

Perancangan Modifikasi Upper Arm Suspensi Belakang Honda Civic 2001 – 2005 dengan Autodesk Inventor

Syaukaty Yasinta^{*1}, Mascuk Susilo², Sigit Arrohman³, Imam Mahfud Hanafi⁴,
Muhammad Luqman Saiful Fikri⁴, Bambang Surono⁵, Mafruddin⁵

¹Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Purwokerto
Jl. KH. Ahmad Dahlan, Dusun III, Dukuhwaluh, Kec. Kembaran, Kabupaten Banyumas,
Jawa Tengah 53182.

²Jurusan Teknik Mesin, Universitas Nahdlatul Ulama Surakarta
Jl. Dr. Wahidin No.5, Penumping, Kec. Laweyan, Kota Surakarta, Jawa Tengah 571411.

³Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jendral Soedirman
Jl. Raya Mayjen Sungkono No.KM 5, Dusun 2, Blater, Kec. Kalimanah, Kabupaten
Purbalingga, Jawa Tengah 53371.

⁴Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Global
Jakarta
Jl. Boulevard Grand Depok City, Tirtajaya, Kec. Sukmajaya, Kota Depok, Jawa Barat 16412

⁵Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Metro
Jl. Ki Hajar Dewantara No. 116, Iringmulyo, Metro Timur, Kota Metro, Lampung 34111

*Corresponding author: svasinta@ump.ac.id

Abstract

This study aims to evaluate the structural strength and comfort characteristics of a standard rear upper arm suspension component subjected to operational loads and shocks. The loading conditions are determined based on vehicle dimensions, curb weight, and gross vehicle weight. The analysis is performed using the Finite Element Analysis (FEA) method, implemented through Autodesk Inventor software, which facilitates three-dimensional modeling and numerical simulation of the upper arm structure. The simulation focuses on determining the von Mises stress distribution, displacement, and safety factor under static loading conditions. The results show that the upper arm made of A812 alloy steel exhibits a maximum von Mises stress of 0.0501307 MPa, a maximum displacement of 0.0000960669 mm, and a safety factor of 12. Meanwhile, the carbon steel A284 material shows a maximum von Mises stress of 0.0501812 MPa, a maximum displacement in the Y-direction of 0.000109716 mm, and a safety factor of 15. These results indicate that both materials operate well below their allowable stress limits, with carbon steel A284 providing a higher safety factor, making it a suitable candidate for improving the structural reliability of the upper arm component.

Keywords: Autodesk Inventor; Analysis Simulation; Upper Arm.

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kekuatan struktural dan karakteristik kenyamanan komponen suspensi lengan atas belakang standar yang terpapar beban operasional dan guncangan. Kondisi beban ditentukan berdasarkan dimensi kendaraan, berat kosong, dan berat kotor kendaraan. Analisis dilakukan menggunakan metode Analisis Elemen Hingga (FEA), yang diimplementasikan melalui perangkat lunak Autodesk Inventor, yang memfasilitasi pemodelan tiga dimensi dan simulasi numerik struktur lengan atas. Simulasi berfokus pada penentuan distribusi tegangan von Mises, perpindahan, dan faktor keamanan pada kondisi beban statis. Hasil menunjukkan bahwa lengan atas yang terbuat dari baja paduan A812 memiliki tegangan von Mises maksimum sebesar 0,0501307 MPa, perpindahan maksimum sebesar 0,0000960669 mm, dan faktor keamanan sebesar 12. Sementara itu, bahan baja karbon A284 menunjukkan tegangan von Mises maksimum sebesar 0,0501812 MPa, perpindahan maksimum pada arah Y sebesar 0,000109716 mm, dan faktor keamanan sebesar 15. Hasil ini menunjukkan bahwa kedua bahan beroperasi jauh di bawah batas tegangan yang diizinkan, dengan baja karbon A284 memberikan faktor keamanan yang lebih tinggi, menjadikannya kandidat yang cocok untuk meningkatkan keandalan struktural komponen lengan atas.

Kata kunci: Autodesk Inventor; Analisa Simulasi; Upper Arm.

1. Pendahuluan

Sistem suspensi pada kendaraan memiliki peran penting dalam menjaga kenyamanan dan kestabilan saat berkendara [1]. Salah satu komponen utama dalam sistem suspensi belakang adalah *upper arm*, yang berfungsi menghubungkan roda dengan rangka kendaraan serta mengatur geometri [2] pergerakan roda saat terjadi pembebanan. Pada mobil Honda Civic tahun 2001–2005, komponen *upper arm* sering menjadi perhatian karena pengaruhnya terhadap kenyamanan, *handling*, serta keausan ban yang tidak merata apabila terjadi kerusakan atau deformasi akibat usia pakai atau beban berlebih [3].

Modifikasi desain *upper arm* diperlukan untuk meningkatkan kekuatan, daya tahan, dan efisiensi kerja sistem suspensi [4]. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan adalah melalui perancangan ulang (*redesign*) dengan perangkat lunak *Computer-Aided Design* (CAD), seperti *Autodesk Inventor* [5]. Perangkat lunak ini memungkinkan pembuatan model tiga dimensi secara presisi dan efisien, serta mendukung integrasi analisis rekayasa untuk pengembangan produk yang lebih andal.

Dalam proses pengembangan komponen hasil modifikasi, diperlukan evaluasi terhadap perilaku mekanis komponen tersebut, terutama terhadap beban dinamis yang timbul selama kendaraan digunakan [6]. Oleh karena itu, dilakukan simulasi getaran menggunakan metode *Finite Element Analysis* (FEA) sebagai bagian dari tahap validasi desain. Simulasi ini bertujuan untuk mengidentifikasi respons frekuensi alami (*natural frequency*), bentuk mode getaran (*mode shapes*), serta potensi terjadinya resonansi yang dapat menyebabkan kegagalan struktural [7]. Melalui pendekatan ini, desain yang dihasilkan tidak hanya memenuhi kekuatan struktural, tetapi juga memiliki ketahanan terhadap getaran dinamis selama operasi.

Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan

memodifikasi komponen *upper arm* suspensi belakang pada Honda Civic tahun 2001–2005 menggunakan *Autodesk Inventor*, serta menganalisis karakteristik getarannya melalui simulasi berbasis FEA, sehingga menghasilkan desain yang lebih kuat, stabil, dan andal untuk digunakan pada kendaraan.

2. Metodologi

Penelitian ini menggunakan metode rekayasa desain (*design engineering*) yang meliputi tahap identifikasi masalah, perancangan model CAD, validasi melalui simulasi elemen hingga (FEA), dan evaluasi hasil simulasi. Tujuan utama dari penelitian ini adalah menghasilkan desain modifikasi *upper arm* yang lebih kuat dan tahan terhadap beban getaran operasional kendaraan. Diagram alir penelitian diajikan pada Gambar 1.

Penelitian diawali dengan studi literatur yang sistematis untuk memetakan *state of the art desain* dan analisis komponen *upper arm* (mis. komponen prostetik/robotik atau *fixture* lengan atas). Pencarian dilakukan pada basis data bereputasi, menyaring topik material, konfigurasi geometri, moda kegagalan, dan praktik *finite element analysis* (FEA). Luaran tahap ini adalah peta isu kunci, rentang dimensi khas, karakteristik beban, serta celah riset yang akan diatasi.

Tahap berikutnya adalah identifikasi komponen *eksisting*, meliputi akuisisi data dimensi (ukur langsung/dokumen teknik), fungsi kerja, dan masalah umum (mis. konsentrasi tegangan di *fillet*, kelonggaran sambungan, atau resonansi). Hasilnya diringkas ke dalam *requirements* fungsional dan struktural (batas defleksi, faktor keamanan, dan target frekuensi alami minimum terhadap sumber getaran).[8]

Berdasarkan kebutuhan tersebut disusun pemodelan 3D di *Autodesk Inventor*. Model mencakup fitur penting (radius sudut, *chamfer*, ketebalan dinding, lubang baut) dan, bila berupa assembly, relasi *contact* dan *fastener*. Seluruh satuan

menggunakan SI dan penamaan fitur konsisten untuk memudahkan replikasi.[9]

Model kemudian diekspor ke *solver* FEA untuk simulasi statik dan modal. Properti material diisi dari data pabrikan/rujukan ilmiah (E , ν , ρ ; bila komposit dapat digunakan model ortotropik). Skema meshing menggunakan elemen tetra 10-node atau setara; kualitas elemen (*skewness*, *Jacobian*) dipantau. Uji kemandirian mesh dilakukan hingga perubahan tegangan *von Mises* puncak <5%. Batasan (*boundary conditions*) merepresentasikan tumpuan/*mounting* aktual; pembebanan mencakup gaya kerja, momen, serta skenario terburuk. Analisis statik linear menghitung distribusi tegangan-regangan dan perpindahan, sedangkan analisis modal menghasilkan frekuensi alami dan bentuk modus; bila diperlukan, dilakukan analisis harmonik untuk memeriksa respons pada rentang frekuensi operasi [10]

Tahap evaluasi hasil dilakukan dengan menautkan secara sistematis metrik keluaran simulasi numerik terhadap kriteria desain struktural yang telah ditetapkan. Pertama, respons tegangan dianalisis menggunakan kriteria tegangan *von Mises*, dengan memastikan bahwa nilai tegangan maksimum berada di bawah batas luluh material atau batas daktilitas yang relevan, disertai penerapan faktor keamanan (*factor of safety*) sesuai standar desain. Pendekatan ini bertujuan untuk menjamin bahwa struktur tetap beroperasi dalam domain elastis pada kondisi beban kerja normal serta memiliki margin yang memadai terhadap ketidakpastian beban dan variasi material.

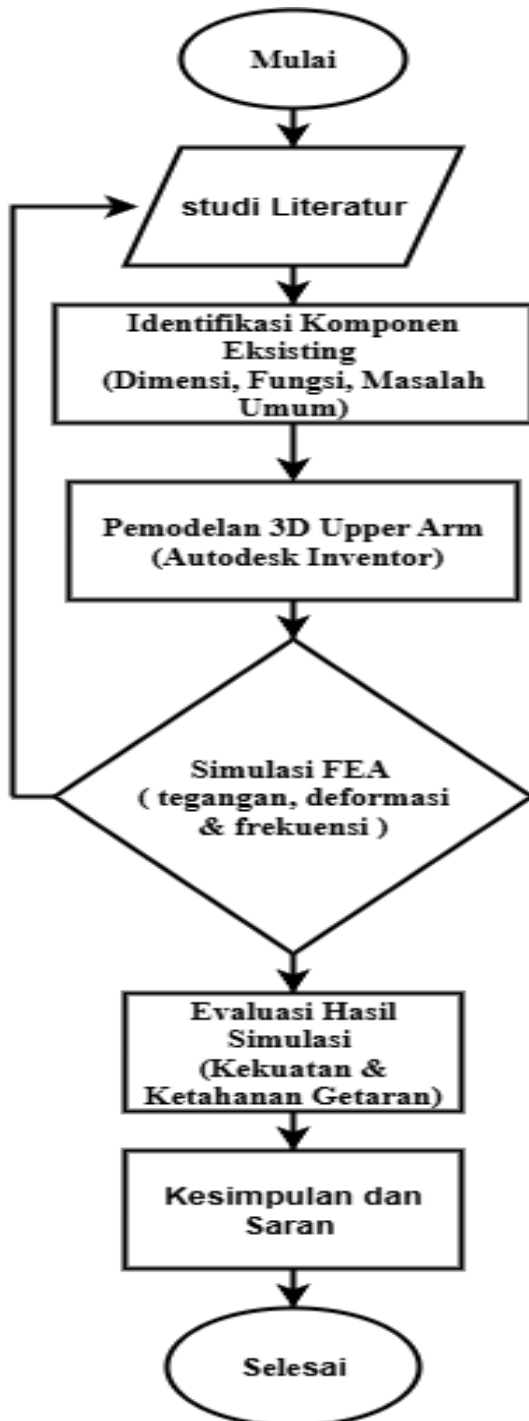
Kedua, kriteria defleksi dievaluasi untuk memastikan bahwa perpindahan maksimum berada di bawah ambang kinerja fungsional yang ditentukan. Defleksi berlebih, meskipun tidak menyebabkan kegagalan material, dapat menurunkan presisi mekanisme, kenyamanan pengguna, atau kompatibilitas dengan komponen lain. Oleh karena itu, hasil defleksi dikaitkan langsung dengan persyaratan ergonomi dan toleransi geometrik sistem.

Ketiga, karakteristik dinamik struktur dianalisis melalui evaluasi frekuensi alami dan mode getar dominan. Ketahanan terhadap getaran ditentukan dengan memastikan adanya pemisahan frekuensi (*frequency separation*) yang memadai antara frekuensi alami struktur dan frekuensi eksitasi operasional. Prinsip ini penting untuk menghindari fenomena resonansi yang dapat mempercepat kegagalan kelelahan, meningkatkan amplitudo getaran, dan menurunkan umur layan komponen.

Distribusi tegangan lokal dianalisis lebih lanjut untuk mengidentifikasi *hot spots* di sekitar fitur geometrik kritis seperti lubang baut, takikan (*notch*), *fillet*, atau transisi ketebalan. Area-area ini secara inheren rentan terhadap konsentrasi tegangan dan sering menjadi lokasi inisiasi retak. Berdasarkan hasil analisis tersebut, beberapa opsi perbaikan desain dievaluasi, termasuk peningkatan radius fillet untuk mereduksi *stress concentration factor*, redistribusi massa untuk menurunkan momen lentur lokal, optimasi pola rib guna meningkatkan kekakuan tanpa penalti massa signifikan, serta substitusi material dengan rasio kekuatan atau kekakuan spesifik yang lebih unggul.

Untuk menjamin ketertelusuran (*traceability*) dan reproduisibilitas hasil, seluruh parameter simulasi didokumentasikan secara lengkap, meliputi setelan *solver*, tipe elemen dan ukuran *mesh*, versi perangkat lunak, kondisi batas, asumsi material, serta berkas geometri. Seluruh data dan model numerik disediakan melalui repositori terbuka, sehingga memungkinkan peninjauan ulang, replikasi, dan pengembangan lanjutan oleh peneliti lain. Validasi hasil dilakukan melalui beberapa pendekatan, yaitu perbandingan dengan hasil penelitian terdahulu yang relevan, uji bench skala laboratorium dengan pembebanan terkontrol, serta *cross-check* hasil menggunakan perangkat lunak FEA alternatif untuk meminimalkan bias numerik.

Selain itu, ketidakpastian dalam pemodelan diakomodasi melalui analisis sensitivitas terhadap variasi beban, kondisi batas, dan sifat material utama seperti modulus elastisitas dan batas luluh. Analisis ini memberikan gambaran mengenai parameter paling berpengaruh terhadap respons struktural serta membantu dalam pengambilan keputusan desain yang lebih robust.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Pada tahap akhir, disusun kesimpulan dan rekomendasi desain yang merangkum tingkat pemenuhan setiap kriteria kinerja, usulan modifikasi geometrik atau material, serta identifikasi batasan studi. Batasan tersebut mencakup asumsi linearitas material dan geometri, pengabaian efek kelelahan dan korosi, serta keterbatasan kondisi pembebanan yang disimulasikan. Sebagai rencana kerja lanjutan, direkomendasikan pengembangan analisis umur lelah berbasis kurva S–N, penerapan optimasi topologi untuk meningkatkan efisiensi struktural, serta verifikasi eksperimental komprehensif pada prototipe fisik. Dengan struktur evaluasi dan validasi ini, alur kerja penelitian menjadi ketat, transparan, dan selaras dengan kaidah ilmiah serta praktik terbaik dalam rekayasa berbasis simulasi modern.

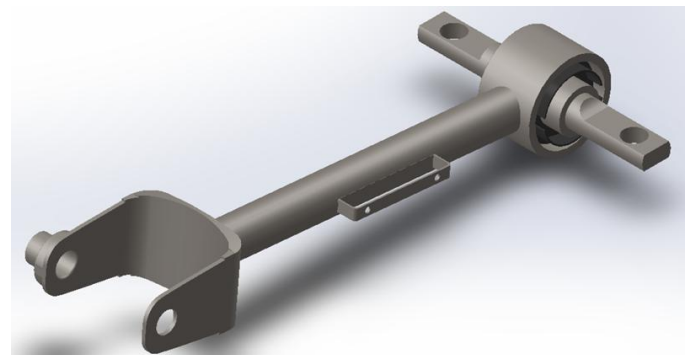
2.1 Material

Material yang digunakan adalah Aluminium 7075-T6 dipilih karena memiliki rasio kekuatan terhadap berat (*strength-to-weight ratio*) yang sangat baik dan umum digunakan di industri otomotif dan *aerospace* [11]. Data material disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data material aluminium 7075-T6

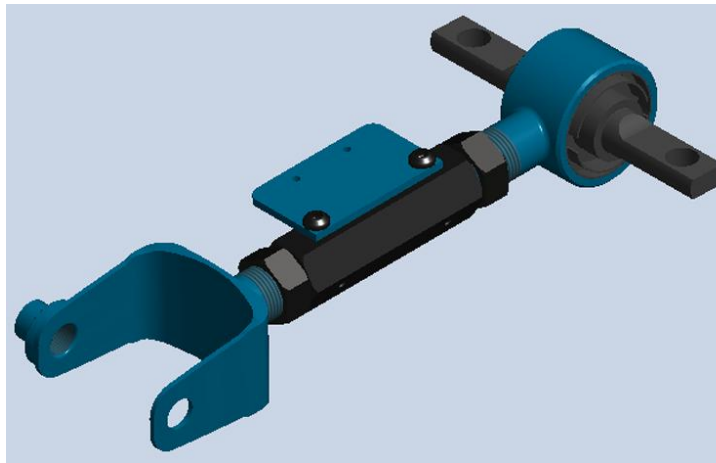
Sifat Mekanik	Nilai
Modulus Elastisitas	71.7 GPa
Kekuatan Tarik	± 572 MPa
Kekuatan Yield	± 503 MPa
Kerapatan	2.81 g/cm ³
Poisson's Ratio	0.33

2.2 Pemodelan 3D CAD

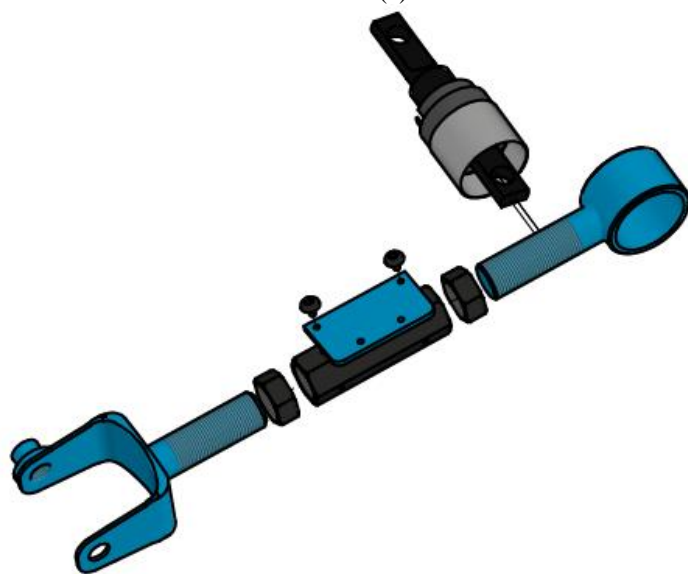


Gambar 2. Geometri CAD *upper arm* standar

Pemodelan 3D dilakukan menggunakan *Autodesk Inventor* untuk membentuk geometri komponen secara presisi berdasarkan rancangan teknis. Geometri CAD dapat dilihat pada Gambar 2 hingga Gambar 6.



(a)



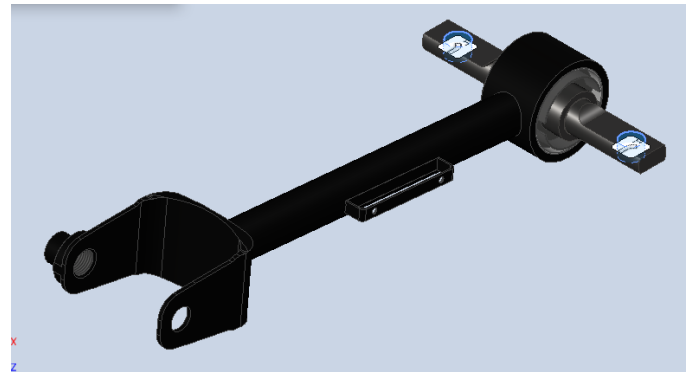
(b)

Gambar 3. (a) Geometri CAD (b) *upper arm* modifikasi

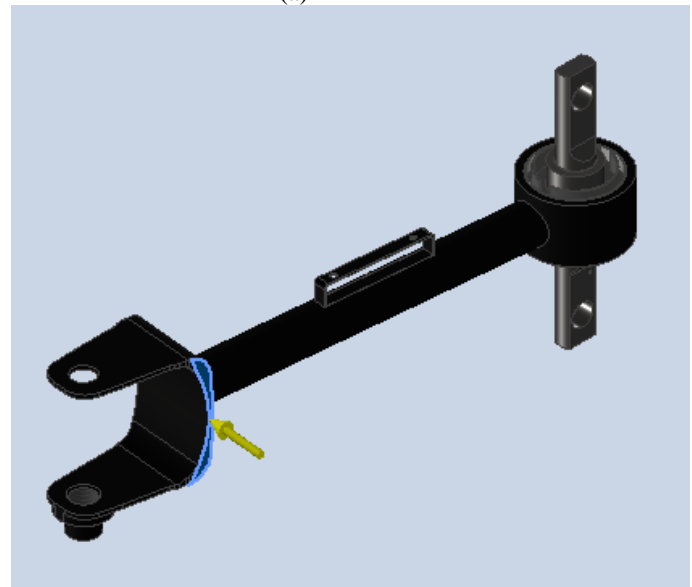
2.3 Analisis Elemen Hingga (FEA)

Setelah model dibuat, dilakukan analisis elemen hingga (FEA) pada perangkat lunak yang sama untuk mensimulasikan respons struktur terhadap pembebanan. Proses ini melibatkan penerapan material, pembebanan, dan kondisi batas, guna memperoleh distribusi tegangan, deformasi, serta evaluasi faktor keamanan sebagai dasar validasi desain. Pemberian frekuensi getaran berdasarkan

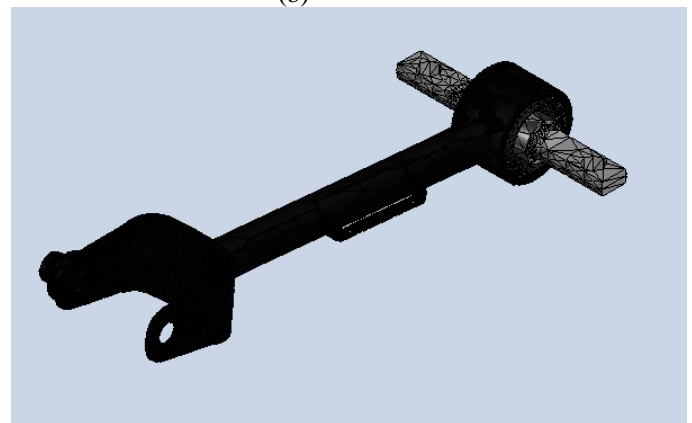
standar ISO 2631-1:1997, untuk standar kenyamanan pada kendaraan.



(a)



(b)

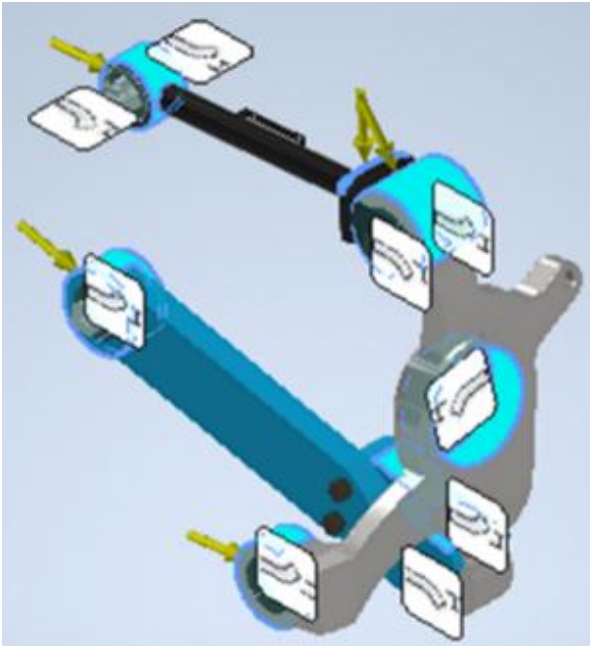


(c)

Gambar 4. Proses Analisis Elemen Hingga

3. Hasil dan Pembahasan

Dalam analisis ini, diperoleh gaya pembebanan untuk kontrol *arm* belakang dilakukan secara sistematis, dengan langkah pertama ialah menganalisa pembebanan rangka dengan gambar sebagai berikut.



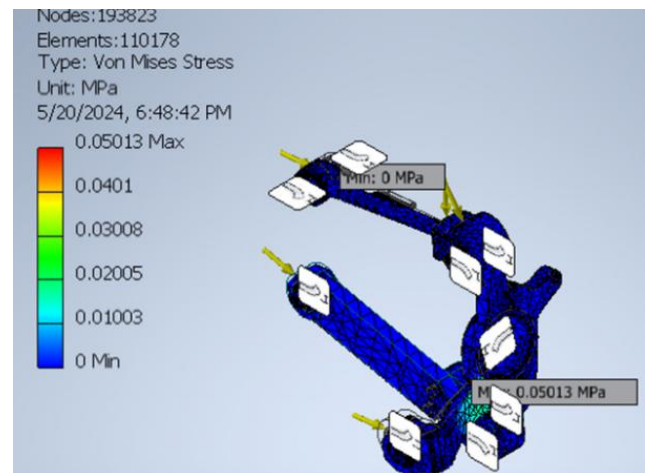
Gambar 5. Letak Beban dan Tumpuan

Dari pemodelan tampak beban dimasukkan pada titik-titik antarmuka (*bushing/bracket*) dan batang penghubung. Peta *von Mises* menunjukkan rentang 0–0,050 MPa dengan konsentrasi tertinggi di sekitar lubang dan transisi ketebalan (zona biru-hijau, warna kuning sangat tipis). Nilai puncak ini jauh di bawah tipikal kekuatan luluh baja/Al ($\approx 200\text{--}500$ MPa), menandakan bahwa level pembebanan yang dimodelkan sangat kecil atau masih berupa beban screening (mis. beban unit/normalisasi dari analisis rangka). Secara mekanika, distribusi tegangan mengikuti arah jalur gaya dari *ball joint* menuju *bushing* rangka; tidak ada *hot spot* kritis yang mendekati batas material.

Hasil analisis kekuatan *upper arm* pada kendaraan berupa nilai tegangan (*von Mises stress*), perpindahan (*displacement*), dan faktor keamanan (*safety factor*). Hasil simulasi pembebanan diperoleh hasil simulasi berupa tingkatan warna yang terdistribusi pada *upper arm* tersebut seperti gambar 6.

Peta perpindahan memperlihatkan simpangan maksimum $\approx 1,097 \times 10^{-4}$ mm di ujung batang dan *bracket* ujung bebas; simpangan minimum berada dekat titik tumpu/kekangan. Profil ini konsisten dengan teori balok/konstruksi: bagian yang

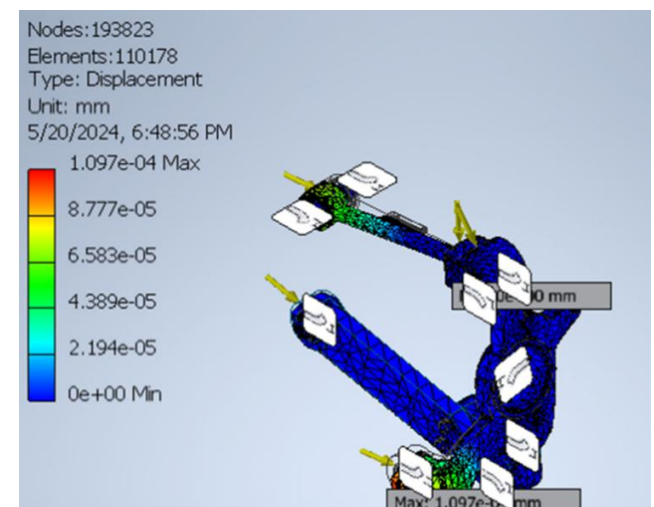
paling jauh dari kekangan dan memiliki lever arm terbesar mengalami defleksi terbesar. Magnitudo simpangan yang amat kecil menguatkan kesimpulan bahwa beban input rendah dan/atau struktur sangat kaku pada konfigurasi ini.



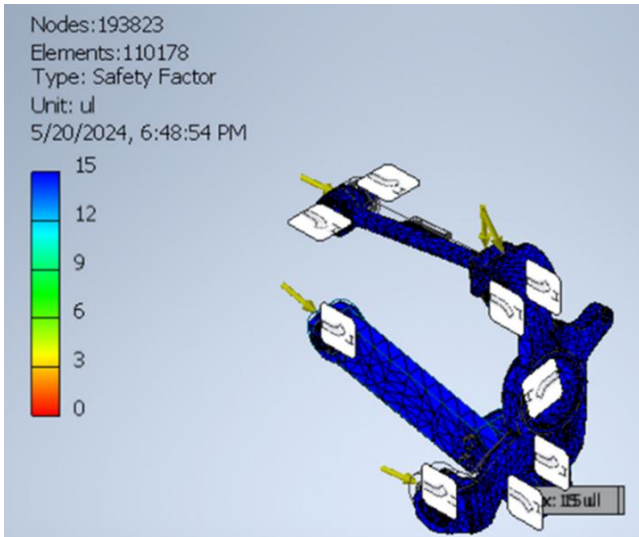
Gambar 6. Hasil Analisis Tegangan Dengan Mesh Kontroler 0,01 mm.

Nilai maximum *displacement* sebesar $\approx 1,097 \times 10^{-4}$ mm ($\approx 0,11$ μm) merupakan defleksi yang amat kecil. Bila panjang lengan (*arm length*) diasumsikan sekitar 200 mm, maka rasio defleksi terhadap panjang $\delta/L \approx 0,5$ ppm, yang menunjukkan struktur sangat kaku terhadap beban yang digunakan.

Model menunjukkan pola defleksi yang meningkat dari titik tumpu (kekangan) menuju ujung bebas, konsisten dengan teori lentur batang (*bending beam theory*) [9].



Gambar 7. Hasil Analisis Perpindahan dengan Mesh Kontroler 0,01 mm.



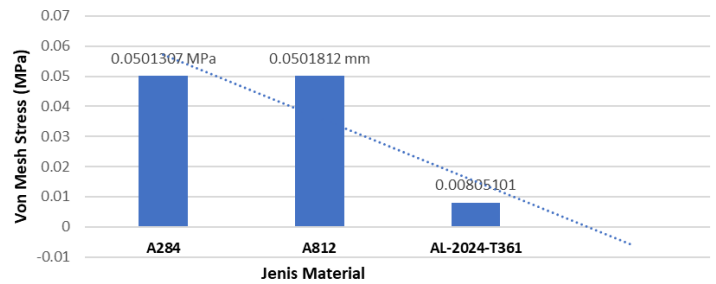
Gambar 8. Hasil Analisis Faktor Keamanan Dengan Mesh Kontron 0,01 mm.

Peta *Safety Factor* memperlihatkan nilai maksimum (terkepas) 15 hampir di seluruh domain. Secara definisi, $SF = \sigma_{luluh} / \sigma_{aktual}$. Dengan $\sigma_{aktual} \approx 0,05$ MPa dan asumsi σ_{luluh} material $\gg 200$ MPa, SF teoritis mencapai ribuan; perangkat lunak membatasi visualisasi hingga 15. Artinya, tegangan kerja jauh di bawah batas material, sehingga kegagalan plastis tidak menjadi isu pada skenario ini.

Ketiga peta saling menguatkan: tegangan rendah berkaitan dengan perpindahan rendah karena faktor keamanan sangat tinggi. *Gradien* warna di ketiganya muncul di lokasi struktural yang sama (sekitar lubang/bahu *fillet* dan ujung arm), menunjukkan bahwa perubahan kekakuan lokal mempengaruhi baik tegangan maupun defleksi.

Hasil ini layak dipakai sebagai *baseline* verifikasi model, namun untuk kesimpulan desain final perlu: (i) memvalidasi besaran beban dari analisis rangka—termasuk skenario *cornering*, *braking*, *vertical bump*, dan kombinasi dengan gaya setara pada titik antarmuka; (ii) studi konvergensi *mesh* (elemen $\sim 110k$, node $\sim 194k$ sudah memadai tetapi tetap perlu *mesh independence*); (iii) definisi kontak/*pretightening* baut yang realistis; (iv) evaluasi frekuensi alami dan respons harmonik untuk memastikan *frequency separation* dari eksitasi jalan. Dengan input

beban yang terkalibrasi, korelasi antar peta akan mengungkap *hot spot* sebenarnya dan margin desain yang akurat.



Gambar 9. Grafik hubungan Tegangan von Mises Terhadap Jenis Material *Upper Arm*

Grafik menunjukkan nilai *von Mises* rata-rata / puncak sekitar:

A284 $\approx 0,05013$ MPa

A812 $\approx 0,05018$ MPa

AL-2024-T361 $\approx 0,00805$ MPa

Secara ringkas, hasil simulasi menunjukkan bahwa dua material berbasis baja, yaitu A284 dan A812, menghasilkan tegangan *von Mises* maksimum yang relatif serupa, masing-masing berada pada kisaran $\approx 0,05$ MPa. Sebaliknya, material aluminium AL-2024-T361 menunjukkan nilai tegangan yang jauh lebih rendah, yaitu sekitar $\approx 0,008$ MPa. Perbedaan ini mengindikasikan adanya pengaruh signifikan dari sifat fisik material terhadap respons tegangan, meskipun model *upper arm* yang dianalisis memiliki geometri dan kondisi batas yang identik

Gambar 9 memperlihatkan distribusi dan perbandingan nilai tegangan von Mises pada model *upper arm* dengan variasi material. Nilai tegangan puncak (σ_{max}) untuk baja karbon A284 dan baja paduan A812 berada pada kisaran $\sim 0,05$ MPa, sedangkan aluminium AL-2024-T361 hanya mencapai $\sim 0,008$ MPa. Fenomena ini sejalan dengan prinsip dasar mekanika struktur dan dinamika, di mana gaya yang bekerja pada struktur dalam simulasi ini diturunkan dari pembebanan berbasis massa (massa komponen dikalikan percepatan gravitasi). Oleh karena itu, material dengan densitas lebih tinggi secara langsung menghasilkan gaya berat dan gaya inersia yang lebih besar, yang selanjutnya

meningkatkan tegangan internal pada struktur.[12]

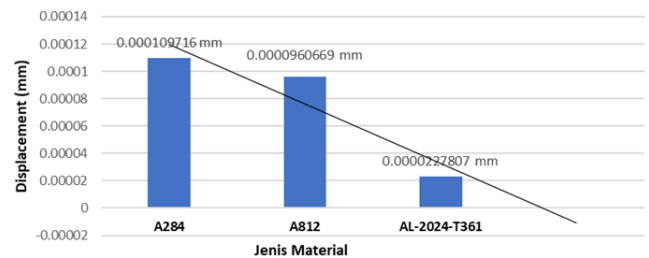
Temuan ini konsisten dengan teori bahwa pada simulasi berbasis gravity loading atau inertial loading, nilai tegangan tidak hanya merefleksikan kapasitas mekanik intrinsik material, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh densitas material tersebut. Beberapa penelitian terdahulu melaporkan bahwa penggunaan pembebanan berbasis massa pada analisis FEA komponen biomekanik dapat menyebabkan bias terhadap material berdensitas tinggi, sehingga interpretasi performa struktural menjadi kurang representatif apabila tidak dikontrol dengan tepat.[13]

Untuk memisahkan pengaruh massa dari karakteristik mekanik intrinsik material, diperlukan pendekatan simulasi tambahan menggunakan pembebanan force-controlled atau load-prescribed yang identik untuk seluruh material. Dengan pendekatan ini, respons tegangan dan deformasi akan lebih mencerminkan perbedaan modulus elastisitas (E), rasio Poisson, serta batas luluh material, bukan sekadar akibat variasi massa. Selain itu, evaluasi parameter performa berbasis rasio, seperti kekuatan spesifik (σ_{yield}/ρ) dan kekakuan spesifik (E/ρ), sangat direkomendasikan, khususnya dalam konteks aplikasi biomekanik dan ortopedik yang menuntut efisiensi massa dan kenyamanan pengguna [14]

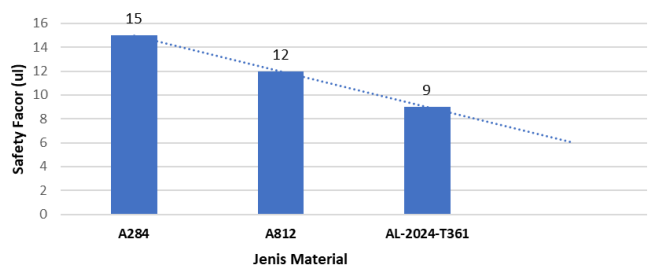
Lebih lanjut, untuk meningkatkan validitas dan reliabilitas hasil simulasi, perlu dilakukan analisis *mesh convergence* guna memastikan bahwa nilai tegangan yang diperoleh tidak dipengaruhi oleh ukuran elemen. Pemodelan yang lebih realistis juga dapat dicapai dengan memasukkan elemen bushing atau lapisan elastomerik pada daerah sambungan, yang merepresentasikan jaringan lunak atau kartilago dan diketahui berperan penting dalam mendistribusikan beban serta mereduksi konsentrasi tegangan. Tahap akhir yang krusial adalah verifikasi eksperimental, baik melalui uji mekanik sederhana maupun pengujian in vitro, untuk memastikan adanya korelasi yang memadai

antara hasil FEA dan respons struktur pada kondisi nyata [15] [16].

Maka, pemilihan material untuk aplikasi upper arm tidak dapat didasarkan semata-mata pada nilai tegangan maksimum hasil simulasi berbasis massa, melainkan harus mempertimbangkan performa struktural komprehensif, termasuk tegangan, defleksi, umur lelah (*fatigue life*), serta efisiensi massa. Pendekatan terintegrasi ini sejalan dengan praktik terbaik dalam analisis biomekanik modern dan rekayasa material struktural [10].



Gambar 10. Grafik hubungan Perindahan Terhadap Jenis Material untuk *Upper Arm*



Gambar 11. Grafik hubungan Faktor Keamanan Terhadap Jenis Material *Upper Arm*.

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisa data dan pembahasan hasil simulasi pada analisis *upper arm* menggunakan *software autodesk inventor*, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

Berdasarkan tegangan von Mises maksimum terendah, pada lengan atas didapatkan material baja paduan A812 dengan nilai 0.0501307 MPa, baja karbon A284 0.0501812 MPa, AL 2024-T361 0,00805301 MPa, sedangkan pada spesifikasi material baja paduan A812 dengan nilai 260 MPa. Ini memperlihatkan bahwa tegangan tersebut berada dibawah tegangan maksimum yang diijinkan bahan.

Berdasarkan perpindahan maksimum terendah arah vektor Y, pada lengan atas didapatkan material baja paduan A812 dengan nilai 0.0000960669 mm, baja karbon A284 0,000109716 mm dan AL 2024 T361 0.0000227807 mm.

Berdasarkan faktor keamanan minimum di atas angka dua tertinggi (untuk pembebanan dinamis), didapatkan material baja paduan A284 dengan nilai 15 ul.

Sehingga material yang tepat untuk meningkatkan kekuatan lengan atas (*Upper Arm*) ialah dengan material Baja Karbon A284. Sedangkan pada lengan bawah, Baja Paduan A812, terlihat masih dalam kondisi aman, sehingga material ini masih layak untuk dipergunakan sebagai material *Upper Arm*.

Pemilihan material untuk aplikasi upper arm tidak dapat didasarkan semata-mata pada nilai tegangan maksimum hasil simulasi berbasis massa, melainkan harus mempertimbangkan performa struktural komprehensif, termasuk tegangan, defleksi, umur lelah (fatigue life), serta efisiensi massa. Pendekatan terintegrasi ini sejalan dengan praktik terbaik dalam analisis biomekanik modern dan rekayasa material struktural.

Referensi

- [1] F. Zhang, L. Rong, Y. Chen, Y. Wang, Y. Li, and R. Sun, "Review about The Vibration Characteristics of Vehicle Suspension Systems," *Theoretical and Natural Science*, vol. 107, no. 1, pp. 293–304, May 2025, doi: 10.54254/2753-8818/2025.22736.
- [2] B. S. Chakor and Y. B. Choudhary, "analysis and optimization of upper control arm of suspension system," 2017. [Online]. Available: www.ijtre.com
- [3] F. F. Ling, "Editor-in-Chief."
- [4] F. Zhang, L. Rong, Y. Chen, Y. Wang, Y. Li, and R. Sun, "Review about The Vibration Characteristics of Vehicle Suspension Systems," *Theoretical and Natural Science*, vol. 107, no. 1, pp. 293–304, May 2025, doi: 10.54254/2753-8818/2025.22736.
- [5] S. Taneva and K. Ambarev, "Study of the Vibrations of MacPherson Suspension Components," in *AIP Conference Proceedings*, American Institute of Physics, Mar. 2025. doi: 10.1063/5.0259301.
- [6] Y. Jia and V. Nguyen, "Evaluating automobile's vibration in frequency domain," *Mechanical Engineering Advances*, vol. 2, no. 1, p. 1239, Dec. 2023, doi: 10.59400/mea.v2i1.1239.
- [7] X. Han and X. Chi, "Modal analysis and structural noise control of vehicle body frame," in *Vibroengineering Procedia*, EXTRICA, Oct. 2024, pp. 135–141. doi: 10.21595/vp.2024.24474.
- [8] Muhammad Edgar Gazanata, Rudiati, and Rifky Irfani, "Simulasi Rangka Gudang Terhadap Pembebanan Hoist Crane Double Grider 2 Ton Divisi GSCM PT. Xx," *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, vol. 13, no. 2, pp. 224–234, Aug. 2025, doi: 10.23887/jptm.v13i2.92901.
- [9] S. Yadav, R. S. Pawar, A. A. Sambare, and S. Deshpande, "Finite element analysis and design optimization of composite T-joints for enhanced maritime and aerospace applications," *Engineering Solid Mechanics*, vol. 12, no. 2, pp. 157–164, 2024, doi: 10.5267/j.esm.2023.10.002.
- [10] S. M. Bhosle, S. S. Bhosale, S. C. Mahadik, and S. M. Pondkule, "Exploring research trends in use of finite element analysis for optimization of stress concentration factor in bars with fillets," Dec. 01, 2025, *Springer Nature*. doi: 10.1007/s44245-025-00163-x.
- [11] S. Dou, Z. Liu, Z. Li, H. Shi, K. Zhou, and J. Xia, "Mechanical Properties of 7075-T6 Aluminum Alloy in Electrically Assisted Forming,"

- Metals (Basel)*., vol. 15, no. 2, Feb. 2025, doi: 10.3390/met15020117.
- [12] S. J. P. A. Rayyan AL, “Analisis Frame Sepeda Listrik Roda Tiga Bagi Lansia dan Penyandang Disabilitas Menggunakan Metode Elemen Hingga,” 2025.
- [13] S. Irarrázaval, J. A. Ramos-Grez, L. I. Pérez, P. Besa, and A. Ibáñez, “Finite element modeling of multiple density materials of bone specimens for biomechanical behavior evaluation,” *SN Appl. Sci.*, vol. 3, no. 9, Sep. 2021, doi: 10.1007/s42452-021-04760-9.
- [14] A. Verma *et al.*, “Finite element analysis and its application in Orthopaedics: A narrative review,” Nov. 01, 2024, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.jcot.2024.102803.
- [15] L. Hotma *et al.*, “mesh convergence test by using finite element analysis (fea) in shaft loading of 2 kw induction motor,” *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 15, no. 3, pp. 1271–1280, Dec. 2024, doi: 10.21776/jrm.v15i3.1516.
- [16] N. Nur Ain Azrin Abdullah *et al.*, “Mesh Convergence Study of Three-Dimensional Femoral Bone and Stem Models: A Finite Element Method,” 2025.