

DESAIN DAN ANALISIS KEKUATAN STRUKTUR *BOX PROTOTYPE* ALAT UJI MATA *DRIVER* MENGGUNAKAN AUTODESK INVENTOR 2025

Yori Piawan¹, Eko Kurniawan² Yudha Witanto³

¹²³ Mechatronics Study Program, Politeknik Takumi, Indonesia

Email: 2311010013@takumi.ac.id ¹, eko.kurniawan@takumi.ac.id ², yudha.wto@takumi.ac.id

Article history:

Received August 25, 2026.

Revised September 1, 2026.

Accepted September 4, 2026

Abstrak

Persepsi kedalaman (*stereopsis*) merupakan syarat penting dalam uji kelayakan penglihatan untuk penerbitan SIM di Jepang, yang umumnya menggunakan konsep *three-roads test*. Namun, alat uji mata driver yang digunakan dalam pelatihan pengemudi di Indonesia khususnya untuk kebutuhan SDM ke Jepang belum memenuhi standar kelayakan dan belum terverifikasi kekuatan struktur desainnya. Kebutuhan lisensi khusus serta keterbatasan regulasi impor dari Jepang turut menyulitkan proses dan validasi hasil pengujian bagi calon pengemudi. Penelitian ini bertujuan merancang *box prototype* alat uji mata driver menggunakan Autodesk Inventor 2025 dan menganalisis kekuatan strukturnya melalui simulasi *Finite Element Analysis* (FEA), dengan material plat besi ASTM A36 tebal 1,2 mm. Metode yang digunakan adalah rekayasa (*engineering design*) dengan analisis kuantitatif terhadap tegangan *Von Mises*, deformasi total, dan faktor keamanan ($SF \geq 1,2$), pada dua konfigurasi dudukan motor (tanpa dan dengan sambungan baut), dengan beban statis 49,05 N dan gravitasi 9,81 m/s². Hasil simulasi menunjukkan *Von Mises Stress* maksimum 24,9361 MPa (tanpa baut) dan 24,4759 MPa (dengan baut), dengan *Safety Factor* minimum masing-masing 10,0256 dan 10,2141, jauh di bawah *Yield Strength* material (250 MPa), sehingga struktur dinyatakan aman. Validasi kesetimbangan gaya ($\Sigma F = 0$) menunjukkan selisih sangat kecil terhadap perhitungan teoritis ($\approx 0,003\%$ dan $\approx 0,003\%$), membuktikan simulasi valid secara numerik. Zona kritis tegangan tertinggi teridentifikasi pada base plat di sekitar titik pembebanan. Konfigurasi dengan sambungan baut menghasilkan distribusi tegangan lebih merata dan direkomendasikan sebagai desain akhir yang aman, andal, dan terjangkau.

Kata kunci:

Box prototype alat uji mata driver; *Finite Element Analysis*; *Von Mises Stress*; *safety factor*; ASTM A36

1. INTRODUCTION

Keselamatan berlalu lintas merupakan isu kritis global, dan kondisi penglihatan pengemudi menjadi salah satu faktor penentunya. Pemeriksaan persepsi kedalaman (*stereopsis*) merupakan syarat penting dalam proses perpanjangan Surat Izin Mengemudi (SIM) atau *Driver's License*, terutama bagi pengemudi komersial. Namun demikian, ketersediaan prototipe alat uji mata driver yang terstandarisasi, terjangkau, dan memiliki kekuatan struktur terverifikasi secara ilmiah masih sangat terbatas di Indonesia. Alat uji yang beredar umumnya merupakan produk impor dengan harga mencapai puluhan hingga ratusan juta rupiah, sehingga sulit dijangkau oleh lembaga SIM daerah dan sekolah mengemudi. Akibat dari keterbatasan ini adalah terhambatnya proses seleksi pengemudi berkualitas, terutama di daerah dengan anggaran terbatas, yang berpotensi meningkatkan risiko kecelakaan lalu lintas akibat gangguan persepsi kedalaman yang tidak terdeteksi. Selain itu, jika alat uji dirancang tanpa analisis kekuatan struktur yang memadai, kegagalan pada box dapat menyebabkan kerusakan alat, ketidakakuratan pengukuran, bahkan membahayakan keselamatan pengguna.

Oleh karena itu, diperlukan rancang bangun prototipe alat uji mata driver berbasis material lokal dengan biaya ekonomis namun tetap andal secara struktural. Penelitian ini mengusulkan desain box menggunakan Autodesk Inventor 2025 dengan material plat besi ASTM A36 tebal 1,2 mm dan rangka besi hollow 35×35 mm. Sebelum proses fabrikasi fisik dilakukan, simulasi *Finite Element Analysis* (FEA) atau Analisis Elemen Hingga digunakan untuk menganalisis kekuatan struktur box prototype. Metode ini digunakan untuk mengetahui distribusi tegangan (*Von Mises Stress*), deformasi, dan faktor keamanan (*safety factor*) pada struktur akibat pembebanan tertentu sehingga dapat diketahui apakah desain yang dibuat aman digunakan atau masih memerlukan optimasi desain. Hasil analisis diharapkan dapat mengidentifikasi zona kritis serta memberikan rekomendasi penguatan desain. Penelitian ini penting karena belum ada standar desain struktural terverifikasi untuk alat uji mata driver buatan lokal di Indonesia, sehingga penelitian ini dapat menjadi acuan bagi institusi vokasi dalam mengembangkan alat uji secara mandiri.

Literature Review

Tes tiga batang (*three-rods test*) merupakan tes penglihatan untuk memeriksa persepsi kedalaman dan digunakan secara rutin untuk tes penglihatan bagi Surat Izin Mengemudi (SIM) di Jepang dan Jerman, selain tes ketajaman visual, di mana sebuah batang tengah digerakkan maju dan mundur secara otomatis terhadap dua batang tetap di kedua sisi di dalam sebuah kotak yang diterangi (Iehisa et al., 2020; Matsuo et al., 2018). (Matsuo et al., 2018) menunjukkan bahwa tes tiga batang memiliki reproduksibilitas tinggi dengan korelasi peringkat Spearman $\rho = 0,679$ ($P < 0,0001$) antara dua tes yang dilakukan pada waktu terpisah pada 44 subjek, serta membuktikan bahwa eksoforia yang diinduksi dengan prisma tidak secara signifikan memengaruhi hasil tes, sedangkan diplopia vertikal justru mengganggu pengukuran, sehingga tes tersebut layak digunakan sebagai tes penglihatan kedalaman untuk penerbitan SIM. (Iehisa et al., 2020) mengembangkan sistem pengukuran tes tiga batang dengan jarak uji yang dapat diubah hingga 20 meter dan meneliti efek masking pada ujung batang tengah untuk menghilangkan isyarat monokular, dan menemukan bahwa jarak uji merupakan faktor paling relevan yang memengaruhi persepsi kedalaman, di mana kesalahan meningkat seiring bertambahnya jarak uji. (DOG QSS, 2025) menjelaskan bahwa stereopsis atau kemampuan melihat kedalaman secara disparitas silang merupakan fungsi binokular paling tinggi yang memungkinkan pengenalan visual yang benar terhadap susunan spasial objek, dan digunakan dalam diagnostik oftalmologi maupun dalam penilaian kelayakan seperti penerbitan SIM.

Dari sisi kekuatan struktur, (Fajri et al., 2018) menganalisis properti mekanik material baja ASTM A36 pada aplikasi daun pintu air bendung dengan metode simulasi *Building Information Modeling*. (Rohman et al., 2023) menganalisis struktur rangka mesin pemisah sampah menggunakan *Finite Element Analysis* dan memperoleh tegangan sebesar 138,3 MPa dengan *safety factor* 1,2. Penggunaan plat besi tipis (tebal 1,2 mm) dalam konstruksi box memerlukan perhatian khusus terhadap potensi kegagalan lokal akibat deformasi berlebih. (Kut & Stachowicz, 2020) menunjukkan bahwa pada profil baja persegi panjang ber dinding tipis, deformasi penampang dapat memengaruhi kapasitas beban secara signifikan, terutama pada kondisi bending.

(Hazizi & Ghaleeh, 2023) verifikasi kekuatan struktur dalam penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan *Computer Aided Engineering* (CAE), yaitu teknologi berbasis komputer untuk analisis dan simulasi kinerja suatu desain teknik, melalui simulasi *Finite Element Analysis* (FEA). (Rohman et al., 2023) FEA atau *Finite Element Method* (FEM) merupakan teknik numerik yang digunakan untuk menganalisis perilaku struktural suatu objek di bawah kondisi pembebanan tertentu, dengan prinsip dasar membagi domain fisik menjadi sejumlah elemen kecil yang terhubung pada titik-titik nodal, kemudian menyelesaikan persamaan diferensial yang menggambarkan perilaku fisik pada setiap elemen tersebut secara simultan. Simulasi dilakukan menggunakan Autodesk Inventor, perangkat lunak CAD (*Computer Aided Design*) buatan Autodesk Inc. yang digunakan secara luas di industri manufaktur maupun akademik untuk pemodelan 3D, *assembly*, pembuatan gambar teknik, dan analisis teknis, dengan dukungan perancangan parametrik sehingga perubahan satu dimensi otomatis memperbarui seluruh komponen terkait. Kemampuan Autodesk Inventor 2025 yang dimanfaatkan meliputi *Part Modeling*, *Assembly Modeling*, *Sheet Metal Design*, *Drawing Creation*, *Stress Analysis*, dan *Frame Analysis*.

Penelitian-penelitian tersebut menunjukkan bahwa tes tiga batang telah banyak dikaji dari sisi fisiologis dan psikofisik mata, dan material ASTM A36 telah banyak dikaji kekuatannya pada berbagai aplikasi struktur, namun belum ada penelitian yang secara khusus merancang dan memverifikasi kekuatan struktur box alat uji mata driver. Penelitian ini melengkapi penelitian-penelitian sebelumnya dengan memberikan kontribusi dalam bentuk perancangan struktur mekanik box prototype alat uji mata driver yang aman dan andal, menggunakan material ASTM A36 ber dinding tipis, serta

memverifikasi keamanannya melalui simulasi *Finite Element Analysis* (FEA) sebelum proses fabrikasi fisik dilakukan.

Research Problem

1. Bagaimana merancang desain mekanik struktur *box prototype* alat uji mata driver yang sesuai dengan kebutuhan fungsional dan ergonomis menggunakan Autodesk Inventor 2025?
2. Apakah material plat besi ASTM A36 dengan ketebalan 1,2 mm pada struktur box mampu menahan beban kerja berdasarkan nilai faktor keamanan (*safety factor*) hasil simulasi FEA?
3. Pada bagian mana dari struktur box terjadi tegangan terbesar (zona kritis), dan apakah diperlukan optimasi desain untuk meningkatkan keamanan struktural?

Objectives

1. Untuk menghasilkan desain 3D *box prototype* alat uji mata driver yang fungsional dan ergonomis menggunakan Autodesk Inventor 2025.
2. Untuk menganalisis kekuatan struktur *box prototype* melalui simulasi pembebanan statis menggunakan fitur *Stress Analysis* pada Autodesk Inventor 2025, meliputi nilai *Von Mises Stress*, deformasi total, dan *safety factor*.
3. Untuk mengidentifikasi zona kritis pada struktur box dan memberikan rekomendasi optimasi desain guna meningkatkan keamanan dan keandalan alat.

Significance and Contributions

1. Menjadi sarana untuk mengaplikasikan ilmu yang telah diperoleh selama perkuliahan, khususnya dalam bidang perancangan mekanik dan analisis struktur menggunakan metode *Finite Element Analysis* (FEA), serta meningkatkan kemampuan dalam pemodelan 3D dan analisis teknis menggunakan Autodesk Inventor.
2. Menjadi referensi dalam perancangan dan pengembangan alat uji mata driver, khususnya dalam memastikan kekuatan dan keamanan struktur *box prototype*, serta sebagai dasar dalam pemilihan material dan desain yang lebih efisien dan andal.
3. Menjadi sumber referensi dan bahan pembelajaran dalam bidang analisis struktur dan perancangan produk teknik, serta sebagai acuan untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan simulasi FEA dan pengembangan prototype alat sejenis.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi pengembangan alat uji mata driver buatan lokal yang terjangkau dan terstandarisasi. Artikel ini disusun sebagai berikut: bagian Metode Penelitian menjelaskan pendekatan rekayasa (*engineering design*) dan tahapan simulasi *Stress Analysis* yang digunakan, bagian pembahasan menyajikan hasil perancangan desain *box prototype*, hasil simulasi *von mises stress*, deformasi, dan *safety factor* pada dua konfigurasi dudukan motor, beserta validasi hasil simulasi dan bagian penutup merangkum kesimpulan serta saran penelitian.

2. RESEARCH METHOD

(Pujiyanto et al., 2023) metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode rekayasa (*engineering design*) dengan pendekatan kuantitatif. Perancangan teknik dipilih karena penelitian bertujuan untuk menghasilkan sebuah produk berupa desain box prototype alat uji mata driver beserta analisis kekuatan strukturnya. Pendekatan kuantitatif dipilih karena data yang dihasilkan dalam penelitian ini berupa data numerik yang dapat diukur, dihitung, dan dianalisis secara statistik deskriptif.

Penelitian kuantitatif pada dasarnya didasarkan pada filsafat positivisme, digunakan untuk meneliti pada populasi atau sampel tertentu, pengumpulan data menggunakan instrumen penelitian, analisis data bersifat statistik, dengan tujuan untuk menguji hipotesis yang telah ditetapkan. Penelitian ini menggunakan pendekatan rekayasa sistem (*system engineering approach*) untuk merancang, mengembangkan, dan menguji model alat uji mata driver berbasis three-rod test dengan analisis dan simulasi elemen hingga. Pendekatan ini dipilih agar sejalan dengan tujuan penelitian, yaitu memverifikasi kekuatan struktur box secara numerik sebelum proses fabrikasi fisik dilakukan.

Objek dalam penelitian ini adalah struktur mekanik box prototype alat uji mata driver hasil pemodelan 3D menggunakan Autodesk Inventor 2025. Dua konfigurasi desain dianalisis dalam penelitian ini, yaitu dudukan motor tanpa sambungan baut dan dudukan motor menggunakan sambungan baut, untuk mengetahui pengaruh jenis sambungan terhadap distribusi tegangan pada struktur. Material yang dianalisis adalah plat besi ASTM A36 dengan ketebalan 1,2 mm dan rangka besi hollow 35×35 mm, dengan dimensi box akhir sebesar 650 mm × 400 mm × 400 mm. Pemilihan material dan konfigurasi ini didasarkan pada kebutuhan fungsional dan ergonomis alat, serta ketersediaan data properti mekanik material yang telah terverifikasi pada studi literatur.

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini terdiri dari dua cara, yaitu:

1. Studi pustaka, yaitu pengumpulan data sekunder melalui kajian literatur pada jurnal ilmiah bereputasi, buku teks teknik, dan dokumentasi resmi Autodesk Inventor 2025. Studi pustaka difokuskan pada teori analisis tegangan, metode FEA, properti material plat besi ASTM A36 (*yield strength*, *modulus elastisitas*, *poisson's ratio*), dan prinsip perancangan alat uji penglihatan.
2. Simulasi dan observasi hasil, yaitu pengumpulan data primer melalui simulasi *Stress Analysis* pada model 3D yang telah dibuat di Autodesk Inventor 2025, di mana setiap skenario pembebanan dijalankan dan hasilnya dicatat secara sistematis dalam bentuk data numerik, meliputi nilai tegangan maksimum (MPa), deformasi total (mm), dan *safety factor*.

Instrumen utama yang digunakan adalah perangkat lunak Autodesk Inventor 2025 sebagai software CAD/CAE dengan fitur Stress Analysis berbasis metode elemen hingga (*Finite Element Analysis*). Validitas dan reliabilitas hasil simulasi diperiksa melalui uji konvergensi mesh, yaitu memperhalus ukuran elemen mesh secara bertahap hingga hasil tegangan dan deformasi stabil (tidak berubah signifikan), serta melalui validasi kesetimbangan gaya ($\Sigma F = 0$) yang membandingkan gaya reaksi tumpuan hasil simulasi terhadap perhitungan teoritis.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah perangkat lunak dan alat pendukung perancangan gambar teknik, sesuai dengan lingkup jobdesk penulis yang berfokus pada perancangan desain 3D menggunakan Autodesk Inventor 2025.

Tabel 1. Perangkat lunak yang digunakan

No	Nama Perangkat/Alat	Fungsi/Keterangan
1	Autodesk Inventor 2025	Pemodelan 3D, Stress Analysis (FEA), pembuatan gambar teknik
2	Microsoft Word	Penulisan laporan dan dokumentasi penelitian

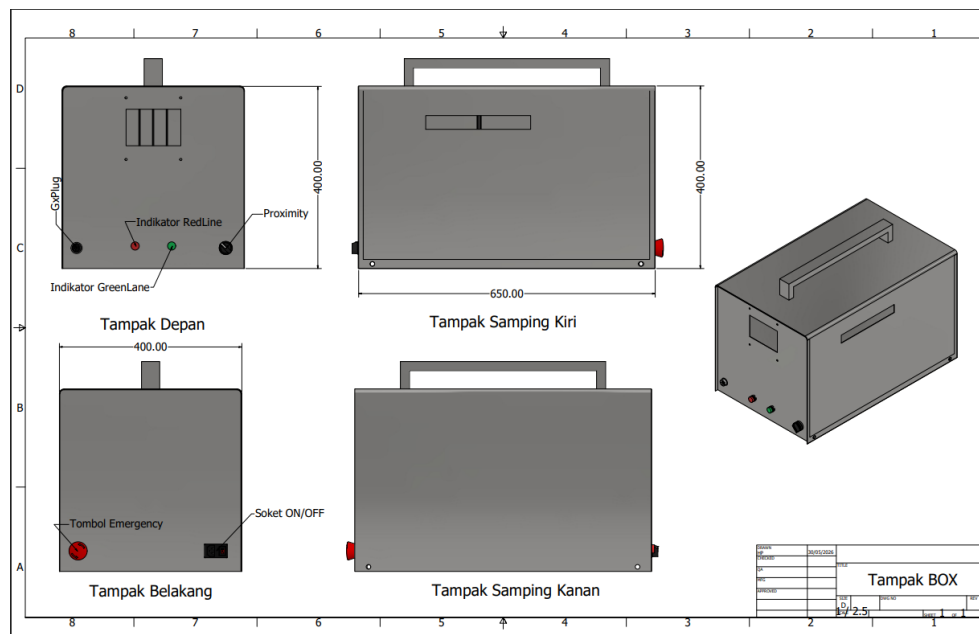
Tabel 2. Alat pendukung perancangan

No	Nama Alat	Jumlah
1	Laptop	1 buah
2	Mouse	1 buah
3	Penggaris	1 buah
4	Pensil	secukupnya

Penelitian ini dilaksanakan selama kurang lebih 5 (lima) bulan, mulai dari bulan 19 Februari 2026 hingga 20 Juli 2026, bertempat di Politeknik Takumi, Kabupaten Bekasi, tempat proses pemodelan 3D dan simulasi analisis kekuatan struktur dilakukan menggunakan perangkat lunak Autodesk Inventor 2025.

Tahap awal penelitian dimulai dengan studi perancangan untuk memahami prinsip kerja alat uji mata driver, mencakup kajian literatur mengenai fungsi dan kebutuhan teknis alat uji mata, khususnya terkait persyaratan struktural box sebagai casing utama yang menampung seluruh komponen mekanik, elektrik, dan sistem kontrol di dalamnya. Selanjutnya dilakukan perancangan konsep yang meliputi penentuan dimensi box, konfigurasi rangka, serta pemilihan material yang akan digunakan. Panjang dan lebar box awalnya ditetapkan sebesar 510 mm × 400 mm, namun setelah mempertimbangkan jumlah komponen serta panjang penggerak *Three Rods Test* yang melebihi panjang box awal, dilakukanlah revisi desain sehingga ukuran *box prototype* diperbarui menjadi panjang 650 mm dengan lebar tetap 400 mm.

Setelah spesifikasi teknis dan dimensi ditetapkan, proses dilanjutkan dengan pemodelan 3D menggunakan perangkat lunak Autodesk Inventor 2025, mencakup seluruh komponen struktur mulai dari dinding box, hingga bagian dudukan.



Gambar 1. Dimensi Box Prototype Alat Uji Mata Driving

Tahap selanjutnya adalah simulasi *Stress Analysis* menggunakan fitur yang tersedia pada Autodesk Inventor 2025, yang meliputi: penentuan tipe simulasi (statis), penentuan material Steel Alloy pada model, penetapan kondisi tumpuan (*fixed constraint*), pemberian beban kerja sebesar 49,05 N (dari massa beban 5 kg dikalikan percepatan gravitasi $9,81 \text{ m/s}^2$), pemberian gaya gravitasi, pembuatan *mesh elemen* hingga, serta proses running dan visualisasi hasil. Tahap akhir adalah analisis hasil simulasi berupa distribusi tegangan *Von Mises*, deformasi total, dan *safety factor*.

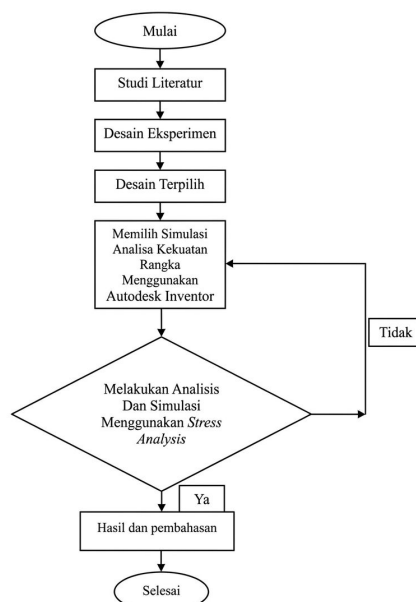
1. Analisis Distribusi Tegangan (*Von Mises Stress*)

Distribusi tegangan *Von Mises stress* pada seluruh bagian struktur *box* dianalisis untuk menentukan lokasi tegangan maksimum. Bagian dengan nilai tegangan tertinggi (kontur merah) diidentifikasi sebagai zona kritis yang berpotensi mengalami kegagalan struktural. Nilai tegangan maksimum yang diperoleh dibandingkan dengan *yield strength* material ASTM A36 sebesar 250 MPa.

2. Analisis Deformasi

Nilai deformasi total (*total displacement*) dianalisis untuk mengetahui seberapa besar perubahan bentuk yang terjadi pada struktur *box* akibat beban yang diberikan. Deformasi berlebih dapat memengaruhi fungsi dan akurasi alat uji mata. Nilai deformasi yang dianggap aman adalah yang tidak mengganggu posisi relatif komponen internal.

3. Analisis Faktor Keamanan (*Safety Factor*)



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Struktur dinyatakan aman apabila $SF \geq 1,2$. Apabila pada zona tertentu ditemukan nilai SF di bawah batas minimum, maka dilakukan evaluasi dan rekomendasi optimasi desain, seperti penebalan plat atau penambahan penguat (*rib/gusset*) pada bagian yang rawan

Seluruh tahapan tersebut didokumentasikan dalam diagram alir penelitian berikut agar proses penelitian dapat direplikasi.

Data hasil simulasi dianalisis menggunakan teknik analisis deskriptif-kuantitatif. Distribusi tegangan *Von Mises Stress* pada seluruh bagian struktur box dianalisis untuk menentukan lokasi tegangan maksimum, yang dibandingkan dengan *yield strength* material ASTM A36 sebesar 250 MPa. Nilai deformasi total (*total displacement*) dianalisis untuk mengetahui seberapa besar perubahan bentuk yang terjadi pada struktur box akibat beban yang diberikan.

Pada penelitian ini tidak melibatkan subjek manusia maupun data pribadi, karena objek penelitian adalah model struktur mekanik yang dianalisis sepenuhnya secara simulasi digital, sehingga prosedur informed consent dan kerahasiaan data partisipan tidak berlaku dalam penelitian ini.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Hasil perancangan desain mekanik box prototype alat uji mata driver menggunakan Autodesk Inventor 2025 menghasilkan model 3D dengan dimensi panjang 650 mm, lebar 400 mm, dan tinggi 400 mm. Material yang digunakan adalah plat besi ASTM A36 dengan ketebalan 1,2 mm. Desain ini mempertimbangkan aspek fungsional untuk menampung komponen mekanik, elektrik, dan sistem kontrol *three rods test*, serta aspek ergonomis bagi pengguna alat.



Gambar 3. Hasil Akhir Desain 3D Box Prototype

Material yang digunakan pada struktur box prototype adalah plat besi ASTM A36 (Steel Alloy). Material ini dipilih karena memiliki kekuatan mekanik yang memadai, mudah difabrikasi, serta harganya relatif terjangkau. Properti mekanik material ASTM A36 yang digunakan dalam simulasi ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 3. Properti Material ASTM A36

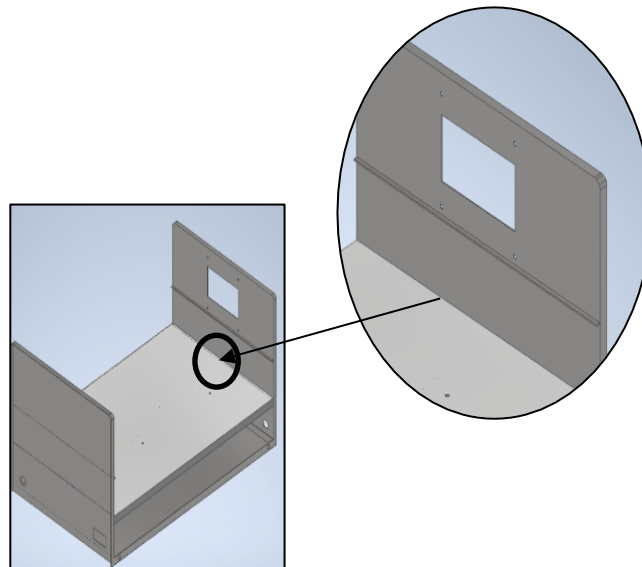
Properti	Nilai	Satuan
<i>Yield Strength</i>	250	MPa
<i>Ultimate Tensile Strength</i>	400	MPa
<i>Modulus Elastisitas</i>	200	GPa
<i>Poisson's Ratio</i>	0,26	-
Massa Jenis	7.850	Kg/m ³

Beban kerja yang diberikan pada struktur diasumsikan berasal dari berat komponen dudukan motor penggerak *three rods test* beserta bebannya, dengan massa total sebesar 5 kg. Berdasarkan hukum kedua Newton, besar gaya yang bekerja dihitung menggunakan rumus $F = m \times g$, dengan $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ sehingga diperoleh gaya sebesar 49,05 N. Gaya ini diberikan secara vertikal ke bawah pada titik dudukan motor di atas permukaan box.

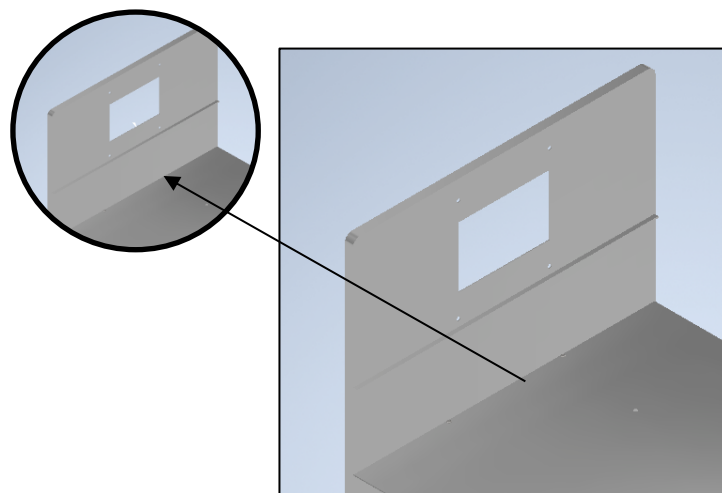
Tabel 4. Data Pembebanan Simulasi

Parameter	Nilai	Satuan
Massa beban (m)	5	kg
Percepatan gravitasi (g)	9,81	m/s ²
Gaya beban ($F = m \times g$)	49,05	N

Dua kondisi konfigurasi dudukan motor dianalisis dalam penelitian ini, yaitu: (1) dudukan motor tanpa sambungan baut, dan (2) dudukan motor menggunakan sambungan baut, untuk mengetahui pengaruh jenis sambungan terhadap distribusi tegangan pada struktur. Kondisi tumpuan (*fixed constraint*) diterapkan pada bagian kaki box dan titik-titik pemasangan pada rangka meja, mengunci seluruh derajat kebebasan translasi dan rotasi pada bagian tersebut, sesuai dengan kondisi pemasangan alat yang sebenarnya di lapangan. Selain beban kerja tersebut, gaya gravitasi sebesar $9,81 \text{ m/s}^2$ turut diberikan pada seluruh model agar berat struktur itu sendiri diperhitungkan sebagai beban tambahan.



Gambar 4. Dimensi Box Tidak Menggunakan Baut

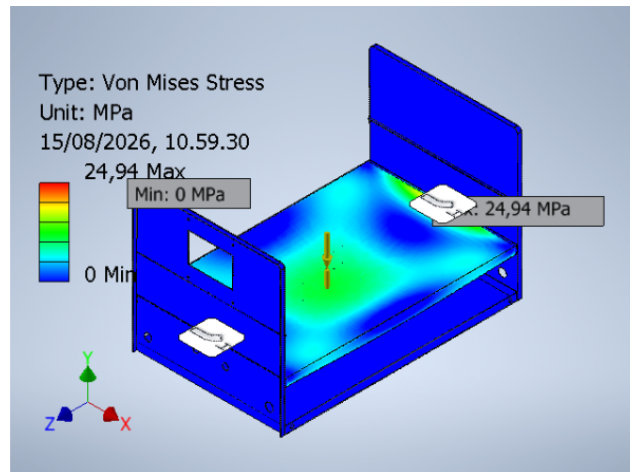


Gambar 5. Dimensi Box Menggunakan Baut

3.1 Analisis Dudukan Motor Tanpa Sambungan Baut

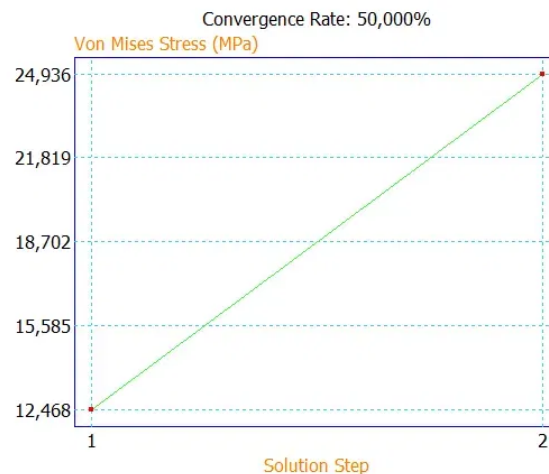
1. Von Mises Strees

Pada konfigurasi pertama, dudukan motor menyatu langsung dengan permukaan box tanpa sambungan baut. Simulasi *Von Mises Stress* menunjukkan nilai tegangan maksimum sebesar 24,9361 MPa yang terjadi di sekitar area titik pembebanan pada bagian tengah permukaan box, sementara area lainnya menunjukkan tegangan yang jauh lebih rendah, mengindikasikan distribusi beban yang terkonsentrasi pada satu zona.



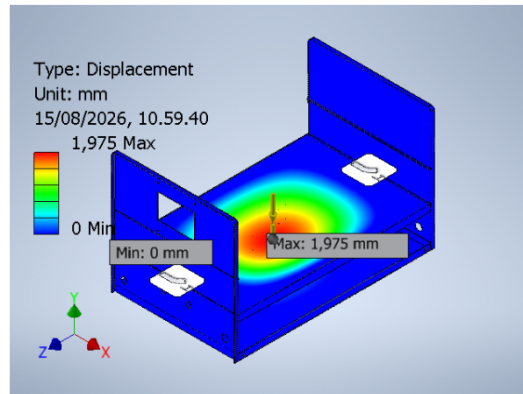
Gambar 6. Analisis Von Mises Strees Tanpa Menggunakan Baut

Untuk memastikan validitas dan keakuratan hasil simulasi, dilakukan peninjauan terhadap tingkat konvergensi solusi (*solution convergence*) pada parameter tegangan *Von Mises Stress* yang dihasilkan oleh perangkat lunak Autodesk Inventor melalui fitur *Stress Analysis*. Peninjauan konvergensi ini bertujuan untuk memastikan bahwa hasil simulasi telah stabil dan tidak lagi dipengaruhi secara signifikan oleh ukuran elemen (*mesh*) yang digunakan.

Gambar 7. Konvergensi solusi *Von Mises Strees* (Tanpa Baut)

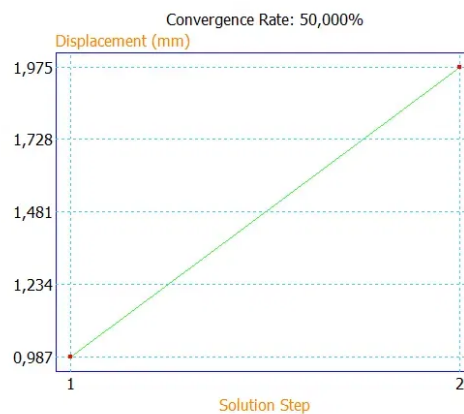
2. *Displacement* (Deformasi) tanpa sambungan baut

Hasil simulasi deformasi total (*total displacement*) pada konfigurasi ini menunjukkan nilai deformasi maksimum yang relatif kecil dan tidak signifikan mengganggu posisi relatif komponen internal, sehingga tidak memengaruhi fungsi alat secara keseluruhan. Perpindahan maksimum terjadi pada bagian tengah pelat dasar (*base plat*) yang menerima pembebanan secara langsung, dengan nilai maksimum sebesar 1,97481 mm. Nilai tersebut menunjukkan bahwa struktur mengalami deformasi elastis akibat gaya yang bekerja. Meskipun terjadi perubahan bentuk, deformasi yang dihasilkan masih berada dalam batas yang dapat diterima sehingga tidak mengganggu fungsi utama *box prototype* sebagai penyangga komponen alat uji mata driver.



Gambar 8. Gambar Analisis Deformasi Tanpa Menggunakan Baut

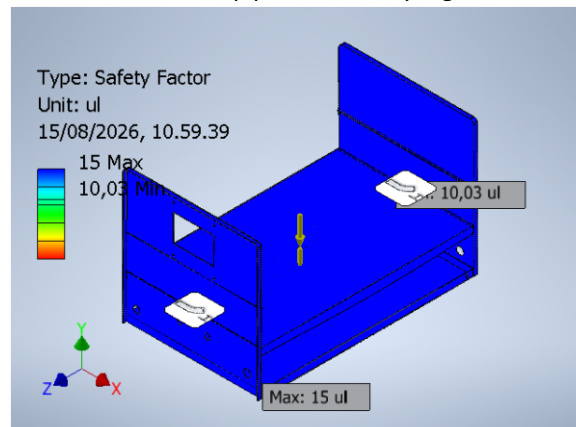
Untuk memastikan validitas dan keakuratan hasil simulasi, dilakukan peninjauan terhadap tingkat konvergensi solusi (*solution convergence*) pada parameter deformasi yang dihasilkan oleh perangkat lunak Autodesk Inventor melalui fitur *Stress Analysis*. Peninjauan konvergensi ini bertujuan untuk memastikan bahwa hasil simulasi telah stabil dan tidak lagi dipengaruhi secara signifikan oleh ukuran elemen (*mesh*) yang digunakan.



Gambar 9. Konvergensi solusi (*solution convergence*) Deformasi

3. Faktor Keamanan (*Safety Factor*) tanpa sambungan baut

Berdasarkan nilai yield strength material ASTM A36 sebesar 250 MPa dan tegangan *Von Mises* maksimum 24,9361 MPa, diperoleh nilai *safety factor* minimum sebesar 10,0256. Nilai ini jauh melampaui batas minimum yang disyaratkan ($SF \geq 1,2$), sehingga struktur pada konfigurasi tanpa sambungan baut dinyatakan aman terhadap pembebanan yang diberikan.



Gambar 10. Gambar Analisis *Safety Factor* Tanpa Menggunakan Baut

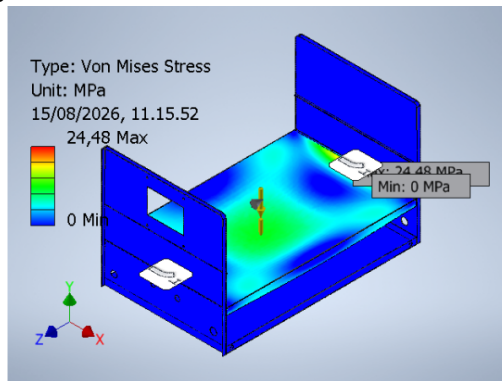
Tabel 5. Ringkasan Hasil Simulasi Dudukan Tanpa Baut

Parameter	Nilai	Satuan
<i>Von Mises Stress Maks.</i>	24,9361	MPa
<i>Yield Strength Material</i>	250	MPa
<i>Safety Factor Minimum</i>	10,0256	-

3.2 Analisis Dudukan Motor Menggunakan Sambungan Baut

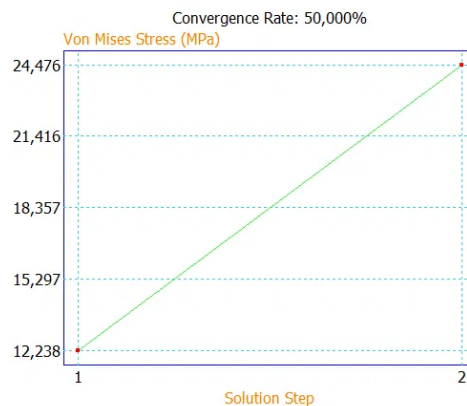
1. *Von Mises Stress* menggunakan sambungan baut

Pada konfigurasi kedua, dudukan motor dipasang menggunakan sambungan baut. Hasil simulasi *Von Mises Stress* menunjukkan nilai tegangan maksimum sebesar 24,4759 MPa, sedikit lebih rendah dibandingkan konfigurasi tanpa baut, dengan distribusi tegangan yang tampak lebih merata di sekitar titik-titik sambungan baut.



Gambar 11. *Von Mises Stress* Dudukan Motor dengan Sambungan Baut

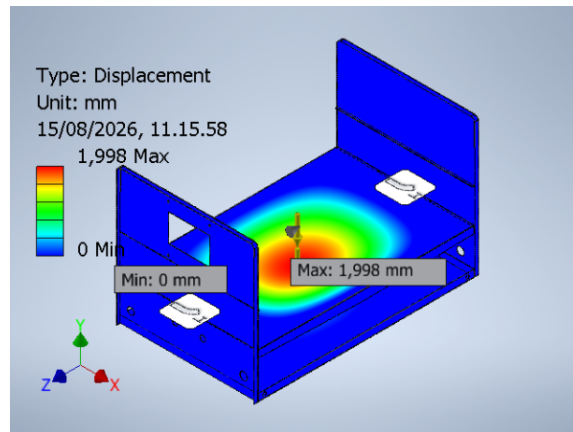
Untuk memastikan validitas dan keakuratan hasil simulasi, dilakukan peninjauan terhadap tingkat konvergensi solusi (*solution convergence*) pada parameter tegangan *Von Mises Stress* yang dihasilkan oleh perangkat lunak Autodesk Inventor melalui fitur *Stress Analysis*. Peninjauan konvergensi ini bertujuan untuk memastikan bahwa hasil simulasi telah stabil dan tidak lagi dipengaruhi secara signifikan oleh ukuran elemen (*mesh*) yang digunakan.



Gambar 12. Konvergensi solusi *Von Mises Stress* (Menggunakan Baut)

2. Deformasi (*Displacement*) menggunakan sambungan baut

Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai *displacement* maksimum sebesar 1,99807 mm, sedangkan nilai minimum sebesar 0 mm berada pada bagian yang diberikan *Fixed Constraint*. Perpindahan maksimum terjadi pada bagian dudukan motor yang menerima pembebanan secara langsung. Nilai tersebut menunjukkan bahwa struktur mengalami deformasi elastis akibat gaya yang bekerja. Namun demikian, besar deformasi yang terjadi masih relatif kecil sehingga tidak memengaruhi fungsi utama *box prototype* sebagai penyangga komponen alat uji mata *driver*.



Gambar 13. Gambar Analisis Deformasi Menggunakan Sambungan Baut

Untuk memastikan validitas dan keakuratan hasil simulasi, dilakukan peninjauan terhadap tingkat konvergensi solusi (*solution convergence*) pada parameter deformasi yang dihasilkan oleh perangkat lunak Autodesk Inventor melalui fitur Stress Analysis. Peninjauan konvergensi ini bertujuan untuk memastikan bahwa hasil simulasi telah stabil dan tidak lagi dipengaruhi secara signifikan oleh ukuran elemen (mesh) yang digunakan.

3. Safety Factor (Faktor Keamanan) Menggunakan Sambungan Baut

Berdasarkan hasil simulasi diperoleh nilai *Safety Factor* minimum sebesar 10,2141, sedangkan nilai maksimum sebesar 15. Nilai tersebut menunjukkan bahwa struktur masih memiliki tingkat keamanan yang tinggi terhadap pembebanan statis. Nilai minimum sebesar 10,2141 mengindikasikan bahwa struktur masih memiliki cadangan kekuatan yang besar sebelum mencapai batas luluh material. Dengan demikian, desain *box prototype* menggunakan sambungan baut dinyatakan aman untuk menerima pembebanan sesuai dengan kondisi simulasi yang dilakukan.

Tabel 6. Ringkasan Hasil Simulasi Dudukan dengan Baut

Parameter	Nilai	Satuan
<i>Von Mises Stress Maks.</i>	24,4759	MPa
<i>Yield Strength Material</i>	250	MPa
<i>Safety Factor Minimum</i>	10,2141	-

3.3 Validasi Hasil Simulasi

Validasi hasil simulasi dilakukan melalui pendekatan kesetimbangan gaya global ($\Sigma F = 0$) untuk memeriksa apakah *solver FEA (Finite Element Analysis)* telah mencapai kondisi konvergen dan hasil simulasi konsisten secara fisika. Validasi ini dilakukan dengan membandingkan gaya total hasil perhitungan teoritis terhadap gaya total hasil simulasi, baik pada model tanpa sambungan baut maupun model dengan sambungan baut.

Perhitungan gaya total secara teoritis dirumuskan sebagai berikut:

$$F_{(total)} = W + F = (m \times g) + F$$

Dengan:

F = Gaya Pembebanan (N)

M = Massa Struktur (Kg)

G = Percepatan Gravitasi (m/s^2)

Sebelum dilakukan perhitungan, terlebih dahulu ditentukan parameter-parameter yang akan dihitung guna memastikan validitas hasil analisis yang diperoleh dari simulasi menggunakan software Autodesk Inventor 2025.

Tabel 7. Parameter Analysis

Parameter	Tanpa Sambungan Baut	Menggunakan Sambungan Baut
<i>Constraint</i>	118,023	118,014
<i>Volume</i>	909506 mm ³	909.495 mm ³
<i>Mass</i>	7,03048 kg	7,03039 kg
<i>Von Mises Strees</i>	24,9361 MPa	24,4759 MPa
<i>Displacement</i>	1,97481 mm	1,99807 mm
<i>Safety Factor</i>	15	15

1. Model tanpa sambungan baut :

$$W = m \times g = 7,03048 \text{ kg} \times 9,81 \frac{m}{s^2} = 68,969 \text{ N}$$

$$F_{(total, teoritis)} = W + F = 68,969 \text{ N} + 49,05 \text{ N} = 118,019 \text{ N}$$

$$F(\text{total, simulasi}) = \Sigma F_y \text{ Fixed Constraint} = 118,023 \text{ N}$$

$$= \text{Selisih} = |118,023 - 118,019| / 118,023 \times 100\% \approx 0,003\%$$

2. Model menggunakan sambungan baut

$$W = m \times g = 7,03039 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 68,968 \text{ N}$$

$$F(\text{total, teoritis}) = W + F = 68,968 \text{ N} + 49,05 \text{ N} = 118,018 \text{ N}$$

$$F(\text{total, simulasi}) = \text{Reaction Force Fixed Constraint: 1} = 118,014 \text{ N}$$

$$\text{Selisih} = |118,014 - 118,018| / 118,014 \times 100\% \approx 0,003\%$$

3.4 Perbandingan Hasil Simulasi

Perbandingan hasil simulasi antara kedua konfigurasi dudukan motor ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 8. Perbandingan Hasil Simulasi Kedua Konfigurasi

Parameter	Tanpa Baut	Dengan Baut
Von Mises Stress Maks. (MPa)	24,9361	24,4759
Safety Factor Minimum	10,0256	10,2141
Validasi $\Sigma F=0$ (selisih)	$\approx 0,003\%$	$\approx 0,003\%$

Berdasarkan perbandingan tersebut, konfigurasi dudukan motor dengan sambungan baut menghasilkan tegangan Von Mises yang sedikit lebih rendah dan safety factor yang sedikit lebih tinggi dibandingkan konfigurasi tanpa baut, serta menghasilkan distribusi tegangan yang lebih merata di sekitar titik sambungan. Kedua konfigurasi sama-sama dinyatakan aman karena memiliki safety factor jauh di atas batas minimum ($SF \geq 1,2$). Namun demikian, konfigurasi dengan sambungan baut lebih direkomendasikan sebagai desain akhir karena kemudahan proses perakitan, perawatan, dan penggantian komponen apabila terjadi kerusakan, di samping keunggulan distribusi tegangannya yang lebih merata.

4. CONCLUSION

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa hal yang dapat disarankan untuk penyempurnaan maupun pengembangan penelitian selanjutnya, antara lain:

1. Penelitian ini hanya menggunakan dua solution step dalam proses simulasi, sehingga hasil *convergence rate* yang diperoleh masih tergolong tinggi (sekitar 50%) dan belum dapat dipastikan bahwa hasil simulasi telah sepenuhnya independen terhadap parameter penyelesaian. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan dilakukan penambahan jumlah solution step serta pengujian konvergensi mesh (*mesh convergence study*) dengan variasi tingkat kehalusan *mesh* yang lebih banyak, sehingga akurasi dan keandalan hasil simulasi dapat lebih terjamin.
2. Hasil simulasi FEA pada penelitian ini belum divalidasi secara eksperimental terhadap prototipe fisik. Oleh karena itu, disarankan dilakukan pembuatan prototipe fisik box beserta pengujian pembebanan secara langsung, agar hasil simulasi dapat dibandingkan dan divalidasi dengan data pengukuran aktual di lapangan.
3. Penelitian ini menggunakan material plat besi ASTM A36 dengan satu ketebalan (1,2 mm). Disarankan untuk penelitian selanjutnya dilakukan studi variasi material dan ketebalan plat guna mengevaluasi potensi pengurangan berat (*weight reduction*) struktur box tanpa mengabaikan aspek keamanan (*Safety Factor*), sehingga desain dapat lebih ringan dan efisien dari segi biaya produksi.
4. Penelitian ini berfokus pada aspek kekuatan struktural saja. Untuk pengembangan lebih lanjut, disarankan dilakukan kajian tambahan dari aspek ergonomi penggunaan, kemudahan proses manufaktur (*manufacturability*), serta estimasi biaya produksi (*cost analysis*), sehingga alat uji mata driver yang dirancang benar-benar siap diproduksi dan digunakan secara masal.

ACKNOWLEDGEMENTS

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Politeknik Takumi, dosen pembimbing, seluruh dosen, serta pihak-pihak yang telah memberikan bantuan, arahan, dukungan, dan fasilitas selama proses penelitian dan penyusunan tugas akhir. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada seluruh pihak yang telah membantu proses fabrikasi, perakitan, dan pengujian prototype alat uji mata driver berbasis metode Three Rod Test sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

REFERENCES

- 1) DOG QSS. (2025). *Stereotests*. https://qss.dog.org/doku.php/st_txt_stereotests
- 2) Fajri, M. U., Ahsan, & Handoyo, Y. (2018). Analisis Material Baja ASTM A36 dengan Metode Simulasi Building Information Modeling. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 6(2). <http://ejournal.unismabekasi.ac.id>
- 3) Hazizi, K., & Ghaleeh, M. (2023). Design and Analysis of a Typical Vertical Pressure Vessel Using ASME Code and FEA Technique. *Designs*, 7(78). <https://doi.org/10.3390/designs7030078>
- 4) Iehisa, I., Ayaki, M., Tsubota, K., & Negishi, K. (2020). Factors affecting depth perception and comparison of depth perception measured by the three-rods test in monocular and binocular vision. *Heliyon*, 6(9). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04904>
- 5) Kut, S., & Stachowicz, F. (2020). Cross-section deformation and bending moment of a steel square tubular section. *Materials*, 13(5170), 1–10. <https://doi.org/10.3390/ma13225170>
- 6) Matsuo, T., Morisawa, Y., Yoshinaga, T., Ikebe, M., Hosogi, R., & Matsuo, C. (2018). Three-rods test as drivers' license vision test from the viewpoint of reproducibility, eye deviation, and functional visual acuity. *Heliyon*, 4, 1056. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018>
- 7) Pujiyanto, M. E., Subri, M., & Sani, A. R. (2023). ANALISA KEKUATAN RANGKA AUTOMATIC POTATO CUTTING MACHINE FRAME MENGGUNAKAN SIMULASI SOLIDWORKS. *Jurnal Ilmiah Momentum*, 19(1), 50–57. <https://doi.org/https://doi.org/10.36499/jim.v19i1.8549>
- 8) Rohman, F., Mardiyana, D., Ridha, F., & Satish, K. D. (2023). STRUCTURAL ANALYSIS OF WASTE SEPARATION MACHINE FRAME USING FEA METHOD. *International Journal of Engineering and Applied Technology (IJEAT)*, 6(1), 10–17. <https://doi.org/10.52005/ijeat.v3i1.xxx>