpuan dan beban 55kg

Berikut adalah hasil tegangan *von mises* untuk satu titik tumpuan dan beban 55kg.



Gambar 6 Hasil Simulasi Crashbox Dengan Beban 55kg

Hasil analisis komponen dengan beban 55 kg menunjukkan bahwa tegangan maksimal yang terjadi adalah sebesar 4.402 MPa, sementara tegangan minimumnya adalah 0 MPa. Tegangan *Von Mises* digunakan dalam analisis ini untuk memprediksi titik di mana material mulai mengalami deformasi plastis, dan hasil simulasi dinyatakan dalam satuan MegaPascal (MPa).

Distribusi tegangan pada komponen divisualisasikan dengan variasi warna, di mana area dengan tegangan tertinggi ditunjukkan oleh warna merah, sedangkan area dengan tegangan terendah ditunjukkan oleh warna biru. Beban sebesar 55 kg diterapkan pada satu titik, dengan arah beban yang digambarkan oleh panah kuning dalam simulasi.

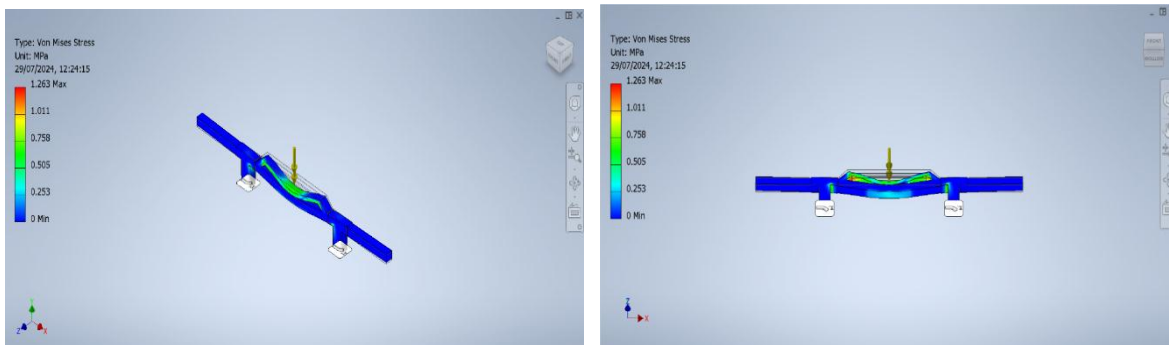
Interpretasi hasil menunjukkan bahwa area berwarna merah mendekati kuning merupakan area kritis dengan tegangan tertinggi. Jika tegangan di area ini melebihi batas *yield* material, maka area tersebut berisiko mengalami deformasi plastis atau bahkan kegagalan. Dibandingkan dengan simulasi sebelumnya yang menggunakan beban 25 kg dengan tegangan maksimum 1.819 MPa, peningkatan beban menjadi 55 kg secara signifikan meningkatkan tegangan maksimum menjadi 4.402 MPa. Hal ini menegaskan bahwa beban yang lebih besar akan meningkatkan tegangan pada komponen. Oleh karena itu, nilai tegangan maksimum harus dibandingkan dengan kekuatan luluh material yang digunakan. Jika tegangan *von mises* mendekati atau melebihi kekuatan luluh, modifikasi desain atau pemilihan material dengan kekuatan yang lebih tinggi harus dipertimbangkan untuk memastikan keamanan dan keandalan komponen.

Hasil Simulasi *Crashbox* Desain Ganda

Nilai tegangan *von mises* diperoleh setelah simulasi *crashbox* beban statis dengan satu titik beban dalam analisis tegangan.

A. Simulasi *crashbox* dengan satu titik tumpuan dan beban 25kg

Berikut adalah hasil tegangan *von mises* untuk satu titik tumpuan dan beban 25kg.



Gambar 7 Hasil Simulasi Crashbox Dengan Beban 25kg

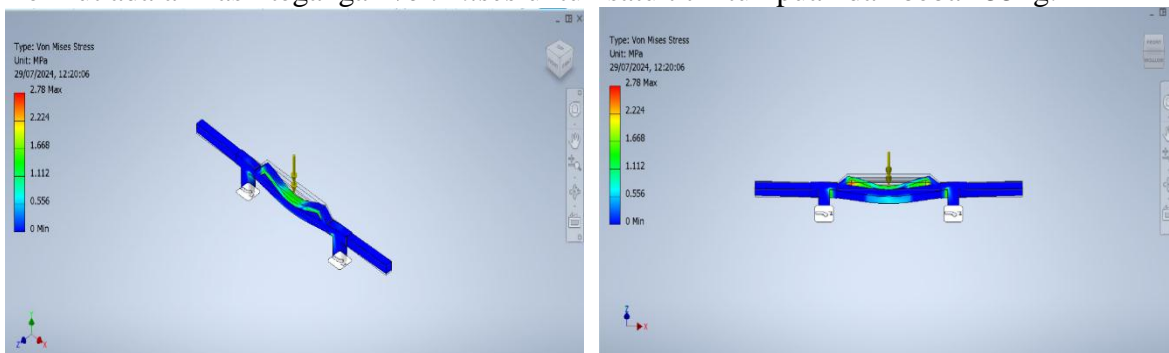
Analisis tegangan *Von Mises* pada sebuah balok dengan beban terpusat menunjukkan distribusi tegangan yang bervariasi di sepanjang balok. Gambar 7 yang menampilkan hasil analisis ini menggunakan skala warna untuk menggambarkan intensitas tegangan, di mana warna merah menunjukkan tegangan tertinggi sebesar 1.263 MPa, dan biru menunjukkan tegangan terendah, yaitu 0 MPa. Tegangan maksimum biasanya terletak di area sekitar titik pembebanan atau di daerah dengan perubahan geometris signifikan, yang mungkin menjadi area kritis yang perlu diperhatikan untuk menghindari kegagalan struktur.

Distribusi tegangan menunjukkan bahwa bagian tengah balok, tepat di bawah titik beban, mengalami tegangan yang lebih tinggi dibandingkan dengan ujung-ujung balok. Warna hijau-kuning pada gambar menunjukkan tegangan sedang, yang masih dalam batas aman. Area dengan warna merah dan kuning menandakan adanya konsentrasi tegangan yang lebih tinggi dan mungkin memerlukan perhatian lebih lanjut untuk memastikan tegangan ini tidak melebihi batas kekuatan material yang digunakan.

Secara keseluruhan, struktur balok dianggap aman selama tegangan maksimum yang teridentifikasi tidak melampaui tegangan *yield* material. Untuk mengoptimalkan desain, mungkin diperlukan perubahan pada geometri balok, penambahan elemen penguat, atau penggunaan material dengan kekuatan yang lebih tinggi, terutama di area yang menunjukkan konsentrasi tegangan tinggi. Hal ini bertujuan untuk mengurangi risiko kegagalan struktur dan meningkatkan keamanan keseluruhan desain.

B. Simulasi *crashbox* dengan satu titik tumpuan dan beban 55kg

Berikut adalah hasil tegangan *von mises* untuk satu titik tumpuan dan beban 55kg.



Gambar 8 Hasil Simulasi Crashbox Dengan Beban 55kg

Analisis tegangan *Von Mises* adalah alat penting dalam teknik mesin dan struktur untuk menentukan distribusi tegangan dalam material saat beban diterapkan, yang membantu mengidentifikasi area yang berisiko mengalami kegagalan material. Pada model yang dianalisis, balok dengan penyangga di kedua ujungnya diberi beban di bagian tengah, dan distribusi tegangan dianalisis menggunakan metode *Von Mises*. Skala warna pada gambar 8 menunjukkan intensitas tegangan dengan warna biru untuk tegangan minimal (0

MPa), hijau hingga kuning untuk tegangan sedang (hingga sekitar 1.112 MPa), dan merah untuk tegangan maksimal (2.78 MPa).

Distribusi tegangan menunjukkan bahwa zona biru, yang mencerminkan tegangan rendah, umumnya terletak dekat penyangga karena dukungan struktural yang kuat, sementara zona hijau hingga kuning menandakan tegangan sedang yang terdistribusi di bagian tengah balok. Zona merah menunjukkan area dengan tegangan tinggi, terutama di sekitar titik penerapan beban, yang menjadi titik kritis dengan potensi terbesar untuk kegagalan material. Dari analisis ini, tegangan maksimal terjadi di area sekitar titik penerapan beban, mencapai 2.78 MPa, menjadikannya area yang paling memerlukan perhatian untuk mencegah kegagalan.

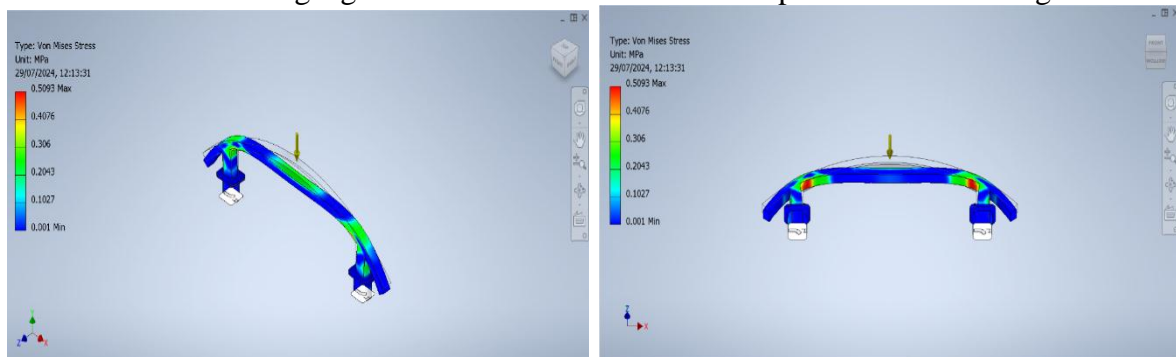
Sementara itu, tegangan sedang terdistribusi di sepanjang balok, namun tidak mencapai nilai kritis seperti di area beban, dan tegangan rendah terletak di dekat penyangga, menunjukkan bahwa area ini relatif aman dari risiko kegagalan. Kesimpulannya, analisis ini menegaskan bahwa titik penerapan beban adalah area kritis yang mungkin memerlukan penguatan desain atau penggunaan material dengan sifat mekanik yang lebih baik untuk menghindari kegagalan.

Hasil Simulasi *Crashbox* Desain Lengkung

Nilai tegangan *von mises* diperoleh setelah simulasi *crashbox* beban statis dengan satu titik beban dalam analisis tegangan.

A. Simulasi *crashbox* dengan satu titik tumpuan dan beban 25kg

Berikut adalah hasil tegangan *von mises* untuk satu titik tumpuan dan beban 25kg.



Gambar 9 Hasil Simulasi *Crashbox* Dengan Beban 25kg

Tegangan *Von Mises* adalah kriteria yang digunakan dalam teknik untuk menentukan apakah suatu material akan mengalami deformasi plastis atau gagal di bawah kondisi pembebanan kompleks. Kriteria ini sangat berguna untuk material duktal seperti logam, di mana tegangan *Von Mises* dihitung dari tegangan utama dan digunakan untuk memprediksi terjadinya yield pada material. Gambar 9 yang menunjukkan distribusi tegangan *Von Mises* berwarna pada sebuah komponen struktural yang dibebani, seperti balok atau anggota struktural serupa, memberikan wawasan tentang tingkat tegangan yang berbeda di dalam komponen tersebut. Warna biru mewakili daerah tegangan rendah, sementara merah menunjukkan konsentrasi tegangan tinggi.

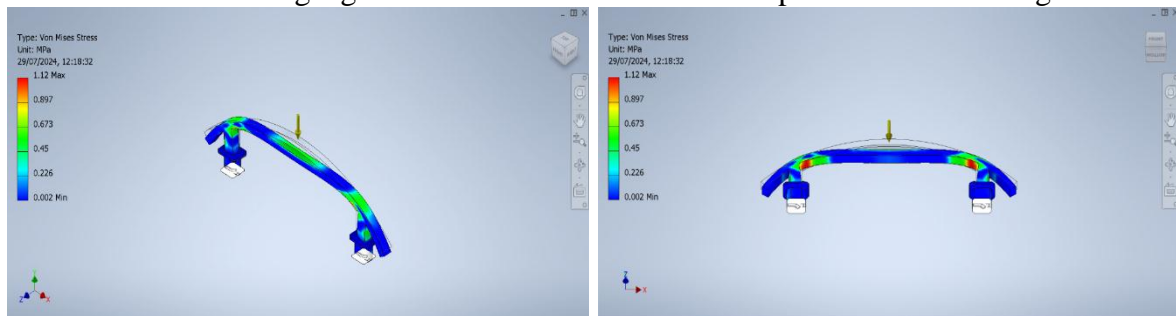
Dalam konteks pembebanan, panah kuning di tengah balok menunjukkan adanya gaya tekan ke bawah yang menciptakan momen lentur dan gaya geser dalam balok. Komponen ini tampak disangga di kedua ujungnya, mungkin dengan dukungan tetap atau pin, yang mencegah pergerakan tetapi memungkinkan balok untuk melengkung. Analisis distribusi tegangan menunjukkan bahwa tegangan tertinggi, yang ditandai dengan warna merah, terkonsentrasi pada lokasi di mana gaya diterapkan dan dekat dengan penyangga, situasi yang umum dalam skenario lentur di mana momen dan gaya geser paling tinggi. Gradien warna dari biru ke merah mengindikasikan variasi tingkat tegangan, dengan

tegangan tertinggi terjadi di daerah tengah karena gaya yang diterapkan, dan menurun ke arah ujung.

Implikasi untuk desain mencakup pemilihan material yang mampu menahan tegangan *Von Mises* maksimum tanpa mengalami *yield*, dengan kekuatan *yield* material yang harus lebih tinggi daripada tegangan maksimum yang teridentifikasi. Selain itu, jika tingkat tegangan terlalu tinggi, modifikasi desain mungkin diperlukan, seperti perubahan geometri untuk mengurangi konsentrasi tegangan atau penyesuaian kondisi penyangga untuk mendistribusikan beban dengan lebih baik. Kesimpulannya, analisis tegangan *Von Mises* memberikan wawasan penting tentang integritas struktural komponen, yang memungkinkan insinyur untuk membuat keputusan yang tepat mengenai pemilihan material, optimasi desain, dan pertimbangan keselamatan guna memastikan komponen berfungsi dengan andal di bawah kondisi pembebanan yang diberikan.

B. Simulasi *crashbox* dengan satu titik tumpuan dan beban 55kg

Berikut adalah hasil tegangan *von mises* untuk satu titik tumpuan dan beban 55kg.



Gambar 10 Hasil Simulasi Crashbox Dengan Beban 55kg

Pada Gambar 10 menampilkan hasil analisis tegangan *Von Mises* pada sebuah komponen yang menyerupai pegangan atau dudukan, yang merupakan metode umum dalam rekayasa untuk memprediksi titik kegagalan material akibat tegangan. Analisis ini menunjukkan distribusi tegangan *Von Mises*, yaitu nilai skalar yang dihitung dari tensor tegangan, yang memberikan prediksi yang baik tentang kapan material duktail akan mulai mengalami luluh. Satuan yang digunakan dalam analisis ini adalah Mega Pascal (MPa), dengan skala warna yang menunjukkan rentang tegangan dari 0,002 MPa (biru) hingga 1,12 MPa (merah).

Distribusi tegangan terlihat jelas dalam gambar 10, di mana area merah menunjukkan tegangan tertinggi dan merupakan area yang paling mungkin mengalami kegagalan, terutama di bagian tengah komponen yang melengkung, bagian dalam lengkungan, dan di sekitar area yang tampak seperti lubang atau penampang yang berubah. Sementara itu, area biru menunjukkan tegangan terendah, yang menandakan bagian komponen yang paling aman dari kegagalan, termasuk bagian ujung komponen yang terhubung dengan bagian lain seperti penyangga atau pegangan.

Bentuk komponen yang melengkung dan memiliki perubahan penampang turut berkontribusi pada distribusi tegangan yang tidak merata, di mana lengkungan menyebabkan konsentrasi tegangan di bagian dalam dan perubahan penampang dapat menyebabkan tegangan terlokalisasi. Hasil analisis ini memiliki beberapa aplikasi, seperti evaluasi desain, di mana insinyur dapat menentukan apakah komponen cukup kuat untuk menahan beban yang diharapkan. Selain itu, optimasi desain dapat dilakukan dengan mengidentifikasi dan memodifikasi area dengan tegangan tinggi, misalnya dengan mengubah bentuk atau menambah material di area tersebut. Pemilihan material juga menjadi penting, terutama jika tegangan *Von Mises* melebihi kekuatan luluh material yang digunakan, sehingga material yang lebih kuat mungkin diperlukan. Analisis ini juga membantu dalam prediksi kegagalan, memungkinkan pemeliharaan preventif dengan

memprediksi kapan dan di mana komponen mungkin akan gagal. Kesimpulannya, gambar tersebut memberikan informasi berharga tentang distribusi tegangan pada komponen yang dapat digunakan untuk evaluasi, optimasi desain, pemilihan material, dan prediksi potensi kegagalan komponen.

Tabel 1 Tegangan Von Mises pada Berbagai Desain Crashbox

Desain Crashbox	Beban (kg)	Tegangan Maksimum (Mpa)	Tegangan Minimum (Mpa)
Lurus	25	1.819	0
Lurus	55	4.402	0
Ganda	25	1.263	0
Ganda	55	2.780	0
Lengkung	25	0.5093	0
Lengkung	55	1.120	0



Gambar 11 Grafik Tegangan Von Mises pada Berbagai Desain Crashbox

Pada gambar 11 Grafik menunjukkan hubungan antara beban yang diterapkan dan tegangan *von Mises* pada tiga jenis desain *crashbox*: lurus, ganda, dan lengkung. Terlihat bahwa seiring bertambahnya beban, tegangan *von Mises* pada ketiga desain ini meningkat secara linier. Dari ketiga desain tersebut, *crashbox* lurus memiliki tegangan *von Mises* tertinggi, menunjukkan bahwa materialnya mengalami tegangan yang lebih besar di bawah beban. *Crashbox* ganda menunjukkan tegangan menengah, lebih tinggi dari *crashbox* lengkung namun lebih rendah dari *crashbox* lurus. *Crashbox* lengkung memiliki tegangan *von Mises* terendah, menunjukkan bahwa desain ini mampu menahan beban dengan tegangan yang lebih rendah, yang mungkin berarti desain ini lebih efisien dalam meredam energi atau lebih tahan terhadap deformasi. Keseluruhan grafik ini memberikan wawasan penting dalam memilih desain *crashbox* yang optimal berdasarkan kebutuhan spesifik, seperti ketahanan terhadap tegangan atau efisiensi penyerapan energi.

Grafik yang ditampilkan menunjukkan hubungan antara Tegangan *von Mises* (dalam satuan MPa) dan Beban (dalam satuan kilogram) pada tiga desain *crashbox* yang berbeda, yaitu desain Lurus, desain Ganda, dan desain Lengkung. Pada sumbu X (*horizontal*), beban yang diaplikasikan pada *crashbox* berkisar antara 25 kg hingga 55 kg,

sementara sumbu Y (*vertikal*) menunjukkan tegangan *von Mises* yang terjadi pada *crashbox* dalam satuan MPa, sebagai indikator seberapa besar tegangan yang diterima material *crashbox* saat beban diaplikasikan.

Garis kuning dengan titik bulat pada grafik menunjukkan tegangan *von Mises* pada *Crashbox* Lurus, yang memiliki tegangan tertinggi di antara ketiga desain *crashbox* yang diuji, dengan nilai tegangan yang meningkat seiring bertambahnya beban. Garis oranye dengan titik bulat menunjukkan tegangan *von Mises* pada desain Ganda, yang memiliki tegangan di bawah desain lurus namun di atas desain lengkung, menunjukkan performa tegangan menengah. Garis merah muda dengan titik bulat menunjukkan tegangan *von Mises* pada desain Lengkung, dengan nilai tegangan terendah di antara ketiga desain *crashbox*, menunjukkan bahwa desain lengkung mengalami tegangan yang paling kecil saat beban diaplikasikan.

Secara keseluruhan, ketiga desain *crashbox* menunjukkan peningkatan tegangan *von Mises* yang konsisten seiring dengan meningkatnya beban, menunjukkan bahwa semakin besar beban yang diaplikasikan, semakin besar tegangan yang dihasilkan pada material *crashbox*. Dari ketiga desain tersebut, desain Lurus cenderung memiliki tegangan *von Mises* paling tinggi, diikuti oleh desain Ganda, dan terakhir desain Lengkung yang memiliki tegangan terendah. Ini menunjukkan bahwa desain Lurus lebih rentan terhadap tegangan tinggi saat diberi beban, sementara desain Lengkung tampaknya memiliki ketahanan terbaik terhadap tegangan dengan nilai tegangan yang paling rendah, menunjukkan potensi untuk meredam energi lebih efektif atau menahan beban dengan lebih sedikit deformasi. Grafik ini dapat digunakan untuk menentukan desain *crashbox* yang paling optimal berdasarkan kebutuhan spesifik, seperti kebutuhan akan daya tahan terhadap tegangan atau kemampuan meredam energi.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa desain *crashbox* yang paling optimal untuk digunakan dalam mobil hemat energi adalah desain lengkung. Dari hasil simulasi menggunakan perangkat lunak *Autodesk Inventor* dengan beban statis 25kg dan 55kg, desain lengkung terbukti memiliki tegangan maksimum terendah, yaitu 0.5093 MPa pada beban 25kg dan 1.120 MPa pada beban 55kg. Ini menunjukkan bahwa desain lengkung mampu mendistribusikan tegangan secara lebih merata, mengurangi risiko deformasi plastis, dan meningkatkan keandalan struktural dibandingkan dengan desain lurus dan ganda. Desain lurus, dengan tegangan maksimum yang mencapai 4.402 MPa pada beban 55kg, menunjukkan risiko deformasi plastis yang lebih besar, sementara desain ganda dengan tegangan maksimum 2.780 MPa pada beban yang sama menunjukkan performa yang lebih baik, tetapi masih di bawah desain lengkung. Oleh karena itu, dalam konteks mobil hemat energi yang mengutamakan efisiensi dan keselamatan, desain lengkung dianggap paling efektif dalam menekan tegangan maksimum, sehingga dapat mengurangi risiko kegagalan struktural dan meningkatkan keselamatan penumpang.

REFERENSI

- Agus Choiron, Moch., B. Darmadi, D., & Rahmaddian Anwari, B. (2015). Analisis Penyerapan Energi Dan Pola Deformasi Crash Box Dengan Variasi Sudut Tirus Dinding Crash Box Pada Uji Simulasi Tabrakan Arah Frontal. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 6(1), 75–83. <https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2015.006.01.11>
- Akbar, M., Rizky, I., Putrawani, E., Rosa, D., Cupu, P., Mesin, J. T., Teknik, F., Riau, U., & Subrantas, J. H. R. (2020). *Analisis Kapasitas Penyerapan Energi Crash Box dengan Variasi Geometri Penampang dan Jumlah Silinder Menggunakan Metode Elemen Hingga* (Issue SNTIKI).

- Fakhri, I. M., & Sukarnoto, T. (2023). Analisis Chassis Mobil Hemat Energi Untuk Kontes KMHE Tipe Prototype Team HMM USAKTI. *JURNAL PENELITIAN DAN KARYA ILMIAH LEMBAGA PENELITIAN UNIVERSITAS TRISAKTI*, 330–336.
- Fransisco, R., Afandi, S., & Rabeta, B. (2016). Analisis Numerik Efek Tumbukan dan Pola Deformasi Crash Box Berbentuk Origami. *Jurnal Teknologi Kedirgantaraan*, 5(1), 55–60. <https://doi.org/10.35894/jtk.v5i1.424>
- Isworo, H., Ghofur, A., Cahyono, G. R., & Riadi, J. (2019). ANALISIS DISSPLACEMENT PADA CHASSIS MOBIL LISTRIK WASAKA. *ELEMEN : JURNAL TEKNIK MESIN*, 6(2), 94. <https://doi.org/10.34128/je.v6i2.103>
- Ramadhana, R. F. (2024). *ANALISIS PEMBEBANAN PADA DESAIN CHASSIS PROTOTYPE MOBIL LISTRIK HEMAT ENERGI MENGGUNAKAN SOFTWARE AUTODESK INVENTOR 2019*.
- Setiawan, B. R. (2020). *PERANCANGAN DESIGN CHASSIS KENDARAAN MOBIL HEMAT ENERGI “HAIZUM” SKRIPSI*.
- Sukmayadi, A., Riyadi, S., & Witaradya, S. (2023). *PEDOMAN KONTES MOBIL HEMAT ENERGI TAHUN 2023*.
- Sutra Perdana, F., Akbar, A., Mahmudi, H., & Mesin, T. (2022). *Analisa Kekuatan Material Bahan dan Rangka Alat Pengguling Sapi Berbobot 1.2 Ton Menggunakan Software Autodesk Inventor*.
- Tawaf, N., & Asroni. (2019). ANALISA DEFORMASI CRASH BOX DENGAN VARIASI DIAMETER DENGAN SIMULASI SOFTWARE ANSYS 14.5. *Jurnal Riset Kajian Teknologi Dan Lingkungan*, 2(2), 106–117.
- Wirawan, W., Aghastya, A., Astuti, S. W., Rachman, N. F., Suprpto, S., & Purwantiningsih, Y. T. (2021). Pemodelan Simulasi Tabung Penyerap Energi Crash Box Sebagai Teknologi Keselamatan Pasif Berbasis Software FEM (Finite Elemen Methode). *Prosiding Seminar Nasional Sains Teknologi Dan Inovasi Indonesia (SENASTINDO)*, 3, 33–40. <https://doi.org/10.54706/senastindo.v3.2021.124>