

Finite Element-Based Parametric Design Optimization of a Heavy-Duty Truck Inner Chassis Retarder Bracket Using Fillet Radius and Thickness Modification

Nicky Yongkimandalan^{1*}, Mochammad Dwi Julianto²

^{1,2}Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, UPN Veteran Jakarta
Jl. Rs. Fatmawati. Pondok Labu, Jakarta Selatan, DKI Jakarta, Indonesia.

*Corresponding author: nickyongkimandalan@upnvj.ac.id

Abstract

The inner chassis retarder bracket is a critical structural component in heavy-duty truck braking systems that transfers braking loads from the electromagnetic retarder to the vehicle chassis. Excessive stress concentration in this component may reduce structural reliability and increase the risk of failure during operation. Although finite element analysis (FEA) has been widely applied to optimize automotive brackets, studies focusing on the parametric optimization of heavy-duty inner chassis retarder brackets through local geometric modification remain limited. This study aims to optimize the structural performance of the right-side inner chassis retarder bracket by investigating the effects of fillet radius and bracket thickness using finite element analysis. Three fillet radius (5, 10, 15, and 20 mm) and thickness levels 10 mm and 16 mm were evaluated for two candidate materials, ASTM A36 structural steel and GGG60 ductile cast iron, resulting in eighteen design configurations. Static structural simulations were performed using ANSYS Workbench 2022 R1 under combined gravitational and retarder torque loading. Structural performance was assessed based on equivalent (von Mises) stress, total deformation, and safety factor. The optimum configuration was obtained using a 15 mm fillet radius and a 16 mm bracket thickness. Compared with the initial design, this configuration reduced the maximum von Mises stress by 62.90% for ASTM A36 steel and 66.01% for GGG60, while decreasing the maximum deformation by 61.19% and 54.91%, respectively. The corresponding minimum safety factor increased by 169.62% for ASTM A36 steel and 335.47% for GGG60, indicating a substantial improvement in structural reliability. These results demonstrate that localized geometric optimization combined with appropriate material selection effectively improves the structural performance of heavy-duty retarder brackets without requiring major modifications to the overall component geometry.

Keywords: inner chassis retarder bracket, finite element analysis, parametric design optimization, von mises stress, safety factor.

Abstrak

Bracket retarder inner chassis merupakan komponen struktural penting pada sistem pengereman kendaraan berat yang berfungsi mentransfer beban pengereman dari *electromagnetic retarder* ke rangka kendaraan. Konsentrasi tegangan yang tinggi pada komponen ini berpotensi menurunkan keandalan struktur dan meningkatkan risiko kegagalan selama operasi. Meskipun Metode Elemen Hingga (*Finite Element Analysis*, FEA) telah banyak digunakan untuk mengoptimasi berbagai jenis bracket otomotif, penelitian yang secara khusus membahas optimasi parametrik bracket retarder *inner chassis* melalui modifikasi geometri lokal masih sangat terbatas. Penelitian ini bertujuan mengoptimalkan kinerja struktural bracket retarder *inner chassis* sisi kanan dengan mengevaluasi pengaruh variasi radius *fillet* dan ketebalan bracket menggunakan Metode Elemen Hingga. Variasi radius *fillet* sebesar 5, 10, 15, dan 20 mm serta variasi ketebalan 10 mm dan 16 mm diterapkan pada dua material, yaitu baja ASTM A36 dan besi cor ulet GGG60, sehingga diperoleh delapan belas konfigurasi desain. Simulasi struktur statik dilakukan menggunakan ANSYS Workbench 2022 R1 dengan kombinasi pembebanan berupa gaya gravitasi dan torsi retarder. Parameter evaluasi meliputi tegangan ekuivalen (*von Mises stress*), deformasi total, dan faktor keamanan (*safety factor*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa konfigurasi optimum diperoleh pada radius *fillet* 15 mm dan ketebalan bracket 16 mm. Dibandingkan desain awal, konfigurasi tersebut mampu menurunkan tegangan *von Mises* maksimum sebesar 62,90% pada material ASTM A36 dan 66,01% pada material GGG60. Deformasi maksimum juga menurun sebesar 61,19% untuk ASTM A36 dan 54,91% untuk GGG60. Selain itu, nilai *safety factor* minimum meningkat sebesar 169,62% pada ASTM A36 dan 335,47% pada GGG60, yang menunjukkan peningkatan keandalan struktur secara signifikan. Hasil penelitian membuktikan bahwa optimasi geometri lokal yang dipadukan dengan pemilihan material yang tepat mampu meningkatkan kinerja struktural bracket retarder kendaraan berat tanpa memerlukan perubahan besar pada geometri keseluruhan komponen.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24127/trb.v15i1.4957>

Received 16 January 2026; Received in revised form 4 July 2026; Accepted 6 July 2026

Available online 7 July 2026



Kata kunci: *bracket* retarder inner chassis, metode elemen hingga, optimasi desain parametrik, tegangan von Mises, faktor keamanan.

1. Pendahuluan

Transportasi darat berperan penting dalam mendukung distribusi logistik dan mobilitas barang pada sektor industri. Kendaraan niaga berat (*heavy-duty truck*) membutuhkan sistem pengereman yang andal karena selama beroperasi, terutama pada jalan menurun dengan muatan penuh, rem utama menerima beban termal dan mekanik yang tinggi. Kondisi ini dapat menyebabkan *brake fading*, mempercepat keausan komponen rem, dan meningkatkan risiko kegagalan pengereman apabila tidak didukung oleh sistem pengereman tambahan (*auxiliary braking system*) [19]–[23].

Salah satu *auxiliary braking system* yang banyak digunakan adalah *electromagnetic retarder*, yang menghasilkan gaya pengereman melalui induksi elektromagnetik tanpa kontak mekanis. Sistem ini mampu mengurangi beban kerja rem utama, meningkatkan stabilitas kendaraan, menurunkan temperatur pengereman, serta memperpanjang umur pakai kampas rem. Perkembangan teknologi juga menunjukkan integrasi sistem elektromagnetik dan hidraulik untuk meningkatkan performa pengereman kendaraan niaga berat [19], [20], [22], [23].

Beban dari *electromagnetic retarder* diteruskan ke rangka kendaraan melalui *inner chassis retarder bracket*, yaitu komponen yang menopang retarder dan mentransfer beban gravitasi, gaya inersia, serta torsi pengereman ke *chassis*. Oleh karena itu, komponen ini harus memiliki kekuatan, kekakuan, dan faktor keamanan yang memadai agar mampu mempertahankan integritas struktur selama masa operasi. Kegagalan *bracket* dapat menyebabkan konsentrasi tegangan, deformasi berlebih, hingga menurunkan keandalan sistem pengereman [1], [2], [8], [10].

Dalam pengembangan komponen otomotif, FEA telah menjadi metode yang banyak digunakan untuk mengevaluasi distribusi tegangan, deformasi, dan faktor keamanan sebelum proses manufaktur. Metode ini mampu mengurangi biaya dan waktu pengembangan produk serta memungkinkan evaluasi berbagai alternatif desain tanpa memerlukan prototipe fisik pada setiap tahap perancangan [13], [14], [18].

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa FEA efektif digunakan untuk mengoptimal-

kan berbagai komponen struktural otomotif. Modifikasi geometri pada *engine mounting bracket* mampu meningkatkan kekuatan struktur [1], [2], sedangkan optimasi pada *leaf spring bracket*, *vehicle anchor bracket*, *support bracket*, dan *caliper bracket* berhasil menurunkan konsentrasi tegangan, meningkatkan faktor keamanan, dan mengurangi massa komponen [3]–[12]. Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada *topology optimization* atau *shape optimization* pada berbagai jenis *bracket* tersebut, sedangkan kajian mengenai *inner chassis retarder bracket* masih sangat terbatas. Selain itu, pengaruh kombinasi radius *fillet* dan ketebalan *bracket* terhadap distribusi tegangan, deformasi, dan faktor keamanan belum banyak dikaji secara komprehensif. Penelitian yang membandingkan kinerja dua material struktural, yaitu ASTM A36 dan GGG60, pada konfigurasi geometri yang sama juga masih sangat terbatas, padahal meningkatnya penggunaan *electromagnetic retarder* menyebabkan pembebanan pada *inner chassis retarder bracket* menjadi semakin kompleks [19], [20], [22], [23].

Berdasarkan kajian tersebut, terdapat tiga research gap utama, yaitu: (1) penelitian mengenai *inner chassis retarder bracket* masih terbatas dibandingkan *bracket* otomotif lainnya; (2) optimasi sebelumnya umumnya hanya mengevaluasi satu parameter desain, sedangkan kombinasi radius *fillet* dan ketebalan *bracket* belum banyak diteliti; serta (3) pengaruh kombinasi geometri dan material terhadap respons struktur belum dianalisis secara terpadu [1]–[12]. Penelitian ini mengusulkan optimasi parametrik berbasis FEA dengan mengombinasikan variasi radius *fillet*, ketebalan *bracket*, dan jenis material pada *inner chassis retarder bracket*. Evaluasi dilakukan menggunakan rancangan *full factorial* terhadap parameter tegangan von Mises, deformasi total, faktor keamanan, dan massa struktur untuk memperoleh konfigurasi desain optimum.

Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi radius *fillet* dan ketebalan *bracket* terhadap distribusi tegangan von Mises, deformasi total, dan faktor keamanan menggunakan metode FEA, membandingkan kinerja material ASTM A36 dan GGG60, serta menentukan konfigurasi desain optimum yang mampu meningkatkan keandalan struktur tanpa mening-

katkan massa komponen secara signifikan. Hasil penelitian diharapkan menjadi acuan dalam pengembangan desain *inner chassis retarder bracket* yang lebih aman, andal, dan efisien untuk kendaraan niaga berat.

2. Metode Penelitian

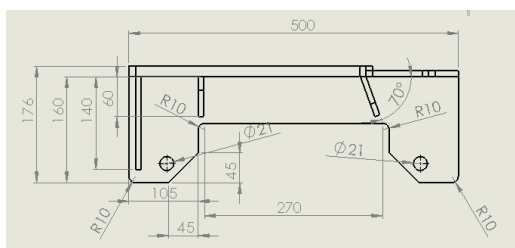
2.1 Diagram Alir Penelitian.

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis simulasi numerik dengan FEA untuk mengevaluasi pengaruh variasi parameter geometrik terhadap perilaku mekanik *inner chassis retarder bracket*.

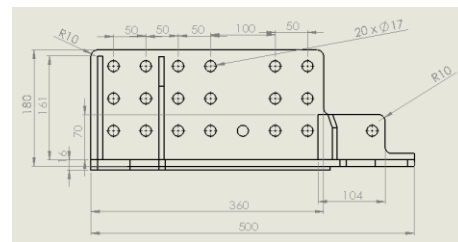
Tahapan penelitian dimulai dari identifikasi permasalahan, pembuatan model tiga dimensi, penentuan sifat material, penetapan kondisi batas (*boundary condition*), proses *meshing*, simulasi statik menggunakan ANSYS Workbench, analisis hasil simulasi, hingga penentuan konfigurasi desain optimum. Seluruh tahapan penelitian disusun secara sistematis agar setiap variasi parameter dapat dievaluasi menggunakan prosedur yang sama sehingga hasil simulasi dapat dibandingkan secara objektif [13], [14], [18].

2.2 Geometri Model.

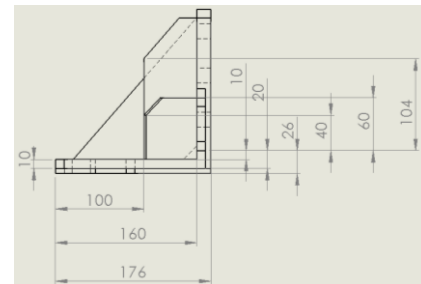
Objek penelitian adalah *inner chassis retarder bracket* sisi kanan yang berfungsi sebagaiudukan struktural *electromagnetic retarder* pada kendaraan niaga berat. Model tiga dimensi (*3D CAD*) diperoleh dari data desain aktual dan selanjutnya disederhanakan tanpa mengubah karakteristik geometri utama yang memengaruhi distribusi tegangan. Penyederhanaan dilakukan dengan menghilangkan fitur-fitur kecil seperti *chamfer*, ulir baut, dan detail nonstruktural agar proses komputasi menjadi lebih efisien tanpa memengaruhi hasil analisis secara signifikan [18]. Model geometri yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.



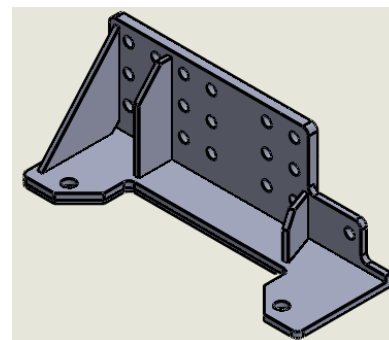
(a)



(b)



(c)



Gambar 1. Desain awal Bracket Retarder Inner Chassis; (a) Tampak Atas, (b) Tampak Depan, (c) Tampak Samping, dan (d) Tampak Isometri

2.3 Material.

Penelitian menggunakan dua jenis material, yaitu ASTM A36 merupakan material awal yang digunakan pada *Bracket Retarder Inner Chassis* dan material alternatif yang digunakan untuk optimasi adalah GGG 60. Data properti kedua material tersebut dapat dilihat pada Tabel 1. Pemilihan kedua material tersebut didasarkan pada karakteristik mekanik yang berbeda sehingga dapat dibandingkan pengaruhnya terhadap distribusi tegangan, deformasi, dan faktor keamanan *bracket*.

Tabel 1. Data properti material

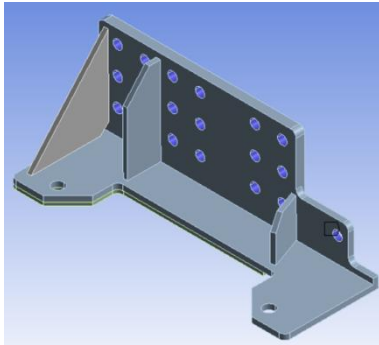
Properti	A36	GGG60
Modulus Elastisitas (Mpa)	200000	170000
Yield strength (Mpa)	250	370
Density (Kg/m ³)	7800	7200
Poisson ratio	0,32	0,21

2.4 Boundary Condition.

Analisis dilakukan menggunakan simulasi *Static Structural* pada ANSYS Workbench. Model menerima kondisi batas berupa:

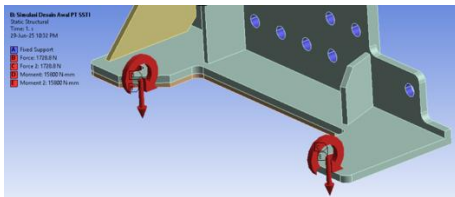
a) *Fixed Support*

Diberikan pada seluruh permukaan baut pengikat *bracket* terhadap chassis. Dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Posisi *fixed support*

b) Pembebanan terdiri atas gaya gravitasi, berat *retarder*, dan torsi pengereman. Dapat dilihat pada gambar 3.

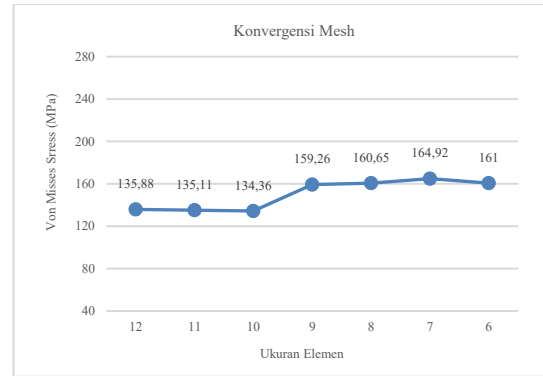


Gambar 3. Posisi pembebanan pada *bracket*

Kondisi batas tersebut disusun agar mendekati kondisi operasi aktual kendaraan sehingga distribusi tegangan yang diperoleh dapat merepresentasikan perilaku struktur secara realistis [18].

2.5 Mesh Convergence.

Untuk menjamin bahwa hasil simulasi tidak dipengaruhi oleh ukuran elemen, dilakukan uji konvergensi *mesh* dengan beberapa variasi ukuran elemen. Uji Konvergensi *Mesh* dilakukan pada proses *Meshing* dengan menggunakan parameter *skewness* untuk memperoleh kualitas *Mesh* yang baik. *Range* variasi ukuran *mesh* dibuat dari ukuran 6 mm sampai 12 mm dengan interval 1 mm. Hasil uji konvergen ini dapat dilihat pada grafik gambar 4.



Gambar 4. Grafik uji konvergensi mesh

Berdasarkan hasil konvergensi *mesh* pada gambar 4, ukuran mesh yang digunakan adalah 8 mm dengan pertimbangan jumlah elemen yang dihasilkan, *skewness average*, dan waktu komputasi. Jumlah elemen yang diperoleh sebesar 10565 dan *nodes* sebesar 21332. *Error* yang dimiliki oleh elemen ini sebesar 0,873. Selain itu, ukuran *skewness average* yang diperoleh adalah sebesar 0,42384, yang mana berdasarkan gambar 2.10, *skewness average* tersebut termasuk ke dalam kategori sangat baik (*very good*).

2.6 Variabel Penelitian.

Variabel bebas penelitian ini adalah *radius fillet* dan ketebalan *bracket*. Variabel terikat adalah *von mises stress*, *total deformation* dan *safety factor*. Sedangkan variabel kontrol penelitian adalah beban (176,226 Kg), material (A36 steel dan GGG60) dan *boundary condition*.

2.7 Parameter Evaluasi.

Parameter yang dievaluasi meliputi *von mises stress*, *total deformation*, *safety factor* dan *massa*. Parameter tersebut dipilih karena mewakili kekuatan, kekakuan, keamanan, dan efisiensi struktur sesuai teori mekanika material [16], [17].

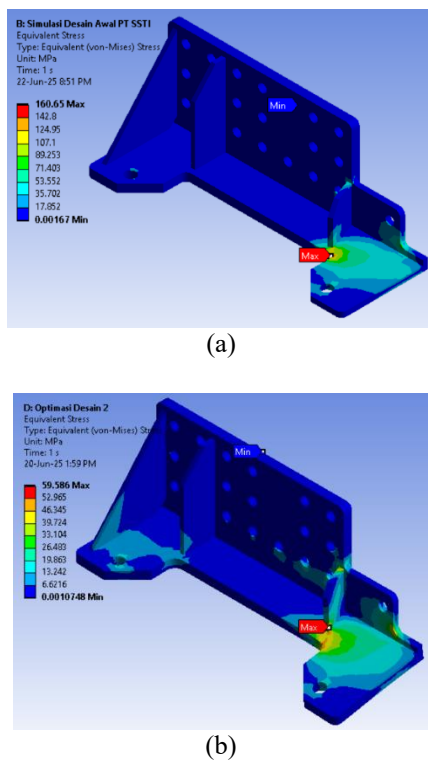
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Distribusi Tegangan Von Mises

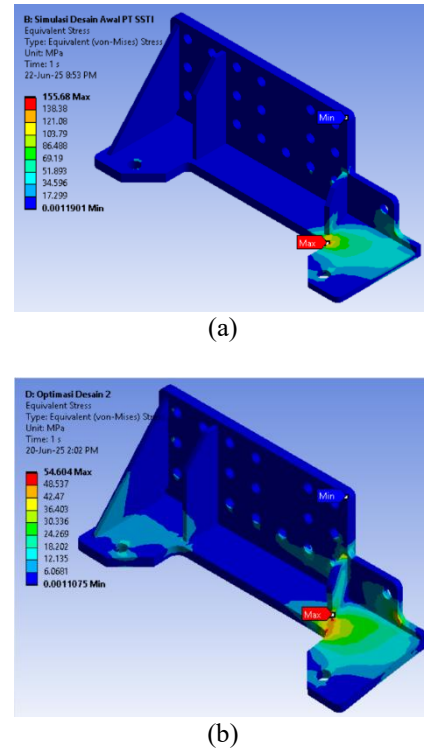
Distribusi tegangan *von Mises* digunakan untuk mengevaluasi kemampuan *inner chassis retarder bracket* dalam menahan pembebanan selama kondisi operasi. Berdasarkan teori energi distorsi (*distortion energy theory*), tegangan *von Mises* merupakan parameter yang umum digunakan untuk memprediksi kegagalan material ulet dan menentukan tingkat keamanan struktur [16], [17].

Distribusi tegangan hasil simulasi pada desain awal dan desain hasil optimasi (diambil contoh hasil optimasi 2) ditunjukkan pada Gambar 5 untuk material A36 dan Gambar 6 untuk material GGG60, sedangkan rekapitulasi nilai tegangan maksimum untuk seluruh variasi desain (radius fillet dan ketebalan) disajikan pada Tabel 2. Berdasarkan hasil simulasi, tegangan maksimum terkonsentrasi pada daerah radius *fillet* dan lubang baut, yaitu lokasi yang mengalami perubahan penampang sehingga terjadi konsentrasi tegangan.

Setelah dilakukan optimasi geometri, distribusi tegangan menjadi lebih merata dan nilai tegangan maksimum menurun. Penurunan ini disebabkan oleh peningkatan radius *fillet* yang menghasilkan transisi geometri lebih halus sehingga mengurangi konsentrasi tegangan, sedangkan penambahan ketebalan meningkatkan luas penampang efektif dan kekakuan struktur [16], [17].



Gambar 5. Distribusi tegangan *von Mises* material A36 pada (a) desain awal dan (b) desain hasil optimasi 2.



Gambar 6. Distribusi tegangan *von Mises* material GGG60 pada (a) desain awal dan (b) desain hasil optimasi 2.

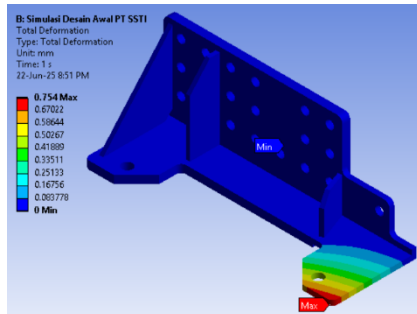
Tabel 2. Rekapitulasi nilai tegangan maksimum terhadap seluruh varian desain

Desain	Radius Fillet (mm)	Ketebalan (mm)	Tegangan Maksimum (Mpa)	
			Material A36	Material GGG60
Awal	10	10	160,650	155,680
Optimasi 1	5	16	97,293	91,257
Optimasi 2	15	16	59,586	54,604
Optimasi 3	20	16	59,976	54,986

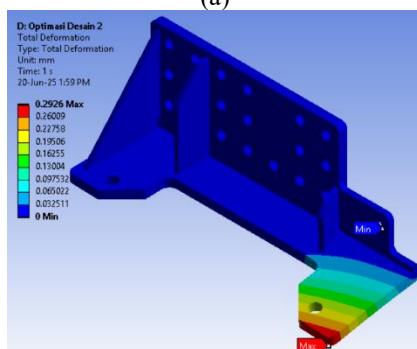
3.2 Analisis Deformasi Total

Deformasi total digunakan untuk mengevaluasi kekakuan (*stiffness*) *inner chassis retarder bracket* terhadap pembebanan yang diberikan. Distribusi deformasi hasil simulasi pada desain awal dan desain hasil optimasi (diambil contoh hasil optimasi 2) ditunjukkan pada Gambar 7 untuk material A36 dan Gambar 8 untuk material GGG60. Sedangkan rekapitulasi nilai tegangan maksimum untuk seluruh variasi desain (radius fillet dan ketebalan) disajikan pada Tabel 3. Hasil simulasi menunjukkan bahwa peningkatan radius *fillet* dan ketebalan *bracket* menurunkan deformasi total akibat meningkat-

nya kekakuan struktur dan distribusi tegangan yang lebih merata. Penambahan ketebalan meningkatkan momen inersia penampang sehingga kemampuan struktur menahan pembebanan menjadi lebih baik [16], [17].

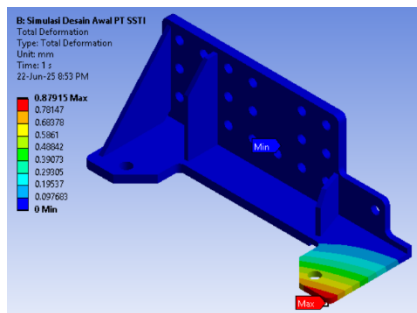


(a)

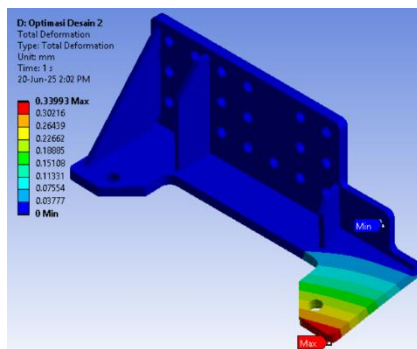


(b)

Gambar 7. Hasil deformasi material A36 pada (a) desain awal dan (b) desain hasil optimasi 2.



(a)



(b)

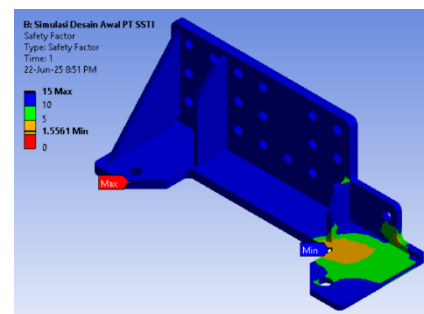
Gambar 8. Hasil deformasi material GGG60 pada (a) desain awal dan (b) desain hasil optimasi 2.

Tabel 3. Rekapitulasi nilai deformasi terhadap seluruh varian desain

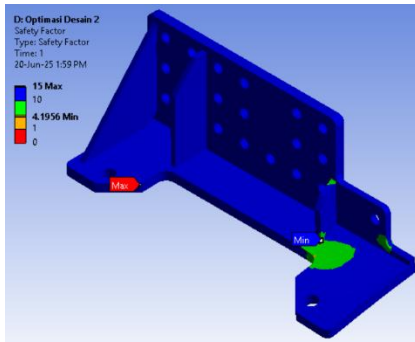
Desain	Radius Fillet (mm)	Ketebalan (mm)	Nilai Deformasi (mm)	
			Material A36	Material GGG60
Awal	10	10	0,7540	0,8792
Optimasi 1	5	16	0,3653	0,4237
Optimasi 2	15	16	0,2926	0,3399
Optimasi 3	20	16	0,2889	0,3359

3.3 Analisis Safety Factor

Safety Factor digunakan untuk mengevaluasi tingkat keamanan *inner chassis retarder bracket* terhadap pembebanan yang diberikan. Nilai ini diperoleh dari perbandingan antara kekuatan luluh (*yield strength*) material dengan tegangan *von Mises* yang terjadi, sehingga semakin tinggi nilai *Safety Factor*, semakin aman struktur terhadap potensi kegagalan [16], [17]. Distribusi *Safety Factor* pada desain awal dan desain hasil optimasi (diambil contoh hasil optimasi 2) ditunjukkan pada Gambar 9 untuk material A36 dan Gambar 10 untuk material GGG60. Sedangkan rekapitulasi nilai tegangan maksimum untuk seluruh variasi desain (radius fillet dan ketebalan) disajikan pada Tabel 4.

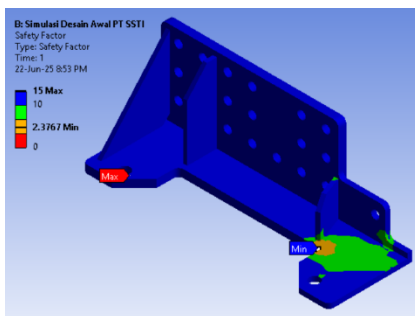


(a)

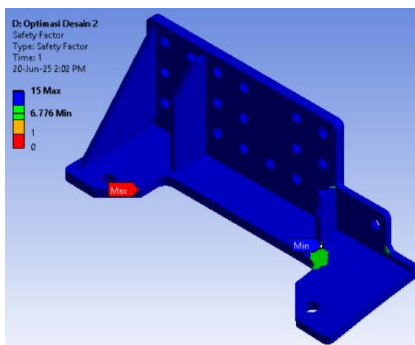


(b)

Gambar 9. Hasil *safety factor* A36 pada (a) desain awal dan (b) desain hasil optimasi 2.



(a)



(b)

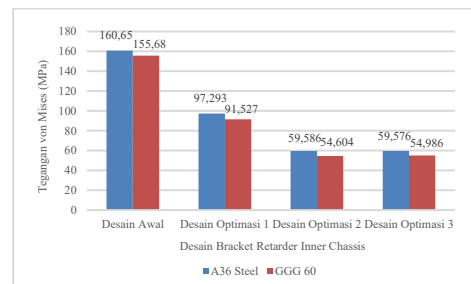
Gambar 10. Hasil *safety factor* GGG60 pada (a) desain awal dan (b) desain hasil optimasi 2.

Tabel 4. Rekapitulasi nilai *safety factor* terhadap seluruh varian desain

Desain	Radius Fillet (mm)	Ketebalan (mm)	Nilai <i>Safety Factor</i>	
			Material A36	Material GGG60
Awal	10	10	1,5561	2,3767
Optimasi 1	5	16	2,5696	4,0425
Optimasi 2	15	16	4,1956	6,7760
Optimasi 3	20	16	4,1684	6,7289

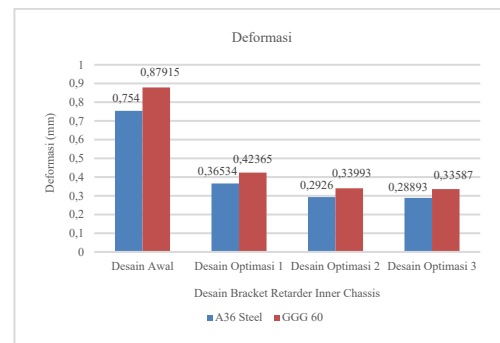
3.4 Perbandingan Kinerja Material ASTM A36 dan GGG60

Pengaruh jenis material terhadap respons struktur dievaluasi menggunakan ASTM A36 dan GGG60 pada seluruh konfigurasi desain. Perbandingan hasil simulasi meliputi tegangan *von Mises*, deformasi total, dan faktor keamanan. Rekapitulasi hasil tegangan *von mises* disajikan pada grafik gambar 11, hasil deformasi total disajikan pada grafik gambar 12, *safety factor* disajikan pada grafik gambar 13.

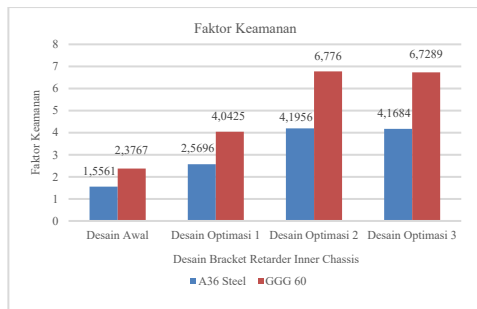


Gambar 11. Perbandingan nilai tegangan von mises

Hasil simulasi menunjukkan bahwa kedua material menghasilkan pola distribusi tegangan yang relatif serupa karena memiliki geometri, kondisi batas, dan pembebanan yang sama. Namun, perbedaan sifat mekanik memengaruhi deformasi dan *Safety Factor*. Material dengan kekuatan luluh dan kekakuan yang lebih tinggi memberikan deformasi yang lebih kecil serta *Safety Factor* yang lebih besar [16], [17].



Gambar 12. Perbandingan nilai deformasi



Gambar 13. Perbandingan nilai *safety factor*

Temuan ini sejalan dengan penelitian Bildirici [1], Celik *et al.* [2], dan Zaidani dan Mas'ud [10], yang menunjukkan bahwa karakteristik material berpengaruh terhadap respons struktur selain faktor geometri.

3.5 Penentuan Konfigurasi Desain Optimum

Penentuan konfigurasi desain optimum dilakukan berdasarkan evaluasi menyeluruh terhadap hasil simulasi FEA dengan mempertimbangkan tiga parameter utama, yaitu tegangan *von Mises*, deformasi total, dan *safety factor*. Ketiga parameter tersebut dipilih karena mewakili aspek kekuatan, kekakuan, keamanan, dan efisiensi penggunaan material dalam perancangan komponen struktural [16], [17]. Seluruh konfigurasi desain dievaluasi menggunakan kombinasi variasi radius *fillet*, ketebalan *bracket* dan jenis material, kemudian dibandingkan untuk memperoleh konfigurasi yang memberikan performa struktural terbaik.

Berdasarkan hasil simulasi pada Tabel 2, Tabel 3, dan Tabel 4, konfigurasi desain optimasi 2 dengan radius *fillet* 15 mm dan ketebalan *bracket* 16 mm menunjukkan kinerja paling baik dibandingkan desain awal maupun konfigurasi optimasi lainnya. Konfigurasi ini menghasilkan tegangan *von mises* yang lebih rendah, deformasi yang kecil, serta *safety factor* yang lebih tinggi pada kedua material yang diuji. Meskipun desain optimasi 3 memberikan deformasi yang sedikit lebih rendah, penurunan tersebut relatif kecil dibandingkan peningkatan tegangan dan penurunan *safety factor* yang terjadi. Oleh karena itu, desain optimasi 2 dipilih sebagai konfigurasi optimum karena memberikan keseimbangan terbaik antara kekuatan struktur, kekakuan, dan tingkat keamanan.

Secara mekanika material, peningkatan radius *fillet* mengurangi konsentrasi tegangan pada daerah perubahan penampang, sedangkan penambahan ketebalan meningkatkan kekakuan struktur sehingga distribusi beban menjadi lebih

merata [16], [17]. Hasil ini menunjukkan bahwa optimasi geometri lokal mampu meningkatkan performa struktural tanpa memerlukan perubahan konfigurasi utama *inner chassis retarder bracket*. Temuan tersebut juga sejalan dengan penelitian Bildirici [1], Celik *et al.* [2], Lang *et al.* [8], dan Wilujeng *et al.* [12], yang menyatakan bahwa optimasi geometri berbasis FEA merupakan pendekatan yang efektif untuk meningkatkan keandalan komponen struktural otomotif.

Berdasarkan keseluruhan hasil analisis, desain optimasi 2 direkomendasikan sebagai konfigurasi terbaik untuk *inner chassis retarder bracket* karena memberikan kompromi paling optimal antara penurunan tegangan *von Mises*, pengurangan deformasi, dan peningkatan *safety factor*. Konfigurasi ini diharapkan dapat meningkatkan keandalan struktur *electromagnetic retarder* pada kendaraan niaga berat serta menjadi acuan dalam pengembangan desain komponen sejenis pada penelitian selanjutnya.

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil menganalisis pengaruh variasi radius *fillet*, ketebalan *inner chassis retarder bracket*, dan jenis material menggunakan metode FEA. Hasil simulasi menunjukkan bahwa perubahan parameter geometri berpengaruh terhadap distribusi tegangan *von Mises*, deformasi total, dan *safety factor*. Berdasarkan evaluasi seluruh konfigurasi, desain optimasi 2 dengan radius *fillet* 15 mm dan ketebalan *bracket* 16 mm memberikan performa struktural terbaik karena menghasilkan tegangan dan deformasi yang lebih rendah serta *safety factor* yang lebih tinggi dibandingkan desain awal maupun konfigurasi optimasi lainnya, antara lain mampu menurunkan tegangan *von mises* maksimum sebesar 62,90% pada material ASTM A36 dan 66,01% pada material GGG60. deformasi maksimum juga menurun sebesar 61,19% untuk ASTM A36 dan 54,91% untuk GGG60. Selain itu, nilai *safety factor* minimum meningkat sebesar 169,62% pada ASTM A36 dan 335,47% pada GGG60. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa pemilihan material berpengaruh terhadap respons struktur, sehingga optimasi geometri dan material perlu dipertimbangkan secara bersamaan dalam perancangan *inner chassis retarder bracket*.

Penelitian ini menunjukkan bahwa optimasi parametrik berbasis FEA merupakan pendekatan yang efektif untuk meningkatkan

keandalan *inner chassis retarder bracket* tanpa mengubah konfigurasi utama sistem *electromagnetic retarder*. Temuan ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam pengembangan desain komponen struktural kendaraan niaga berat. Penelitian selanjutnya disarankan melakukan validasi eksperimental terhadap hasil simulasi serta mengembangkan analisis menggunakan pembebanan dinamis dan *fatigue analysis* untuk memperoleh evaluasi performa struktur yang lebih komprehensif.

Referensi

- [1] Bildirici, D., 2024. Failure analysis and design improvement of an aluminum engine mounting bracket using finite element method. *Engineering Failure Analysis* 158, 107061.
- [2] Celik, H. K. et al., 2021. Strength-based design analysis of a damaged engine mounting bracket designed for a commercial electric vehicle. *Journal of Failure Analysis and Prevention* 21(4), 1315–1322.
- [3] Dnyaneshwar, M. A. A., and Kelkar, M. S., 2020. Design and weight optimization of integrated super bracket according to stress analysis. *International Research Journal of Engineering and Technology* 7(8), 1517–1527.
- [4] Gunjawatte, S., and Solapur, S. B., 2020. Structural analysis and topology optimization of leaf spring bracket. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)* 9(6), 1448–1454.
- [5] Jeyaseelan, A. S., and Sivakumar, M., 2022. Modeling and finite element analysis of hydraulic tank mounting bracket structure for a dump truck. *International Journal of Advances in Engineering and Management* 4(1), 2802–2808.
- [6] Kaya, C., and Ermis, K., 2023. Topology optimization of leaf spring brackets in truck suspensions. *Journal of Engineering Research and Applied Science* 12(1), 2285–2290.
- [7] Kolhe, P., Patil, S., and Kulkarni, V., 2020. Finite element analysis and design optimization of automotive brackets. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences* 14(3), 7110–7122.
- [8] Lang, D., Li, Y., and Zhang, H., 2021. Design optimization of vehicle anchor brackets using finite element analysis. *Vehicle System Dynamics* 59(10), 1615–1630.
- [9] Ramesh, S., Praveen, K., and Kumar, R., 2020. Topology optimization and finite element analysis of a load-bearing bracket. *Cogent Engineering* 7(1), 1723821.
- [10] Zaidani, M., and Mas'ud, A., 2023. Stress analysis of suspension brackets on a 12-meter electric bus using the finite element method. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering* 20(2), 10345–10355.
- [11] Tristanto, D. A. et al., 2023. Analisis optimasi topologi desain support bracket pada steering main shaft mobil TITEN EV-2. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin* 12(1), 23–31.
- [12] Wilujeng, A. D. et al., 2024. Optimasi desain caliper bracket sebagai komponen struktural otomotif menggunakan metode elemen hingga. *Rekayasa Mesin* 15(2), 87–96.
- [13] Febrianto, A. et al., 2024. Analisis kualitas mesh dan pengaruhnya terhadap hasil simulasi metode elemen hingga pada struktur mekanik. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia* 19(1), 45–54.
- [14] Nurisa, R., and Tauviquirrahman, M., 2021. Studi konvergensi mesh pada analisis elemen hingga struktur berbeban statis. *Jurnal Teknik Mesin* 13(2), 101–109.
- [15] Putra, R. A., and Misbah, M., 2022. Analisis tegangan dan faktor keamanan bracket kendaraan menggunakan metode elemen hingga. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Mesin* 13(3), 145–153.
- [16] Beer, F. P. et al., 2015. *Mechanics of materials*, 7th Ed., McGraw-Hill Education, New York.
- [17] Budynas, R.G., and Nisbett, J.K., 2015 *Shigley's Mechanical Engineering De-*

- sign, 10th Ed., McGraw-Hill Education, New York.
- [18] Chen, X., and Liu, Y., 2018. Finite Element Modeling and Simulation with ANSYS Workbench, 2nd Ed., CRC Press, Boca Raton.
- [19] Ding, Z., Zhou, L., Xu, J., and Tong, J., 2023. Vehicle retarders: A review. *IEEE Access* 11, 102757–102767.
- [20] Dogan, I., 2021. Vehicle retarder systems. *European Journal of Science and Technology, Special Issue*, 138–145.
- [21] Pandey, S.N., Khaliq, A., Zaka, M.Z., Saleem, M.S., and Afzal, M., 2015. Retarder used as braking system in heavy vehicles: A review. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research* 4(2), 86–91.
- [22] Zhang, K., Shang, H., Xu, J., Niu, J., and Yue, Y., 2023. Testing and performance analysis of an integrated electromagnetic and hydraulic retarder for heavy-duty vehicles. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 126, 106906.
- [23] Song, P., Wang, Y., et al., 2025. Design of constant speed controller for hydraulic retarder based on nonlinear model predictive control. *Applied Sciences* 15(13), 7058.