

Analisis *Frame* Sepeda Listrik Roda Tiga Bagi Lansia dan Penyandang Disabilitas Menggunakan Metode Elemen Hingga

Lazuardy Azfa Rayyan^{1*}, Jojo Sumarjo², Firza Adhi Pratama³

^{1,2,3}Universitas Singaperbangsa Karawang, Karawang

*Penulis Korespondensi, email: lazuardy.azfa@gmail.com

Received: 13/06/2025

Revised: 27/06/2025

Accepted: 03/07/2025

Abstract. This study aims to analyze the static strength of a three-wheeled electric bicycle frame designed for elderly and disabled users using three lightweight materials: Aluminium 6061, Aluminium 7075-T, and Magnesium AZ61A-F. The analysis was conducted using the finite element method (FEM) through SolidWorks and Ansys Workbench software. The main parameters evaluated were Von Mises stress, total deformation, and safety factor. The results indicate that all materials exhibited stress levels well below their respective yield strengths and met the minimum safety factor requirement of ISO 4210:2023. Aluminium 7075-T demonstrated the best performance, with the lowest deformation and the highest safety factor (12.994), while Magnesium AZ61A-F offered the lightest weight but with greater deformation. It is concluded that Aluminium 7075-T is the most optimal material due to its balanced structural strength, stiffness, and safety performance.

Keywords: Frame, Electric bike, Finite element method, Safety factor, Static structural, Elderly and disabled users

Abstrak. Desain rangka sepeda listrik roda tiga belum sepenuhnya mempertimbangkan kebutuhan khusus lansia dan penyandang disabilitas, terutama dari aspek kekuatan struktur, efisiensi berat, dan stabilitas berkendara. Penelitian ini menganalisis kekuatan statik rangka sepeda dengan tiga jenis variasi material, yakni Aluminium 6061, Aluminium 7075-T, dan Magnesium AZ61A-F. Simulasi dilakukan menggunakan metode elemen hingga (FEM) melalui perangkat lunak *SolidWorks* dan *Ansys Workbench*, dengan parameter evaluasi meliputi tegangan Von Mises, deformasi total, dan faktor keamanan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa seluruh material memiliki tegangan maksimum di bawah *yield strength* masing-masing, serta nilai faktor keamanan di atas standar ISO 4210:2023. Aluminium 7075-T memberikan performa terbaik dengan deformasi paling rendah (0,2550 mm) dan faktor keamanan tertinggi (12,994), sedangkan Magnesium AZ61A-F unggul dari sisi densitas material, meski disertai deformasi lebih besar. Aluminium 7075-T direkomendasikan sebagai material optimal karena memberikan keseimbangan antara kekuatan struktural, kekakuan, dan efisiensi keamanan, sesuai dengan kebutuhan pengguna berkebutuhan khusus.

Kata Kunci: Rangka sepeda listrik, Metode elemen hingga, Statik struktural, Faktor keamanan, Lansia dan penyandang disabilitas

I. PENDAHULUAN

Sepeda merupakan salah satu kendaraan transportasi yang semakin populer di era modern karena keunggulannya yang ramah lingkungan dan efektif [1], selain membantu mengurangi emisi gas yang menyebabkan polusi udara sepeda juga menawarkan manfaat kesehatan bagi penggunanya [2]. Seiring berkembangnya teknologi, inovasi pada sepeda pun muncul, yaitu sepeda listrik (*e-bike*). Sepeda listrik dengan bantuan pedal (*electric bike* atau *e-bike*) adalah teknologi baru yang bertujuan untuk meningkatkan pengalaman bersepeda dengan

menggabungkan motor bertenaga baterai yang aktif saat pengendara mengayuh. Keunggulan sepeda listrik antara lain ramah lingkungan, hemat biaya, mudah digunakan, lebih cepat, nyaman dan aman. Dibandingkan dengan sepeda konvensional, sepeda listrik dilengkapi dengan berbagai komponen seperti lampu dan rem yang lebih baik, sehingga meningkatkan keamanan dan mengurangi resiko kecelakaan. Tentu dengan berbagai keunggulan tersebut sepeda listrik menjadi alternatif transportasi yang menarik diberbagai kalangan masyarakat. Disisi lain membantu mengurangi

dampak *negative* polusi udara terhadap lingkungan, penggunaan sepeda listrik berpotensi meningkatkan kesehatan masyarakat serta memperbaiki mobilitas, terutama di daerah perkotaan yang padat. Sepeda listrik dapat menjadi solusi yang efektif dan berkelanjutan dalam menghadapi tantangan transportasi masa kini untuk berbagai kalangan masyarakat [3].

Meskipun sepeda listrik memiliki potensi besar untuk meningkatkan mobilitas, adopsinya di kalangan masyarakat luas masih tergolong rendah. Salah satu faktor yang menyebabkan rendahnya tingkat adopsi adalah asumsi bahwa bersepeda hanya sesuai untuk orang tanpa disabilitas atau kelompok usia muda. Namun, sebuah studi di Eropa menunjukkan bahwa 76% penyandang disabilitas menggunakan sepeda sebagai alat bantu mobilitas dalam menjalankan aktivitas sehari-hari. Selain itu, banyak lansia berpendapat bahwa bersepeda lebih mudah daripada berjalan atau mendorong kursi roda sebagai bentuk utama aktivitas fisik. Penggunaan sepeda listrik juga memungkinkan lansia dan penyandang disabilitas untuk lebih mandiri dalam menjalankan aktivitas harian mereka [4]. Lansia sering kali diartikan sebagai individu yang secara fisik mengalami penurunan kemampuan akibat pertambahan usia, baik dari segi pergerakan, fungsi pancaindra, maupun kondisi psikologis. Sementara itu, penyandang disabilitas adalah individu yang memiliki keterbatasan dalam melakukan aktivitas tertentu. Baik lansia maupun penyandang disabilitas sering kali terpaksa menjalankan aktivitas sehari-hari, seperti bepergian atau bekerja, meskipun hasilnya tidak optimal. Pada tahun 2023, persentase penduduk lansia di Indonesia mencapai 11,75%, sementara persentase penyandang disabilitas tercatat sebesar 8,5% dari total populasi [5], [6], [7]. Saat ini, berbagai masalah muncul, khususnya bagi lansia dan penyandang disabilitas fisik, seperti cacat kaki yang disebabkan oleh kecelakaan transportasi atau kecelakaan kerja. Hal ini membuat aktivitas sehari-hari, terutama di luar rumah, menjadi sangat sulit. Saat bepergian atau menggunakan kendaraan, mereka sering memerlukan bantuan tongkat atau kursi roda, serta bantuan orang lain. Dalam kondisi

ini, mereka mudah merasa lelah, terutama karena infrastruktur jalan yang sering kali tidak ideal [8].

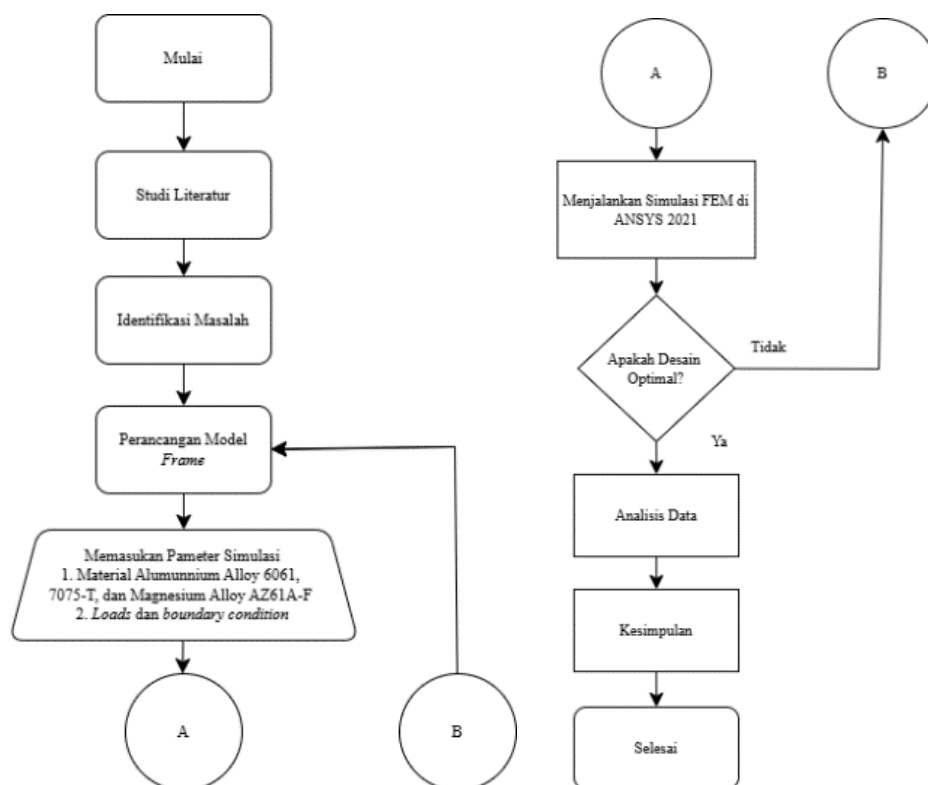
Kondisi jalan yang buruk, ditambah dengan desain rangka sepeda yang kurang memadai, menyebabkan lansia dan penyandang disabilitas mudah merasa lelah saat bersepeda. Secara umum, desain rangka sepeda masih standar dan belum dapat memenuhi kebutuhan lansia dan penyandang disabilitas. Oleh karena itu, diperlukan modifikasi desain dan analisis lebih lanjut. Rangka merupakan bagian utama dari sebuah kendaraan, seperti sepeda, sepeda motor, atau mobil. Fungsinya adalah menopang beban dan menjadi tempat menggabungkan berbagai komponen pendukung lainnya. Untuk berfungsi secara optimal, rangka harus kuat dan kokoh agar mampu menahan beban penumpang, mesin, dan kelengkapannya tanpa mengalami kerusakan atau perubahan bentuk. Selain itu, rangka juga harus ringan agar tidak membebani mesin dan fleksibel untuk meredam getaran. Hal lain yang perlu diperhatikan adalah mempertimbangkan berbagai faktor ini, dengan memperhatikan keamanan, keselamatan, dan kecepatan yang diperlukan [7], [9], [10]. Tahap perancangan desain rangka sangat penting untuk menentukan kekuatan dan nilai keamanan sepeda. Analisis desain rangka sepeda dapat dilakukan secara manual maupun dengan bantuan simulasi perangkat lunak. Salah satu metode yang umum digunakan adalah Analisis Elemen Hingga (FEA), yang sering diterapkan oleh desainer dan insinyur untuk meningkatkan performa rangka. Untuk memperoleh hasil yang lebih akurat, analisis struktur dapat dilakukan menggunakan perangkat lunak seperti Ansys, yang memiliki fitur lengkap untuk mengevaluasi distribusi tegangan, deformasi, dan faktor keamanan secara efisien [10]. Output dari penelitian ini yaitu untuk mendapatkan desain *frame* sepeda yang menggunakan material yang lebih ringan, kuat dalam kekuatan struktur. Berdasarkan kajian literatur, hingga saat ini masih terbatas penelitian yang secara khusus menganalisis desain rangka sepeda listrik roda tiga dengan mempertimbangkan kebutuhan spesifik lansia dan penyandang disabilitas, baik dari segi kekuatan struktural maupun efisiensi berat. Sebagian besar

studi terdahulu cenderung berfokus pada sepeda konvensional dan hanya menggunakan satu jenis material tanpa pendekatan evaluatif yang komprehensif. Contoh penelitian sebelumnya, seperti oleh Ningtyas dkk. [11], hanya menggunakan satu jenis material (baja) dan tidak mengevaluasi performa terhadap standar internasional seperti ISO 4210:2023. Oleh karena itu, penelitian ini memberikan kontribusi orisinal berupa simulasi numerik dengan metode elemen hingga untuk membandingkan beberapa material alternatif yang lebih ringan namun tetap aman secara struktural. Selain itu, belum ditemukan penelitian yang secara kuantitatif membandingkan kinerja beberapa material ringan terhadap karakteristik mekanis rangka menggunakan pendekatan metode elemen hingga (FEM). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengisi kekosongan tersebut dengan melakukan analisis komparatif terhadap tiga jenis material alternatif, yakni Aluminium 6061, Aluminium 7075-T, dan Magnesium AZ61A-F, melalui simulasi numerik berbasis perangkat lunak FEM. Penelitian ini

diharapkan dapat memberikan kontribusi orisinal dalam pengembangan desain rangka sepeda listrik roda tiga yang lebih aman, ringan, dan ergonomis bagi kelompok pengguna berkebutuhan khusus.

II. METODOLOGI

Penelitian ini dilaksanakan untuk mengevaluasi kekuatan statik dari desain *frame* sepeda listrik roda tiga berdasarkan variasi material yang digunakan menggunakan pendekatan numerik berbasis metode elemen hingga (*finite element method*). Seluruh rangkaian penelitian dilakukan secara terstruktur mulai dari pengumpulan referensi, pembuatan model desain menggunakan perangkat lunak *SolidWorks*, penentuan material, hingga analisis simulasi *static structural* menggunakan perangkat lunak *Ansys Workbench*, yang bisa dilihat pada Gambar 1 untuk alur penelitian ini. Penelitian ini berfokus untuk memahami kinerja mekanis dari desain *frame* dengan material yang bervariasi dan untuk menilai perbedaan kekuatan masing-masing material pada desain *frame* tersebut.



Gambar 1. Diagram alir penelitian analisis statik pada *frame*

Tahapan pertama dalam proses penelitian adalah melakukan studi literatur yang bertujuan untuk memperoleh pemahaman mengenai prinsip dasar analisis *static* pada stuktur mekanis, khususnya pada komponen kendaraan yaitu *frame*. Literatur yang dikaji mencakup analisis dengan output untuk mengetahui kekuatan rangka menggunakan variasi material pada saat diberikan pembebanan mencakup tegangan *von-mises*, deformasi, dan faktor keamanan sebagai parameter kelayakan struktur terhadap beban kerja yang diterima [12].

Setelah melakukan kajian literatur dilakukan, proses selanjutnya dilakukan perancangan model desain *frame* menggunakan perangkat lunak *SolidWorks*. Material yang digunakan dalam simulasi yaitu *Aluminium alloy 6061*, 7075-T, dan *Magnesium Alloy AZ61A-F*. Material Aluminium 6061 memiliki keunggulan dalam kemudahan fabrikasi, ketahanan korosi, serta biaya yang ekonomis, namun kekuatannya tergolong sedang sehingga kurang optimal untuk aplikasi beban tinggi; sebaliknya, Aluminium 7075-T6 menawarkan kekuatan tarik dan kestabilan bentuk yang sangat tinggi, tetapi harga material yang mahal dan memiliki kelemahan dalam kemampuan las dan ketahanan korosi yang lebih rendah. Sementara itu, Magnesium AZ61A-F unggul dalam efisiensi berat dan kemampuan meredam getaran, tetapi memiliki kekuatan mekanik dan ketahanan korosi yang lebih rendah dibandingkan kedua paduan aluminium tersebut, sehingga perlu perlakuan tambahan untuk menjaga kestabilan strukturalnya dalam jangka Panjang [13], [14], [15], [16], [17]. Dengan karakteristik yang dimiliki masing-masing material, detail material properties bisa dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Material propertis dari variasi material yang digunakan [16], [17]

Parameter	<i>Al alloy 7075-T6</i>	<i>Al alloy 6061</i>	<i>Mg alloy AZ61A-F</i>
<i>Tensile Strenght</i>	572 MPa	310 MPa	310 MPa
<i>Yield Streght</i>	503 MPa	276 MPa	230 MPa
<i>Density</i>	2.81 g/ cm ³	2.70 g/ cm ³	1,80 g/ cm ³
<i>Modulus Elasticity</i>	72 GPa	70 GPa	45 GPa

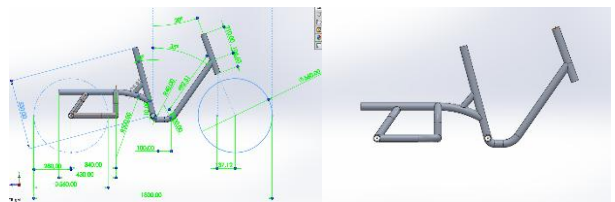
<i>Shear Modulus</i>	26,9 GPa	26 GPa	17 GPa
----------------------	----------	--------	--------

Selanjutnya, memulai proses pengumpulan data dari bentuk dan dimensi dari desain model rangka sepeda roda tiga, data tersebut yaitu bentuk profil yang digunakan dan geometri dari desain sepeda listrik, menggunakan gambar rancangan model rangka yang telah dibuat sebelumnya untuk menentukan modifikasi desain yang akan diterapkan. Kemudian dilakukan pembuatan sketsa sederhana untuk konstruksi rangka sepeda listrik. Pengumpulan data ini bertujuan untuk mendapatkan desain dari rangka sepeda listrik dengan sebaik mungkin, pembuatan desain itu sendiri menggunakan software Solidwork 2021.

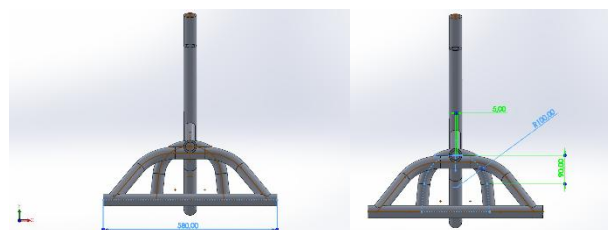
Tabel 2. Spesifikasi desain *frame*

Spesifikasi Desain <i>Frame</i>	Dimensi
Panjang	1210 mm
Lebar	750 mm
Tinggi	1240 mm
Diamter <i>Frame</i> Dalam	42.5 mm
Diameter <i>Frame</i> Luar	30 mm

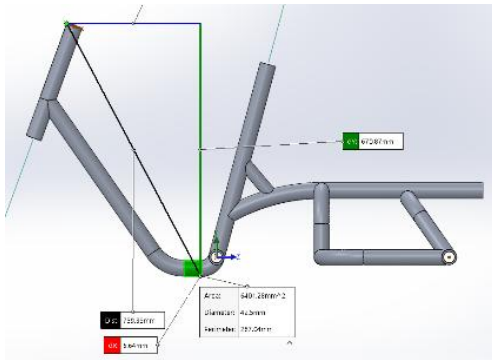
Pada Tabel 2 dan Gambar 3-5 memperlihatkan dimensi dari desain *frame* yang dibuat menggunakan *software SolidWorks*. Selanjutnya, dalam simulasi berbasis metode elemen hingga, penentuan kondisi batas (*boundary condition*) dilakukan untuk merepresentasikan kondisi sebenarnya dari sistem fisik yang dianalisis [12].



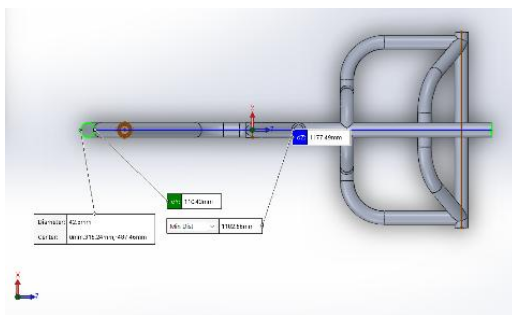
Gambar 2. Desain rancangan model rangka sepeda listrik roda tiga



Gambar 3. Dimensi tampak depan dan belakang *frame* sepeda listrik roda tiga



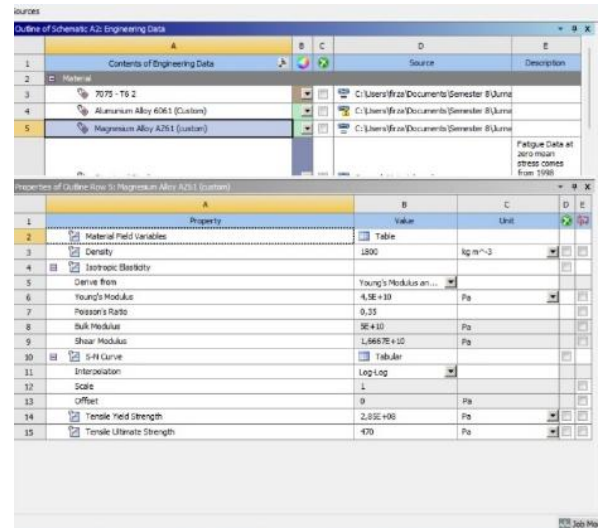
Gambar 4. Dimensi tampak samping *frame* sepeda listrik roda tiga



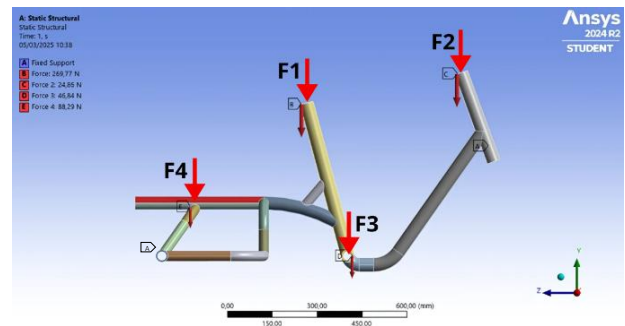
Gambar 5. Dimensi tampak atas *frame* sepeda listrik roda tiga

Dalam simulasi *static structural* menggunakan ANSYS Student, seluruh pembebanan diasumsikan sebagai beban statik murni yang bekerja vertikal akibat gaya gravitasi, tanpa mempertimbangkan pengaruh dinamis seperti getaran atau akselerasi. Titik tumpuan diletakkan pada permukaan bawah *head tube* dan poros roda belakang dengan tanda A pada Gambar 7, yang diberikan *boundary condition* berupa *fixed support* untuk mengunci semua derajat kebebasan translasi dan rotasi, *fixed support* yaitu titik yang dianggap tidak mengalami perpindahan maupun rotasi. Sambungan antar komponen diasumsikan sebagai sambungan kaku (*rigid joint*) tanpa adanya pergeseran atau rotasi relatif. Kontak antar bagian *frame* dimodelkan sebagai *bonded contact* tanpa friksi berdasarkan settingan *default* dari ANSYS. Simulasi dilakukan tanpa mempertimbangkan deformasi akibat friksi permukaan maupun pengaruh termal. Pemodelan mesh dilakukan secara otomatis dengan ukuran elemen sedang, dan kontrol mesh ditambahkan pada area dengan geometri kompleks seperti *footrest* dan

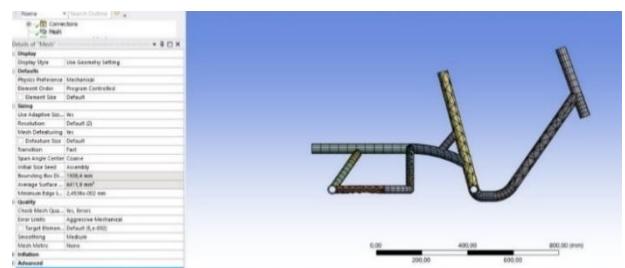
top tube untuk meningkatkan akurasi yang bisa dilihat pada Gambar 7-8.



Gambar 6. Tahapan input geometri desain



Gambar 7. Lokasi titik pemberian pembebanan dan *fixed support* pada desain *frame* sepeda listrik roda tiga



Gambar 8. Hasil pada *meshing* pada *frame* sepeda listrik roda tiga

Proses diskretisasi dalam analisis elemen hingga dikenal sebagai *meshing*. Tahapan ini sangat penting karena memengaruhi kestabilan dan akurasi hasil perhitungan numerik. Waktu komputasi dan ketepatan hasil sangat tergantung pada kepadatan mesh yang digunakan, yang berarti juga pada ukuran elemen yang dibagi dalam model geometri

[12]. Oleh karena itu, pemilihan *meshing* yang tepat sangat memengaruhi kualitas dan ketelitian hasil simulasi, terutama pada bagian-bagian *frame* yang memiliki geometri kompleks atau menjadi titik konsentrasi tegangan [12]. Hasil *meshing* pada Gambar 8 memberikan gambaran tentang bagaimana distribusi elemen di seluruh model variasi desain model *frame* sepeda listrik roda tiga.

Tabel 3. Estimasi *segment* massa pada tubuh manusia[10]

<i>Segment</i>	<i>Emprical Equation</i>	<i>Standard error of estimate</i>
<i>Head</i>	$0.0306 W + 2.46$	0.43
<i>Head and neck</i>	$0.0534 W + 2.33$	0.60
<i>Neck</i>	$0.0146 W + 0.60$	0.21
<i>Head, neck, and torso</i>	$0.5940 W - 2.20$	2.01
<i>Neck and torso</i>	$0.5582 W - 4.26$	1.72
<i>Total arm</i>	$0.0505 W + 0.01$	0.35
<i>Upper arm</i>	$0.0274 W - 0.01$	0.19
<i>Forearm</i>	$0.0189 W - 0.16$	0.15
<i>Forearm and head</i>	$0.0233 W - 0.01$	0.20
<i>Hand</i>	$0.0055 W + 0.07$	0.07
<i>Total leg</i>	$0.1582 W + 0.05$	1.02
<i>thigh</i>	$0.1159 W - 0.02$	0.71
<i>Shank and foot</i>	$0.0452 W + 0.82$	0.41
<i>Shank</i>	$0.0375 W + 0.38$	0.33
<i>Foot</i>	$0.0069 W + 0.47$	0.11

Gaya atau beban pada pengujian kekuatan material rangka dihitung secara empiris berdasarkan parameter yang tercantum pada Tabel 2. Beban tubuh pengendara untuk simulasi statik struktural akan diterapkan pada empat titik pada rangka. Berat pengendara yang ditetapkan dari estimasi rata-rata berat tubuh lansia yaitu $W = 50 \text{ kg}$ [6], berikut perhitungan pada setiap titik pembebanan.

$$F_{p1} = (\text{empirical equation}) \times 9,81^m/s^2 \quad (1)$$

Titik pertama adalah gaya F_1 , dimana gaya F_1 terdiri dari berat bagian tubuh kepala, leher, dan batang tubuh. Perhitungan gaya F_1 yaitu gaya *head, neck and torso* ($0.5940W - 2.20$) dikali gravitasi:

$$F_1 = (0.5940 \times 50 - 2.20) \times 9,81^m/s^2$$

$$F_{p1} = 269,775 \text{ N}$$

Titik kedua adalah gaya F_2 , dimana gaya F_2 terdiri dari berat bagian tubuh lengan atas, lengan bawah dan lengan. Perhitungan gaya F_2 yaitu gaya total *arm* ($0.0505W + 0.01$) dikali gravitasi:

$$F_2 = (0.0505 \times 50 + 0.01) \times 9,81^m/s^2$$

$$F_2 = 24,86835 \text{ N}$$

Titik ketiga adalah gaya F_3 , dimana gaya F_3 terdiri dari berat bagian tubuh paha. Perhitungan gaya F_3 yaitu gaya *thigh* ($0.1159W - 1.02$) dikali gravitasi:

$$F_3 = (0.1159 \times 50 - 1.02) \times 9,81^m/s^2$$

$$F_3 = 46,84275 \text{ N}$$

Titik keempat F_4 adalah massa atau berat komponen baterai dengan asumsi yaitu 10 kg dikalikan dengan gravitasi:

$$F_4 = 10 \text{ kg} \times 9,81^m/s^2$$

$$F_4 = 88,29 \text{ N}$$

Tumpuan pada desain rangka ini berada di permukaan bawah *head tube* dan poros roda belakang. Titik pembebanan F_1 sebesar 269,775 N pada permukaan atas seat tube, F_2 sebesar 24,86835 N terletak pada permukaan atas head tube, F_3 sebesar 46,84275 N terletak pada permukaan pijakan bagian atas pijakan kaki, dan F_4 terletak pada permukaan *top tube* bagian bawah sebesar 88,29 N. Nilai-nilai pembebanan tersebut diperoleh dari perhitungan berat tubuh pengendara dan baterai, mengabaikan berat komponen lainnya.

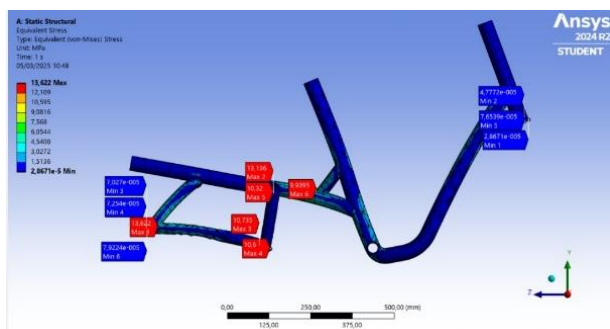
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis simulasi *static structural* dilakukan terhadap desain *frame* menggunakan 3 variasi material. Parameter utama yang dianalisis meliputi tegangan *von mises*, deformasi total, dan faktor keamanan. Ketiga parameter tersebut digunakan sebagai indikator untuk menilai ketahanan dan keandalan dari desain *frame* sepeda listrik roda tiga tersebut.

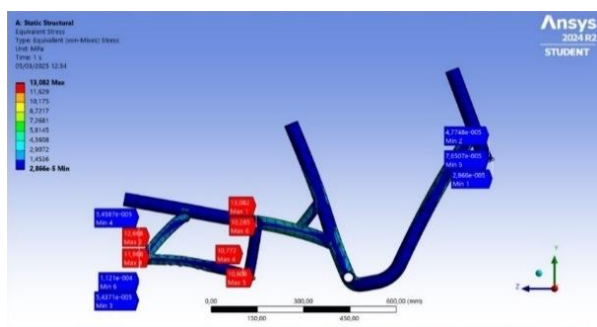
Hasil dari setiap pengujian dibandingkan secara komperatif guna mengevaluasi kinerja relatifnya. Sehingga dapat mengetahui desain *frame* tersebut

unggul dalam kekuatan structural, kestabilan bentuk, dan keselamatan pengguna.

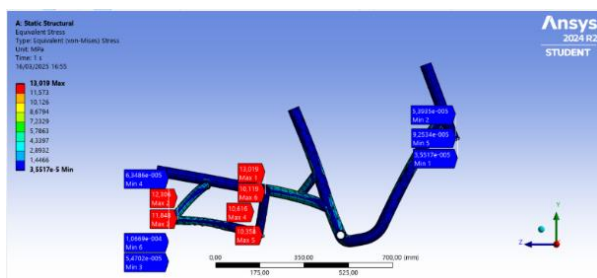
A. Von Mises Stress



Gambar 9. Distribusi tegangan *Von Mises stress* pada desain *frame* sepeda menggunakan material *Al alloy 6061*



Gambar 10. Distribusi tegangan *Von Mises stress* pada desain *frame* sepeda menggunakan material *Al alloy 7075-T*

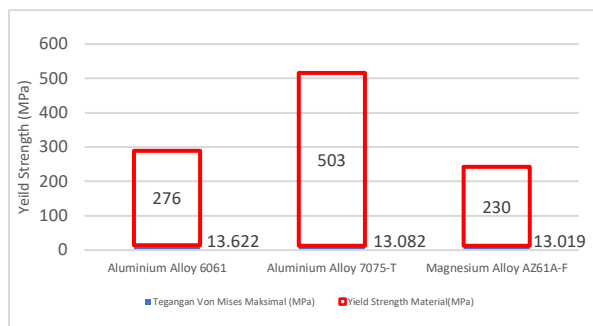


Gambar 11. Distribusi tegangan *Von Mises stress* pada desain *frame* sepeda menggunakan material *Mg alloy AZ61A-F*

Hasil simulasi menunjukkan distribusi tegangan *Von Mises* pada *frame* sepeda listrik roda tiga menggunakan variasi material, yaitu *Aluminium alloy 6061* pada Gambar 8, *Aluminium Alloy 7075-T* pada Gambar 9. Dan *Magnesium Alloy AZ61A-F* pada Gambar 10. Nilai maksimum dan perbandingan tegangan *Von Mises* ditampilkan pada Tabel 4 dan Grafik 1.

Tabel 4. Perbandingan hasil tegangan *von mises*

Material	Tegangan <i>Von Mises</i> maksimal
<i>Aluminium alloy 6061</i>	13,622 MPa
<i>Aluminium Alloy 7075-T</i>	13,082 MPa
<i>Magnesium Alloy AZ61A-F</i>	13,019 MPa

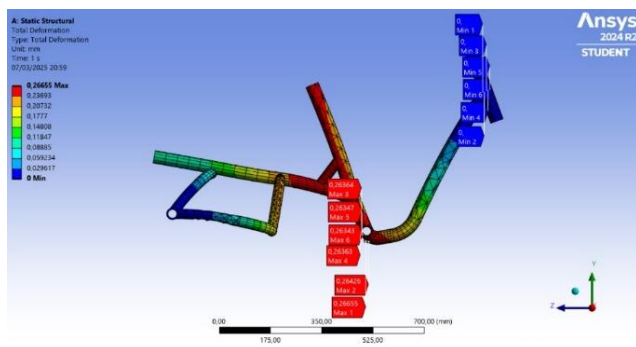


Grafik 1. Perbandingan tegangan *Von Mises* maksimum tiga material yang digunakan

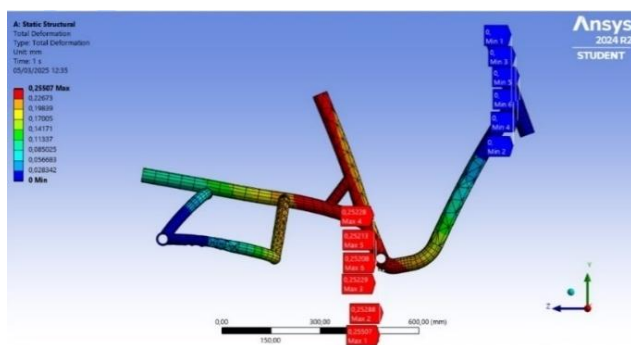
Grafik 1 menunjukkan nilai tegangan *Von Mises* maksimum yang dihasilkan oleh desain rangka sepeda listrik roda tiga untuk masing-masing variasi material. Dari hasil simulasi, *Magnesium Alloy AZ61A-F* menghasilkan tegangan terendah sebesar 13,019 MPa, diikuti oleh *Aluminium 7075-T* sebesar 13,082 MPa, sedangkan *Aluminium 6061* mencatatkan tegangan tertinggi sebesar 13,622 MPa. Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya oleh Ningtyas dkk [11], yang menggunakan material baja dan menghasilkan tegangan maksimum sebesar 20,026 MPa, maka ketiga material yang diuji dalam studi ini menunjukkan performa yang lebih efisien dalam mendistribusikan beban, dengan nilai tegangan yang lebih rendah meskipun memiliki densitas yang lebih ringan. Temuan ini menegaskan bahwa pemilihan material ringan seperti aluminium dan magnesium tidak hanya mengurangi bobot struktur, tetapi juga tetap mampu menahan beban secara efektif.

Dari Gambar (12-14) menunjukkan hasil dari simulasi *displacement/deformation* dari desain *frame* yang telah diuji. Hasil dari nilai pengujian ditampilkan pada Grafik 2 dan Tabel 5.

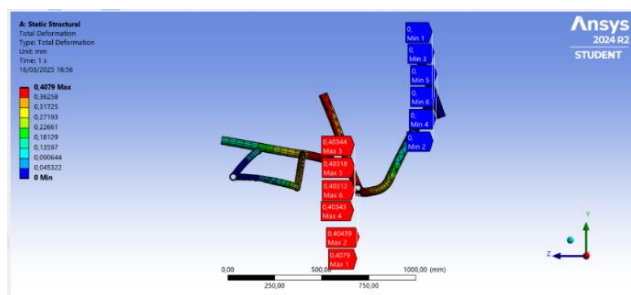
B. Displacement



Gambar 12. Hasil *displacement/deformation frame* menggunakan material *Al alloy 6061*



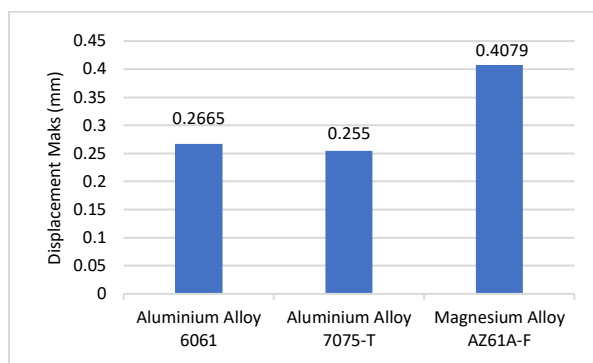
Gambar 13. Hasil *displacement/deformation frame* menggunakan material *Al alloy 7075-T*



Gambar 14. Hasil *displacement/deformation frame* menggunakan material *Mg alloy AZ61A-F*

Tabel 5. Perbandingan hasil *displacement*

Material	Displacement (mm)
<i>Aluminium Alloy 6061</i>	0,2665
<i>Aluminium Alloy 7075-T</i>	0,2550
<i>Magnesium Alloy AZ61A-F</i>	0,4079

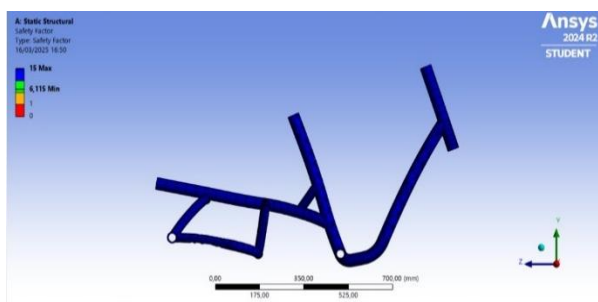


Grafik 2. Perbandingan *displacement* maksimum tiga material yang digunakan

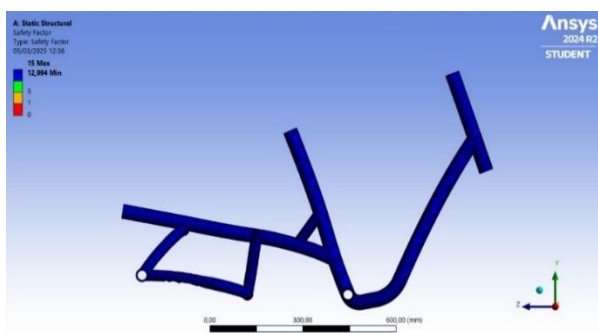
Grafik 2 menunjukkan bahwa semakin tinggi modulus elastisitas suatu material, semakin kecil deformasi yang terjadi. Aluminium 7075-T dengan modulus 72 GPa menghasilkan deformasi terendah sebesar 0,2550 mm, sedangkan Magnesium AZ61A-F dengan modulus 45 GPa menunjukkan deformasi tertinggi sebesar 0,4079 mm. Hal ini menegaskan peran penting modulus elastisitas dalam menjaga kestabilan bentuk struktur. Temuan ini sejalan dengan teori yang menyatakan bahwa material yang lebih lentur cenderung mendistribusikan tegangan secara merata, namun memiliki deformasi lebih besar [1], [11], [18]. Deformasi total yang tinggi dapat menyebabkan struktur terasa lentur atau tidak stabil saat digunakan, yang dapat mengurangi kenyamanan berkendara, khususnya bagi lansia yang membutuhkan kestabilan. Oleh karena itu, diharapkan dalam pemilihan material perlu mempertimbangkan keseimbangan antara kekakuan dan deformasi untuk memastikan kekuatan dan kenyamanan struktur secara menyeluruh.

C. Safety Factor

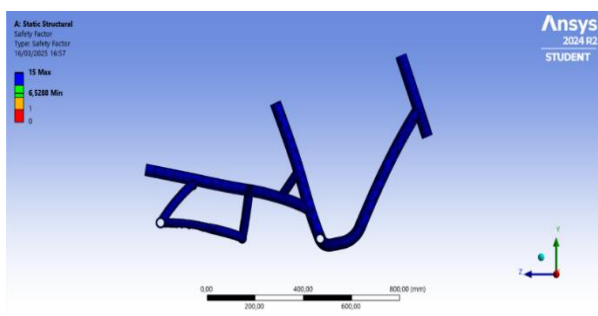
Pada Gambar (15-17) menunjukkan hasil dari simulasi faktor keamanan dari desain *frame* yang menggunakan variasi material telah diuji. Hasil dari nilai pengujian ditampilkan pada Grafik 3 dan Tabel 6.



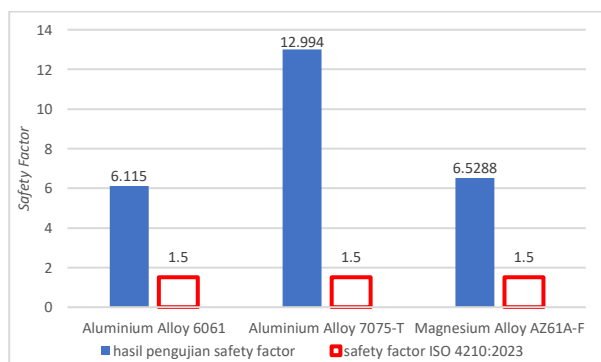
Gambar 15. Hasil *safety factor frame* menggunakan material *Al alloy 6061*



Gambar 16. Hasil *safety factor frame* menggunakan material *Al alloy 7075-T*



Gambar 17. Hasil *safety factor frame* menggunakan material *Mg alloy AZ61A-F*



Grafik 3. Perbandingan *safety factor* tiga material yang digunakan dengan nilai minimal berdasarkan ISO 4210:2023

Tabel 6. Perbandingan hasil *safety factor*

Material	Safety Factor
Aluminium alloy 6061	6,115
Aluminium Alloy 7075-T	12,994
Magnesium Alloy AZ61A-F	6,5288

Pada Tabel 6 menunjukkan nilai pengujian faktor keamanan, Aluminium 7075-T6 menunjukkan performa paling aman dengan nilai *safety factor* tertinggi sebesar 12,994, sedangkan Aluminium 6061 dan Magnesium AZ61A-F mencatatkan faktor keamanan masing-masing sebesar 6,115 dan 6,5288, yang masih dalam kategori aman untuk digunakan sebagai material rangka sepeda. Adapun pada standar ISO 4210:2023 merupakan pedoman internasional yang menetapkan persyaratan keamanan minimum untuk kendaraan sepeda, termasuk desain rangka, material, dan pengujian kinerja, khususnya untuk faktor keamanan minimal 1,5 atau $N > 1.5$ pada pengujian beban statis[19]. Seperti pada Grafik 3, menunjukkan hasil dari perbandingan nilai minimum *safety factor* berdasarkan standar ISO 4210:2023 dengan hasil nilai pengujian *safety factor* dari masing-masing material yang digunakan, semuanya mendapatkan hasil melebihi dari nilai minimum yang ditetapkan. *Safety factor* yang tinggi menunjukkan bahwa struktur masih jauh dari batas plastis, sehingga mengurangi risiko kegagalan akibat beban kerja berulang. Hal ini berimplikasi langsung pada umur pakai struktur yang lebih panjang, sebagaimana ditegaskan. bahwa struktur yang bekerja jauh di bawah *yield strength* lebih tahan terhadap kelelahan material dan kerusakan dini [18], [20].

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini telah melakukan analisis statik terhadap rangka sepeda listrik roda tiga menggunakan tiga jenis material ringan, yaitu Aluminium 6061, Aluminium 7075-T, dan Magnesium AZ61A-F, melalui metode elemen hingga. Hasil simulasi menunjukkan seluruh material memiliki tegangan maksimum yang jauh di bawah nilai *yield strength* masing-masing, sehingga aman terhadap deformasi plastis. Aluminium 7075-T memberikan performa terbaik dengan deformasi

terendah dan faktor keamanan tertinggi, sedangkan Magnesium AZ61A-F memiliki deformasi terbesar namun menawarkan efisiensi berat terbaik. Penelitian ini berkontribusi dalam memberikan analisis komparatif performa material ringan untuk desain rangka sepeda roda tiga yang diperuntukkan bagi lansia dan penyandang disabilitas.

Keterbatasan studi ini terletak pada sifatnya yang masih berbasis simulasi, tanpa validasi prototipe fisik. Oleh karena itu, penelitian lanjutan disarankan untuk melakukan pengujian eksperimental serta mempertimbangkan pembebanan dinamis agar mendekati kondisi lapangan. Evaluasi aspek ergonomi dan kenyamanan pengguna juga perlu dilakukan, seperti posisi duduk, stabilitas saat berkendara, serta integrasi fitur tambahan seperti sandaran dan suspensi. Selain itu, pengembangan desain dapat diarahkan pada optimasi bentuk untuk mengurangi berat tanpa mengorbankan kekuatan, serta mempertimbangkan efisiensi biaya dan kemudahan produksi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada teman-teman Teknik mesin Angkatan 21 UNSIKA, terkhusus *grup children oldman*.

REFERENSI

- [1] C.-C. Lin, S.-J. Huang, and C.-C. Liu, "Structural analysis and optimization of bicycle frame designs," *Advances in Mechanical Engineering*, vol. 9, no. 12, p. 168781401773951, Dec. 2017, doi: 10.1177/1687814017739513.
- [2] K. Khavarian, S. Vosough, and C. Roncoli, "Bike users' route choice behaviour: Expectations from *electric bikes* versus reality in Greater Helsinki," *Journal of Cycling and Micromobility Research*, vol. 2, p. 100045, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.jcmr.2024.100045.
- [3] A. Hesthi, P. Ningtyas, I. A. Pahlawan, R. C. Muhamadin, P. Sudirdjo, and A. V. Dagmar, "ANALISA TEGANGAN PADA RANGKA SEPEDA DENGAN MENGGUNAKAN MATERIAL CARBON," vol. 3, no. 4, p. 514, 2022.
- [4] K. Lee and I. N. Sener, "E-bikes Toward Inclusive Mobility: A Literature Review of Perceptions, Concerns, and Barriers," *Transp Res Interdiscip Perspect*, vol. 22, Nov. 2023, doi: 10.1016/j.trip.2023.100940.
- [5] E. Di Giorgio, R. Polli, M. Lunghi, and A. Murgia, "Impact of the COVID-19 Italian Lockdown on the Physiological and Psychological Well-Being of Children with Fragile X Syndrome and Their Families," *Int J Environ Res Public Health*, vol. 18, no. 11, p. 5752, May 2021, doi: 10.3390/ijerph18115752.
- [6] pagaralamkota, "Statistik Lansia," *pagaralamkota.bps.go.id*, pagaralam, Feb. 01, 2024.
- [7] R. Pramanda and D. Santhi Dewi, "Rancangan Desain Sandaran Sepeda Motor Bagian Belakang Untuk Lansia," 2020. [Online]. Available: <http://hubdat.dephub.go.id/berita-foto/1533-surat->
- [8] H. Rafid Azzindan and R. Febritasari, "Perancangan Sepeda Roda Tiga Model Tadpole Untuk Penyandang Disabilitas Dan Simulasi Menggunakan Metode Elemen Hingga," 2023.
- [9] I. N. Agus Adi, K. R. Dantes, and I. N. P. Nugraha, "ANALISIS TEGANGAN STATIK PADA RANCANGAN FRAME MOBIL LISTRIK GANESHA SAKTI (GASKI) MENGGUNAKAN SOFTWARE SOLIDWORKS 2014," *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, vol. 6, no. 2, p. 113, Aug. 2018, doi: 10.23887/jjtm.v6i2.13046.
- [10] A. B. Mardika, R. Febritasari, and I. K. A. Widi, "Analisa Pengaruh Kekuatan Material pada Rangka Sepeda Listrik dengan Profil Rectangular Tube terhadap Material Aluminium 6061 dan Baja Aisi 1020 menggunakan Software Ansys Workbench."
- [11] F. A. Budiman, A. Septiyanto, S. Sudiyo, A. D. N. I. Musyono, and R. Setiadi, "Analisis Tegangan Von Mises dan Safety factor pada Chassis Kendaraan Listrik Tipe In-Wheel," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 16, no. 1, p. 100, Apr. 2021, doi: 10.32497/jrm.v16i1.1997.

- [12] A. Arum, R. Dewi Anjani, U. Singaperbangsa Karawang, and P. Korespondensi, “Analisis Statik Footrest Sepeda Motor terhadap Variasi Desain dan Kondisi Pembebanan Menggunakan Metode Elemen Hingga,” *Journal of Mechanical and Electrical Technology*, vol. 4, no. 2, 2025.
- [13] S. J. Yao *et al.*, “Microstructural characterization and mechanical properties of 6061 aluminum alloy processed with short-time solid solution and aging treatment,” *J Alloys Compd*, vol. 960, p. 170704, Oct. 2023, doi: 10.1016/j.jallcom.2023.170704.
- [14] W. Liu, B. Jiang, S. Luo, S. Chen, and F. Pan, “Mechanical properties and failure behavior of AZ61 magnesium alloy at high temperatures,” *J Mater Sci*, vol. 53, no. 11, pp. 8536–8544, Jun. 2018, doi: 10.1007/s10853-018-2125-7.
- [15] S. Ekşi and H. Pehlivan, “Mechanical properties of a 7075-T6 aluminum alloy at elevated temperatures,” *Materials Testing*, vol. 64, no. 10, pp. 1410–1419, Oct. 2022, doi: 10.1515/mt-2022-0072.
- [16] Aerospace Specification Material Inc., “Magnesium Alloy Series,” ASM.
- [17] Aerospace Specification Metals Inc., “Series Aluminium Alloy,” ASM.
- [18] Jr. William D. Callister and David G. Rethwisch, *Materials Science And Engineering*, 10th ed. John Wiley & Sons, 2020.
- [19] the International Organization for Standardization, “ISO 4210-2:2023,Cycles — Safety requirements for bicycles — Part 2: Requirements for city and trekking, young adult, mountain and racing bicycles,” ISO.
- [20] S. D. E. KARL T. ULRICH, *PRODUCT DESIGN AND DEVELOPMENT*, SIXTH. MCGRAWHILLEDCATION, 2016.