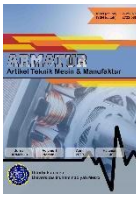
Armatur volume 8 nomor 1 (2027)
ISSN (cetak): 2722-080X, ISSN (online): 2722-0796
Universitas Muhammadiyah Metro

Contents list available at Sinta

ARMATUR

: Artikel Teknik Mesin & Manufaktur

Journal homepage: https://scholar.ummetro.ac.id/index.php/armatur



Rancang Bangun Skuter Listrik Berdaya 36 V 12,6 Ah Menggunakan Metode *Verein Deutscher Ingenieure* (VDI) 2222

Rafael Budiman Manurung[1*], Denny Prumanto[2], Delpima Suhita[3]
[1,2,3]Prodi Teknik Mesin, Universitas Krisnadwipayana, Jakarta, Indonesia

ARTICLE INFO

Keywords: Electric Scooter, VDI 2222, Lithium-Ion Battery, Electric Vehicle, Prototype

Electric Scooter, VDI 2222, Lithium-Ion Battery, Electric Vehicle, Prototype,

ABSTRACT

The development of electric vehicles is one strategy to reduce air pollution, greenhouse gas emissions, and reliance on fossil fuels. This study aimed to design and construct a 36 V electric scooter prototype with a 12.6 Ah battery capacity using the VDI 2222 methodology. The research employed literature review, engineering design, and experimental methods. The research stages included task planning, conceptual design, form design, detailed design, component selection, fabrication, assembly, and performance testing. Key components included a 36 V 500 W brushed DC motor, a 36 V 500 W Controller, a 36 V 12.6 Ah Lithium-ion battery, and an ASTM A36 carbon steel frame. Concept evaluation identified Variant 2 as the optimal design, achieving a score of 42 out of 64 (65%). Frame simulation with a 75 kg (750 N) rider load yielded a maximum stress of 44.090 N/mm², a moment of 108,165.23 Nmm, and a deflection of 1.56 mm. Performance testing indicated power requirements of 2,786.7 W for a 30° incline, 2,723.60 W for a 45° incline, and 507.45 W for flat terrain. The results demonstrate that the VDI 2222 method facilitates a systematic electric scooter design process and yields a fully functional prototype. The design offers further potential for development—specifically regarding motor capacity, drive system efficiency, frame durability, and battery capacity—to better meet power demands across various road conditions.

**Corresponding author*: rafael.budiman01@gmail.com
DOI: https://doi.org/10.24127/armatur.v8i1.12948
Received 28 August 2026; Received in revised form 5 October 2026; Accepted 20 October 2026
Available online 1 November 2026

Pendahuluan

Peningkatan polusi udara, emisi gas rumah kaca, dan ketergantungan pada bahan bakar fosil mendorong pengembangan kendaraan listrik. Kendaraan berukuran ringkas dibutuhkan untuk perjalanan jarak pendek di kawasan perkotaan, perumahan padat, dan jalan lingkungan. Skuter listrik memenuhi kebutuhan tersebut karena konstruksinya sederhana, pengoperasiannya mudah, dan tidak menghasilkan emisi gas buang pada titik penggunaan.

Skuter listrik merupakan salah satu solusi transportasi yang menawarkan efisiensi energi lebih baik dibandingkan kendaraan berbahan bakar fosil. Selain tidak menghasilkan emisi gas buang, skuter listrik juga memiliki biaya operasional yang relatif rendah dan mudah dalam perawatan. Kendaraan ini sangat sesuai untuk mobilitas jarak pendek hingga menengah di wilayah perkotaan, terutama pada lingkungan dengan karakteristik jalan sempit, pemukiman padat, serta gang-gang kecil yang tidak memungkinkan kendaraan bermotor berukuran besar untuk bergerak dengan leluasa. Dengan bentuk yang ringkas dan pengoperasian yang sederhana, skuter listrik mendukung fleksibilitas mobilitas harian seperti perjalanan ke kampus, kantor, pusat perbelanjaan, maupun aktivitas masyarakat.

Baterai menjadi penyimpan energi utama pada kendaraan listrik. Baterai *Lithium-ion* memiliki densitas energi yang lebih tinggi dibandingkan baterai timbal-asam dan dapat diisi ulang. Pemilihan kapasitas baterai, jenis motor, sistem kendali, rasio transmisi, dan kekuatan rangka menentukan kinerja serta keamanan skuter [1], [4]. Ketidaksesuaian antarkomponen dapat menurunkan kecepatan, memperpendek jarak tempuh, dan meningkatkan risiko kegagalan sistem.

skuter berbasis mesin konvensional 2-tak menjadi varian skuter listrik ramah lingkungan menggunakan pendekatan sistematis metode VDI 2222, yang mengintegrasikan pemilihan konsep desain optimal,

Perancangan produk teknik memerlukan tahapan yang jelas agar keputusan desain dapat ditelusuri. Metode VDI 2222 menyusun proses tersebut melalui identifikasi kebutuhan, pengembangan prinsip solusi, evaluasi varian, perancangan wujud, dan perancangan rinci. [2] Pendekatan ini memberi dasar objektif untuk memilih komponen dan konfigurasi yang sesuai dengan fungsi produk.

Penelitian ini menerapkan VDI 2222 pada rancang bangun skuter listrik 36 V 12,6 Ah. Kajian berfokus pada pemilihan konsep, perhitungan elemen mesin, simulasi statis rangka, dan pengujian performa awal. Hasil penelitian diharapkan menjadi dasar pengembangan prototipe dengan efisiensi, keselamatan, dan kemampuan operasi yang lebih terukur.

Pengertian Rancang Bangun. Perancangan dan pembangunan adalah aktivitas yang mencakup proses perencanaan, pengembangan konsep, pembuatan, dan evolusi suatu system, perangkat, atau aplikasi agar dapat beroperasi sesuai dengan kebutuhan yang sudah ditentukan. Proses dimulai dengan analisis permasalahan dan kebutuhan pengguna, diikuti oleh penyusunan desain, pemilihan komponen, dan realisasi hasil desain ke dalam bentuk fisik. Oleh sebab itu, desain tidak hanya fokus pada fase-fase perancangan, tetapi juga pada *method* mengimplementasikan desain tersebut menjadi *product* yang dapat digunakan secara efisien.

Skuter Listrik. Saat ini, masyarakat telah banyak menggunakan sepeda listrik. Skuter listrik adalah kendaraan roda dua dengan motor listrik sebagai penggerak dan bahan bakar utamanya adalah baterai. Karena tidak menghasilkan emisi gas buang, skuter listrik dianggap sebagai opsi kendaraan yang ramah lingkungan. Kekuatan rangka skuter listrik adalah komponen yang sangat penting. Rangka skuter listrik menyambungkan berbagai bagian untuk menopang beban pengendara. Dengan baterai sebagai sumber utama dalam skuter listrik.

Primari Battery. Baterai yang hanya dapat digunakan sekali saja dibuang. Material elektrodanya tidak dapat berkembalikan arah ketika dilepaskan. Energi listrik dihasilkan dari proses oksidasi-reduksi antara elektroda positif *(katoda)* dan negatif *(anoda)* yang dipisahkan oleh *elektrolit*. Setelah energi kimia di dalamnya habis, baterai primer tidak dapat diisi ulang kembali. Baterai primer adalah baterai yang reaksi elektrokimianya tidak *reversibe*.

***Secondary Battery*.** Baterai sekunder memiliki keistimewaan untuk diisi ulang atau digunakan kembali dengan menggunakan arus listrik. Proses kimia yang terjadi di dalam betarai ada *reversibe* (kembali ke keadaan semula), dan bahan aktif dapat kembali ke kondisi semula dengan pengisian sel.

Software SolidWorks. *Software SolidWorks* merupakan sebuah program CAD *(Computer Aided Design)* dengan kemampuan pemodelan tiga dimensi solid untuk proses pembuatan objek *prototype* 3D secara visual, simulasi dan drafting beserta dokumentasi data-datanya. Program *SolidWorks* merupakan program komputer yang berfungsi untuk melakukan analisa kekuatan. Program tersebut dapat membantu kita untuk mengurangi kesalahan dalam membuat desain.

Metode VDI *Verein deutcher ingeniuere* 2221 dan 2222. *Software SolidWorks* merupakan sebuah program CAD *(Computer Aided Design)* dengan kemampuan pemodelan tiga dimensi solid untuk proses pembuatan objek *prototype* 3D secara visual, simulasi dan drafting beserta dokumentasi data-datanya. Program *SolidWorks* merupakan program komputer yang berfungsi untuk melakukan analisa kekuatan. Program tersebut dapat membantu kita untuk mengurangi kesalahan dalam membuat desain.

Metode Penelitian

Metode VDI *(Verein Deutcher Ingeniuere)*. Mendesain merumuskan ide-ide yang ada untuk memecahkan suatu masalah. Ide-ide tersebut memerlukan suatu metode yang dapat dijadikan acuan dasar dan pedomana langkah-langkah dalam proses perancangan atau impelementsi suatu ide. Sehingga dapat menghasilkan sebuah karya yang nyata. Di jerman, hal ini ditentukan oleh asosiasi yang disebut (*Verien Deutcher Ingeniuere*/ VDI) atau umunya dikenal segabai unit desain jerman. Unit desain ini telah menerbitkan metode desain stndar yang dikenal sebagi metode VDI 2221. Metode tersebut adalah "Pendekatan terhadap desain untuk system teknik dan produk teknik.

Tahapan VDI 2222

Tabel 1. Tahapan perancangan VDI 2222

Tahap	Aktivitas utama	Keluaran
Perencanaan tugas	Identifikasi kebutuhan, kendala, dan spesifikasi	Daftar periksa dan daftar kehendak
Perancangan konsep	Dekomposisi fungsi dan kombinasi prinsip solusi	Varian konsep terpilih
Perancangan wujud	Penetapan bentuk, dimensi, material, dan susunan komponen	Model 3D dan konfigurasi prototipe
Perancangan rinci	Penyusunan detail komponen dan dokumen produksi	Gambar detail dan spesifikasi akhir

Setiap keputusan desain ditelusuri melalui kriteria teknis dan nonteknis. Kriteria tersebut meliputi fungsi, kekuatan, keselamatan, kemudahan perakitan, perawatan, ergonomi, ketersediaan komponen, dan biaya.

Struktur Fungsi dan Pemilihan Konsep. Struktur fungsi memetakan masukan, proses, dan keluaran sistem. Kontak on memberikan sinyal aktivasi. Baterai memasok energi listrik menuju *Controller*. *Controller* mengatur arus dan tegangan sesuai masukan throttle. Motor mengubah energi listrik menjadi putaran.

Rantai dan sproket meneruskan putaran menuju roda belakang. Suspensi meredam getaran, sedangkan sistem pengereman mengurangi kecepatan kendaraan.

Tabel 2. Alternatif prinsip solusi

Fungsi	Simbol	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
Penggerak	A	BLDC	DC *brushed*	Servo
Penyimpan energi	B	Aki	Li-Po	*Lithium-ion*
Rangka	C	*Hollow*	Pipa 1 inci	*Galvanis*
Kontrol	D	*Controller* DC	*Controller* BLDC	*Controller servo*
Transmisi	E	Gear	Rantai	*V-belt*
Pengelasan	F	TIG	SMAW	GMAW
Suspensi	G	*Hidraulik*	*Friksi*	*Single acting*

Alternatif digabungkan menjadi tiga varian melalui skema kombinasi. suatu kombinasi prinsip kerja yang dihasilkan, yaitu sebagai berikut :

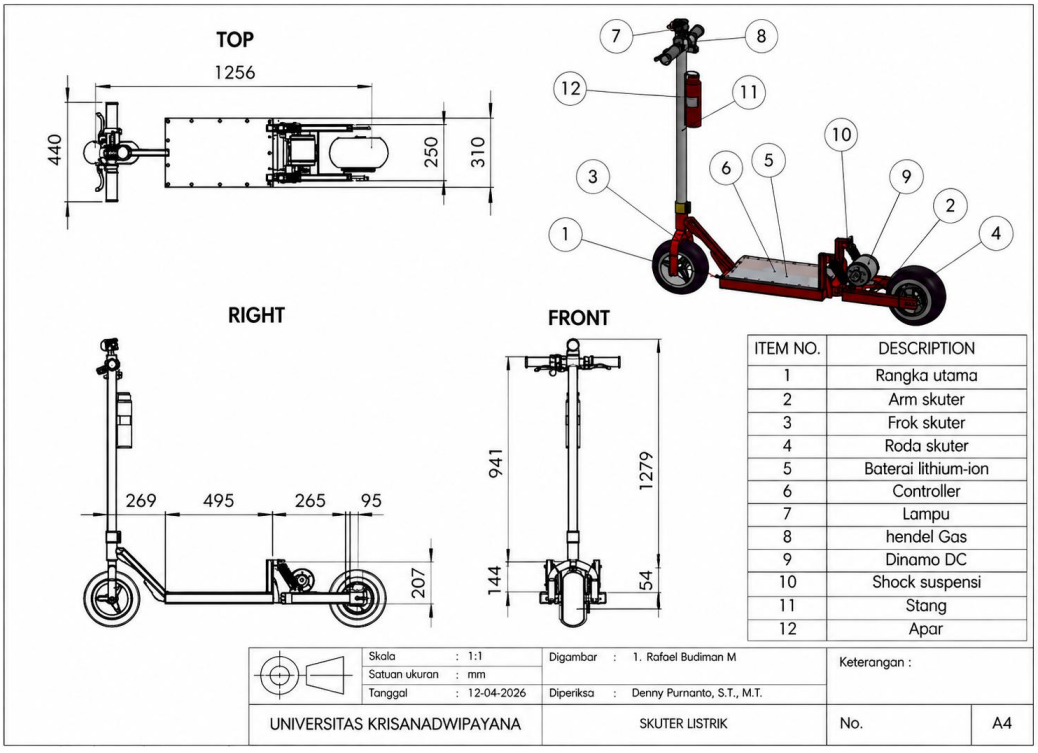
Perpaduan 1 : 1A, 2B, 3C, 2D, 3E, 3F, 2G
Perpaduan 2 : 2A, 3B, 1C,1D, 2E, 2F ,1G
Perpaduan 3 : 3A, 1B, 2C, 3D, 1E, 1F, 3G

Bahan dan Komponen

Tabel 3. Spesifikasi komponen utama

Komponen	Spesifikasi	Fungsi
Motor	DC *brushed*, 36 V, 500 W, 2.500 rpm, poros 16 mm	Mengubah energi listrik menjadi putaran
Controller	36 V, 500 W	Mengatur suplai daya motor
Baterai	*Lithium-ion* 36 V 12,6 Ah, 10s7p, 70 sel, BMS IP67	Menyimpan dan memasok energi
Rangka	*Hollow* 50 × 20 × 1,9 mm, ASTM A36	Menahan beban dan menyatukan komponen
Transmisi	Rantai T8F, sproket 12T dan 54T	Mereduksi putaran dan meningkatkan torsi
Rem	Cakram	Mengurangi kecepatan roda
Suspensi	Hidrolik	Meredam getaran dan kejutan

Desain *Prototype* Skuter Listrik



Gambar 1. Desain Prototype Skuter Listrik

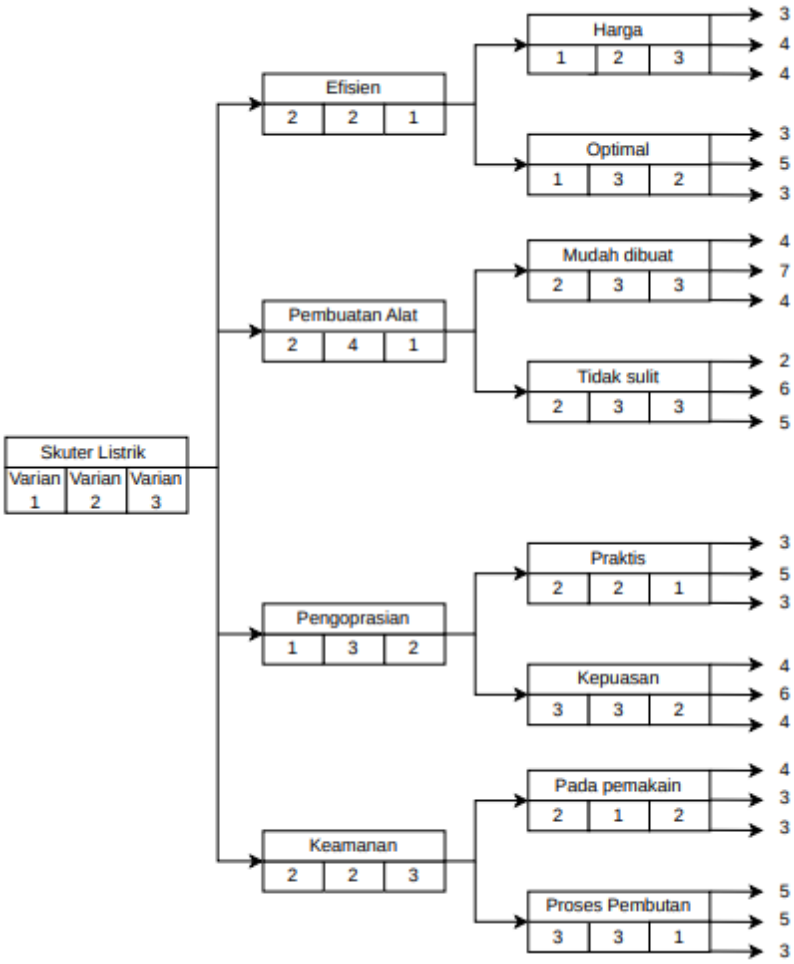
Hasil dan Pembahasan

Varian Konsep

Tahap selanjutnya adalah melakukan penilian terhadap 3 varian konsep yang telah disusun. Penelitian ini digunakan dengan metode pohon objektif atau *objective tree.* Tabel ini juga menunjukkan nilai varian konsep yang paling optimal, dijelaskan sebagai berikut :

Tabel 4 Penilian Varian Konsep

1	2	3	4
Kurang baik	Cukup baik	Baik	Sangat baik



Gambar 2. Pohon Objektif

Nilai ideal sempurna ditetapkan sebesar 64, yang di peroleh dari penjumlahan delapan indikator bobot masing-masing 8 (8 + 8 + 8 + 8 + 8 + 8 + 8 + 8 = 64). Nilai total hasil pohon target dibagi dengan nilai ideal sempurna untuk menentukan persentase dari nilai total. Kemudian diubah menjadi persentase (%). Hasil evaluasi untuk variasi 1,2 dan 3 adalah sebagai berikut, dengan nilai ideal sempurna sebesar 64 :

A. Varian 1

Nilai total : 3 + 3 + 4 +2 +3 + 4 + 4 + 5 = 28

Nilai total % : 28 : 64 x 100 = 43%

B. Varian 2

Nilai total : 4 + 5 + 7 + 6 + 5 + 6 + 4 + 5 = 42

Nilai total % : 42 : 64 x 100 = 65%

C. Varian 3

Nilai total : 4 + 3 + 4 + 5 +3 + 4 + 5 + 3 = 31

Nilai total % : 31 : 64 x 100 = 48%

Hasil Pemilihan Varian

Tabel 5. Hasil evaluasi varian konsep

Varian	Nilai total	Persentase	Keputusan
Varian 1	28 dari 64	43%	Tidak dipilih
Varian 2	42 dari 64	65%	Dipilih
Varian 3	31 dari 64	48%	Tidak dipilih

Varian 2 memperoleh skor tertinggi sebesar 42 dari 64 atau 65%. Konfigurasi terpilih menggunakan motor DC brushed, baterai *Lithium-ion*, rangka *Hollow*, *Controller* DC, transmisi rantai dan sproket, pengelasan SMAW, Perpaduan 2 : 2A, 3B, 1C,1D, 2E, 2F ,1G serta suspensi hidrolik. Konfigurasi tersebut dipilih karena komponen tersedia, mudah dirakit, dan sesuai dengan kemampuan produksi prototipe.

Skor 65% menunjukkan konsep memenuhi sebagian besar kriteria, tetapi belum mencapai nilai ideal. Nilai ini perlu dipahami sebagai hasil perbandingan internal antar varian, bukan ukuran kelayakan produk terhadap standar keselamatan kendaraan. Tahap validasi tetap memerlukan pengujian struktur, pengereman, kelistrikan, ketahanan air, dan performa dinamis.

Perancangan Wujud

Pada tahap ini, proses perancangan dilakukan, termasuk pembagian modul ke dalam berbagai model dan memberikan bentuk pada masing-masing model.

Tabel 6. Dimensi dan massa modul

Modul	Dimensi	Massa
Rangka utama	53 × 29 × 5 cm, tebal 1,9 mm	7,20 kg
Arm belakang	37 × 22 cm	3,15 kg
Fork depan	Panjang 20 cm	2,50 kg
Baterai	36 × 13 × 4,5 cm	3,40 kg
Motor	160 × 108 mm	5,00 kg

Perancangan rinci

Semua informasi yang terkait dengan persiapan pembuatan alat diperiksa kembali. Ini mencakup bahan-bahan yang digunakan, komponen, dan bagaimana masing-masing bahan dan komponen ditempatkan. Selain itu, langkah ini mencakup penjelasan langkah-langkah proses pembuatan skuter listrik, yang diberikan di bawah ini.

Tabel 7. Perancangan rinci

No	Nama komponen dan bahan	Spesifikasi alat dan kegunaan
1.	Baterai *Lithium-ion*	36V 12,6 Ah, Konfigurasi 10s7p, 1 cell di 1800 mAh, 1800x7=12.600 mAh, 36 x 13 x 4.5 cm, 3.80 kg, Memakai *daly bms water prof resistan ip 67*, sebagai sumber/ energi utama yang penyiman dan menyalurkan daya listrik.
2.	Besi *Hollow*	Berukuran 50 mm x 20 mm x 1,9 mm. besi *Hollow* ini berfungsi sebagai rangka utama dan kekuatan struktur kendaraan dalam alat skuter listrik
3.	Motor *brushed* DC	500 W, 2500 RPM, Diameter Casing: 12 mm, berfungsi sebagai penggerak utama yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik untuk memutar roda, sehingga skuter dapat bergerak maju.
4.	Sistem *Controller DC (brushed)*	36V, 500W, Tipe tertentu (DC), digunakan untuk mengatur aliran daya dari baterai ke motor *brushed* DC, sehingga pengguna dapat mengontrol kecepatan dan kinerja motor.
5.	Sistem transmisi rantai & gear	T8F, Bahan baja, berfungsi untuk meneruskan tenaga putaran dari motor ke roda mengubah torsi dan kecepatan, membuat

		skuter lebih stabil dan efisien.
6.	Roda (depan belakang)	11 *inci*, Standar palang tiga, digunakan untuk bergerak dan bermanuver dengan baik saat digunakan dan juga menopang beban kendaraan.
7.	Sistem pengereman	Kaliper rem + kampas rem, berfungsi untuk mengurangi kecepatan atau menghentikan laju kendaraan secara aman dan menjaga kendali saat berkendara.
8.	Suspensi	*suspension* 60 kg, panjang 17 cm, meredam getaran dan benturan dari permukaan jalan, sehingga kendaraan lebih stabil.
9.	Stang pengemudi & lampu depan	Panjang 90 cm, lebar 50 cm Led 32 *watt*, untuk membantu pengguna mengendalikan arah kendaraan serta memberikan penereangan saat berkendaraan malam.
10.	Hendel gas	36 *Watt*, Panjang 15,5 cm, Warna abu-abu hitam, Berat 240 g, *Lock key*, mengirimkan sinyal ke *Controller* dan tanda indikator pada hendel gas dengan merah 0% yang berati baterai *low* jika hijau berati baterai dalam keadaaan full.
11.	Apar	500 ml, Panjang 25,5 cm, Diameter 65 mm, membantu memadamkan api atau mencegah kebakaran ketika terjadi ganguan pada komponen listrik seperti baterai dan *Controller.*

Nilai Kekuatan Sambungan Las

Beban pengendara 75 kg menghasilkan gaya sekitar 736 N. Dengan tebal leher efektif 1,4 mm dan panjang las 50 mm, tegangan tarik sambungan dihitung sebagai berikut.

$$F = t.l.\sigma_t$$

Dimana :

t = Tebal leher (mm) = 1.4 mm

l = panjang lasan (mm) = 50 mm

σ_t= Tegangan Tarik (N/mm^2) = 10,5 N/mm^2

F = Beban skuter keseluruhan dari data yang didapat = 75 kg

F = 75 kg x 9,81m/s^2 = 735,5 N ≈ 736 N

Sehingga :

$F = t.l.\sigma_t$ dimana $\sigma_t = \frac{F}{t.l}$

$$\sigma_t = \frac{736}{1{,}4\,.\,50} = 10{,}5\ N/mm^2$$

$F = t.l.\sigma_t$

$= 1{,}4\,.\,50\,.\,10{,}5$

$= 735\ N$

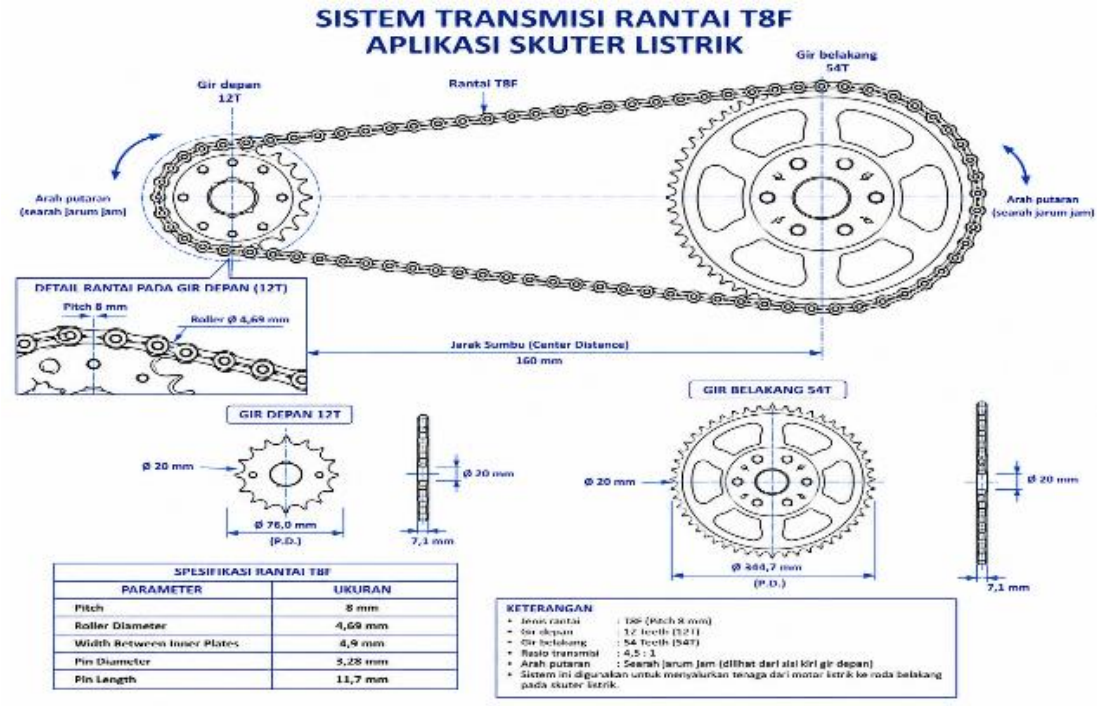
Tabel 8. Rekapitulasi kapasitas sambungan

Bagian	Jumlah titik	Kapasitas total
Rangka utama	4	2.940 N
Arm belakang	6	4.410 N
Fork depan	2	1.470 N

Perhitungan ini memberi gambaran awal terhadap beban statis. Kualitas hasil las dipengaruhi penetrasi, cacat, panjang efektif, posisi pengelasan, dan konsistensi operator. Pemeriksaan visual dan uji sambungan diperlukan untuk memvalidasi nilai perhitungan.

Nilai Perhitungan Sproket dan Rantai

Perhitungan sproket dan rantai digunakan untuk menentukan perbandingan putaran sproket transmisi pada sistem penggerak.



Gambar 3 spesifikasi rantai

A. Perbandingan putaran sproket

$$V.R = \frac{N_1}{N_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

Dimana :
N1 = Kecepatan putaran sproket kecil (rpm) = 2500 rpm
N2 = Kecepatan putaran sproket besar (rpm)
N1 = Jumlah gigi sproket kecil = 12
N2 = Jumlah gigi sproket kecil = 54.

$$N_2 = N_1 \,.\, \frac{T_1}{T_2}$$

$$N_2 = 2500 \,.\, \frac{12}{54}$$

$$N_2 = 556\, rpm$$

Jadi Motor 2500 rpm diteruskan menjadi 556 rpm dengan rasio 4,5:1 yang artinya setiap 1 putaran sproket depan menghasilkan 4,5 putaran sproket belakang.

B. Kecepatan rantai :

$$v = \frac{T \,.\, p \,.\, N}{60}$$

Dimana :
T = jumlah gigi pada sproket besar = 54
p = jarak bagi rantai *pitch* = 8 mm
N = keceptan putaran = 2500 rpm

Sehingga :

$$v = \frac{T \,.\, p \,.\, N}{60}$$

$$v = \frac{54 \,.\, 8 \,.\, 2500}{60} = 18\, m/s$$

C. Daya yang ditransmisika oleh rantai :

$$P = \frac{\sigma_b \,.\, A \,.\, v}{K_s}$$

Dimana :
σ_b = tengan dukung yang diizinkan = 1,35 N/mm^2
A = luas menahan beban geser rantai mm^2 = 39 mm^2
v = kecepatan rantai m/s = 18 m/s
K_s = *service fakor* = 1,9
P = daya motor = 500 *watt*
F = beban motor = 5 kg
F = 5 kg x 9,81 m/s^2 = 49 N

$P = \frac{\sigma_b \,.A \,.v}{K_s}$ diamana $\sigma_b = \frac{P \,.\, K_s}{A \,.v}$

$$\sigma_b = \frac{500 \,.\, 1{,}9}{39 \,.18}$$

$$\sigma_b = 1{,}35\, N/mm^2$$

$$P = \frac{\sigma_b \,.A \,.v}{K_s}$$

$$P = \frac{1{,}35 \,.39 \,.18}{1{,}9}$$

$$P = 498{,}78\, watt$$

Daya transmisi 498,78 *watt* hampir sama dengan daya motor 500 *watt*. Selisih hanya 1,22 *watt*, sisanya di akibatkan gesekan bearing rantai, gesekan antar link rantai dan redaman pada gear.

D. Torsi motor skuter :

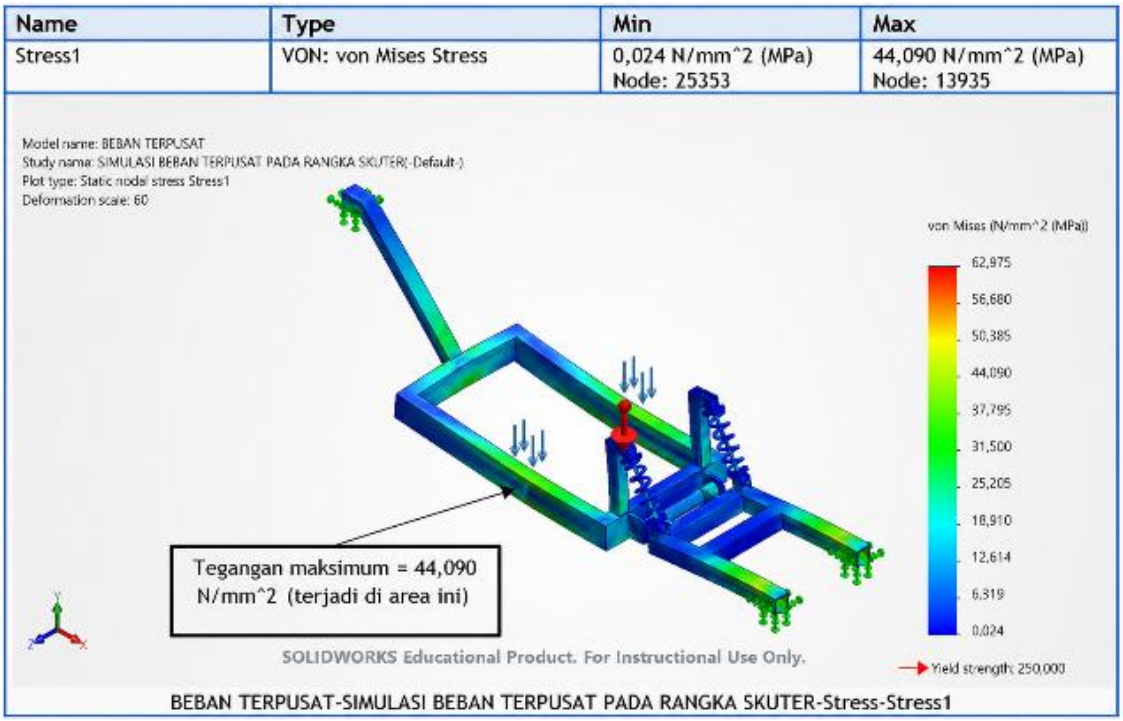
$$T = \frac{P \,.\, 60}{2\,\pi\,N}$$

Dimana :
T = torsi poros (Nm)
P = daya (*watt*) = 498,78 *watt*
N = putaran motor = 2500 (rpm)

$$T = \frac{498{,}78\,.\,60}{2\,.\,3{,}14\,.\,2500}$$
$$T = 1{,}90\ Nm$$

Nilai Kekuatan Rangka Skuter Listrik

Simulasi *SolidWorks* menggunakan material ASTM A36 *Steel* dan beban terpusat 750 N. Tegangan maksimum tercatat sebesar 44,090 N/mm². Nilai ini lebih rendah daripada kekuatan luluh 250 N/mm²→ AMAN. Faktor keamanan statis berdasarkan rasio kekuatan luluh terhadap tegangan maksimum dihitung sebagai berikut.



Gambar 4. Hasil simulasi pembenan terpusat

Diberikan secara merata (*distributed load*) pada area pijakan kaki (*deck/footboard*) rangka.

Tabel 9 Material propertis ASTM A36 *Steel*

No	*Property*	*Value*	*Unit*
1	*Elasticity Modulus*	200.000	N/mm²
2	*Tensile Strength*	400	N/mm²
3	*Yield Strength*	250	N/mm²
4	*Poissons Ratio*	0,26 - 0,30	N
5	*Massa Density*	7850	Kg/mm²
6	*Shear Modulus*	78300	N/mm²

Analisis kekuatan rangka skuter listrik menggunakan metode elemen hingga (*FEA*) didasarkan pada asumsi bahwa material rangka bersifat linier, isotropik, dan elastis sempurna dengan sifat mekanis seragam. Seluruh sambungan las dianggap terikat sempurna dan kaku tanpa memperhitungkan cacat pengelasan. Pembebanan diasumsikan sebagai beban statis terpusat searah gaya gravitasi pada area pijakan kaki dengan deformasi geometri yang kecil. Sementara itu,

komponen pendukung seperti baterai, sistem kendali, dan motor penggerak hanya memberikan kontribusi beban massa tanpa menambah kekakuan mekanis pada rangka utama.

A. Perhitungan inersia penampang balok dengan rumus :

$$I = \frac{b^3\, h}{12}$$

Dimana :
b = lebar penampang = 25 mm
h = tinggi penampang = 50 mm
t = tebal = 1,9 mm
Sehingga :

$$I = \frac{b^3\, h}{12}$$

$$I = \frac{25^3\ 50}{12} = 65104{,}14\ mm$$

B. Perhitungan lendutan atau deflaksi balok dengan rumus :

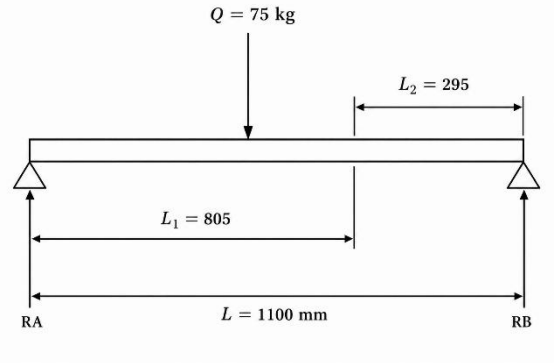
$$\delta_{max} = \frac{-P\, L^3}{48\, E\, I}$$

Dimana :
P = beban terpusat = 75 kg
P = 75 kg x 9,8 m/s^2 = 735,5 N ≈ 736 N
L = panjang batang balok = 1100 mm
E = elastisitas material = 200,000 N/mm^2
I = inersial = 65104,14 mm
Sehinggah :

$$\delta_{max} = \frac{-P\, L^3}{48\, E\, I}$$

$$\delta_{max} = \frac{-\,736\,.\ 1100^3}{48\,.\,200{,}000\,.\,65104{,}16} = -1{,}56\ mm$$

C. Perhitungan beban terpusat dengan rumus :



Gambar 5. Skema pembenan terpusat

$$\Sigma FM = 0$$

$$R_A\,.L - Q\,.\left(L - \frac{L_1}{2}\right) = 0$$

$$-R_B\,.L + Q\,.\left(L - L_2 - \frac{L_1}{2}\right) = 0$$

Dimana :
Q = Beban terpusat (N) = 75 kg
L = Panjang batang (mm) = 1100 mm
R_A = reaksi tumpuan A
R_B = reaksi tumpuan B

Sehingga :
$F = m\,.g$
F = 75 kg x 9,81 m/s^2 = 735,5 N ≈ 736 N
Mencari reaksi tumpuan A vertikal (R_A)

$$\Sigma MA = 0$$

$$R_A\,.L - Q\,.\left(L - \frac{L_1}{2}\right)$$

$$R_A\,.1100 - 736\,.\left(1100 - \frac{805}{2}\right) = 0$$

$$R_A\,.1100 - 736\,.(1100 - 402{,}5) = 0$$

$$R_A\,.1100 - 736\,.(697{,}5) = 0$$

$$R_A\,.1100 - 513{,}360 = 0$$

$$R_A\ 1100 = 513{,}360$$

$$R_A = \frac{513{,}360}{1100}$$

$$R_A = \frac{513{,}360}{1100}$$

Mencari reaksi tumpuan B vertikal (R_B)

$$\Sigma MB = 0$$

$$-R_B.L + Q\,.\left(L - L_2 - \frac{L_1}{2}\right) = 0$$

$$-R_B.1100 + 736\,.\left(1100 - 295 - \frac{805}{2}\right) = 0$$

$$-R_B\,.1100 + 736\,.(1100 - 295 - 402{,}5) = 0$$

$$-R_B.1100 + 736.(402{,}5) = 0$$

$$-R_B.1100 + 296{,}240 = 0$$

$$R_B.1100 = 296{,}240$$

$$R_B = \frac{269{,}240}{1100} = 269\ N$$

Keseimbangan gaya vertikal

$$\Sigma FY = 0$$

Gaya keatas = $R_A + R_B$
= 467 N + 269 N = 736 N
Gaya kebawah = Q 736 N
Persamaan = $(R_A + R_B) - Q$

= 736 – 736 = 0

D. Nilai Konstanta pegas

$$k = \frac{G \,.\, d^4}{8 \,.\, n \,.\, D^3}$$

Dimana :
D = diameter rata-rata = 25 mm
G = modulus geser baja = 80.000 N/mm^2
d = diameter kawat pegas = 6 mm
n = jumlah kumparan = 6 kumparan
K = konstanta pegas

Sehingga :

$$k = \frac{G \,.\, d^4}{8 \,.\, n \,.\, D^3}$$
$$k = \frac{80.000 \,.\, 6^4}{8 \,.\, 6 \,.\, 25^3}$$
$$k = 138{,}24\ N/mm$$

Jadi setiap 1 mm kompresi pegas gaya yang dihasilkan 138,24 N/mm untuk merdam getaran.

$$n = \frac{250}{44{,}090} = 5{,}67$$

Tabel 10. Hasil analisis struktur

Parameter	Hasil	Kriteria	Interpretasi
Tegangan maksimum	44,090 N/mm²	< 250 N/mm²	Memenuhi kriteria statis
Lendutan maksimum	1,56 mm	Tidak ditetapkan	Perlu dibandingkan dengan batas desain
Reaksi tumpuan A	467 N	Keseimbangan gaya	Sesuai
Reaksi tumpuan B	269 N	Keseimbangan gaya	Sesuai
Faktor keamanan	5,67	> 1	Aman pada model statis
Kondisi Tumpuan (*Restraints*) & Lokasi Beban Utama	Fixed/Pinned pada *mounting* roda depan dan belakang & Permukaan *deck* (pijakan kaki) dan dudukan baterai.		

Performa pada Bidang Miring dan Jalan Datar

Dalam konteks ini, lintasan sudut kemiringan 30° (pintu gerbang motor Universitas Krisnadwipayana) 45° (pintu gerbang mobil Universitas Krisnadwipayana) dengan waktu 18.65 detik pada jarak 20 m dan 5 derajat untuk jalan datar dari mediterenia rigency cikunir ke universitas krisnadwipayana dilalui sekitar 7,3 km dengan waktu perjalanan kurang lebih 1 jam 15.

A. kuter bergerak pada bidang miring 30° dengan rumus bidang miring :

$$N = m.g.\sin\theta$$

Dimana :
m = 75 + 27 = 102 kg
Beban penggemudi 75 kg
Beban skuter 27 kg
g = percepatan gravitasi = 9,81 m/s
sin 30° = 0,5
sehingga :

$$N = m.g.\sin\theta$$
$$N = 102 \,.\, 9{,}81 \,.\, 0{,}5$$
$$N = 500{,}31\ N$$

B. keceptan bidang miring 30°

$$V = \frac{s}{t}$$

Dimana :
V = kecepatan (km/jam)
s = jarak = 20 m
t = waktu = 12.93 detik
sehinggah :

$$V = \frac{s}{t}$$
$$V = \frac{20}{12.93}$$
$$V = 1{,}546\ m/s \approx 5{,}57\ km/jam$$

C. Daya skuter bidang miring 30°

$$P = F \,.\, V$$

Dimana :
P = daya *(watt)*
F = gaya (N) = 500,31 N
V = kecepatan (km/jam) = 5,57 km/jam
Sehingga :

$$P = 500{,}31 \,.\, 5{,}57 = 2786{,}7\ watt$$

D. Konsumsi energi skuter dihitung menggunakan rumus :

$$E_{per\ km} = \frac{P\ .\ t}{3600\ .\ d}$$

$E_{per\ km}$ = konsumsi baterai per kilometer
P = daya (*watt*) = 2786,7 *watt*
t = waktu (detik) = 12,93 detik
d = jarak tempuh = 20 m = 0,02 km
sehinggah :

$$E_{per\ km} = \frac{2786{,}7\ .\ 12{,}93}{3600\ .0{,}02}$$

$$E_{per\ km} = 500{,}44\ wh/km$$

Tabel 11. Rekapitulasi hasil pengujian dan perhitungan performa

Kondisi	Sudut	Gaya	Kecepatan	Daya dilaporkan	Konsumsi
Tanjakan pintu motor	30°	500,31 N	5,57 km/jam	2.786,7 W	500,44 Wh/km
Tanjakan pintu mobil	45°	707,43 N	3,85 km/jam	2.723,60 W	705,48 Wh/km
Jalan datar	5°	80,04 N	6,34 km/jam	507,45 W	31,71 Wh/km

Tabel hasil perhitungan menunjukkan bahwa kondisi jalan sangat memengaruhi kebutuhan daya skuter. Semakin besar sudut kemiringan jalan, semakin besar gaya yang diperlukan, sehingga daya yang dibutuhkan juga cenderung meningkat. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa jalan menanjak memerlukan daya lebih besar dibandingkan jalan rata.

Pengujian performa skuter listrik dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan pada setiap skenario jalan untuk diambil nilai rata-ratanya, dimulai pada kondisi baterai *Lithium-ion* (36V 12,6 Ah) terisi penuh (SOC 100% / 42 V), diukur menggunakan instrumen GPS, wattmeter digital, dan *stopwatch*, serta dilaksanakan pada lintasan aspal/beton kering meliputi tanjakan 30° dan 45° sepanjang 20 meter hingga jalan datar sejauh 7,3 km untuk menghasilkan data kecepatan, daya, dan konsumsi energi yang akurat serta dapat diandalkan.

Perbandingan dengan Produk Komersial

Tabel 12. Perbandingan spesifikasi utama

Parameter	Prototipe	ET-ST8256 Exotic
Motor	36 V, 500 W	250 W
Baterai	36 V, 12,6 Ah, BMS	24 V, 5,2 Ah, tanpa BMS
Energi nominal	453,6 Wh	124,8 Wh
Roda	11 inci	8,5 inci
Rangka	Baja *Hollow* ASTM A36	ABS
Pengisian	Sekitar 2 jam	Sekitar 4 jam
Pengereman	Rem cakram	Rem magnetik
Proteksi tambahan	APAR	Tidak dicantumkan

Prototipe memiliki daya motor, energi baterai, dan diameter roda lebih besar. Rangka baja memudahkan fabrikasi, tetapi meningkatkan massa. Perbandingan ini belum membuktikan keunggulan kinerja karena kedua produk tidak diuji dengan prosedur yang sama.

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Kesimpulan pada rancang bangun skuter listrik berdaya 36v 12,6Ah Menggunakan Metode *Verein Deutscher Ingenieure* (VDI) 2222 sebagai berikut :

A. Metode VDI 2222 telah terbukti efektif sebagai pendekatan sistematis dalam proses perancangan mesin skuter listrik. Pendekatan ini membantu dalam menentukan kebutuhan, mengembangkan ide, dan menghasilkan rancangan wujud yang siap pakai.
B. Metode VDI 2222 merancang skuter listrik berbasis baterai 36V 12,6Ah secara sistematis hingga tahap *prototype*. Akibatnya, skuter yang

dibuat memiliki desain yang sederhana, proporsional, mudah dioperasikan, mudah dirawat, dan menggunakan komponen yang mudah diperoleh. Metode ini dinilai sesuai untuk proses rancang bangun karena menggunakan komponen yang mudah diperolehSimulasi statis menghasilkan tegangan maksimum 44,090 N/mm² dan faktor keamanan 5,67 terhadap luluh ASTM A36. Kesimpulan aman berlaku pada model beban statis yang digunakan.

C. Varian 2 dengan perpaduan 2 : 2A, 3B, 1C, 1D, 2E, 2F, 1G mendapatkan nilai tertinggi, yaitu 42 dari 64 atau sekitar 65%. Varian ini menggunakan motor *brushed* DC 36 V 500 W 2500 rpm, *Controller* DC 36 V 500 W, baterai *Lithium-ion* 36 V 12,6 Ah, rangka besi *Hollow*, transmisi rantai dan gear, sambungan las SMAW, dan suspensi. Ini dinilai untuk membuat skuter yang stabil, mudah dioperasikan, dan sesuai kebutuhan.

D. Hasil analisis simulasi elemen hingga (*FEA*) menunjukkan bahwa rangka skuter listrik terbukti aman dan layak dalam kondisi pembebanan statis dengan beban pengendara sebesar 75 kg (beban terpusat 750 N), menghasilkan tegangan maksimum sebesar $44{,}090\ \mathrm{N/mm^2}$ (masih di bawah *yield strength* material ASTM A36 sebesar $250\ \mathrm{N/mm^2}$) dan lendutan sebesar $-1{,}56$ mm. Namun, pernyataan kelayakan struktur rangka ini masih terbatas pada model pembebanan statis dasar dan belum memperhitungkan pengaruh gaya dinamis selama kendaraan beroperasi di jalan riil. sehingga rangka dinyatakan layak secara statis. Namun, kelayakan secara menyeluruh masih memerlukan pengujian lanjutan yang memperhitungkan faktor dinamis, seperti beban kejutan pengereman, getaran permukaan jalan, dan impak operasional riil di lapangan

Saran

Berdasarkan hasil perancangan dan pembuatan mesin skuter listrik berdaya 36v 12.6Ah Menggunakan Metode *Verein Deutscher Ingenieure* (VDI) 2222, beberapa saran yang dapat diberikan sebagai berikut :

A. Agar komponen listrik lebih aman dari getaran, panas, debu, dan air, sistem kelistrikan harus dilindungi dengan menambah sekering, pelindung kabel, penutup baterai, pelindung pengontrol, dan sistem yang tahan air.

B. Karena lebih hemat biaya, memiliki suara yang lebih halus, dan tidak membutuhkan perawatan yang lebih banyak dibandingkan motor *brushed* DC, penggunaan motor BLDC dapat dipertimbangkan untuk pengembangan berikutnya. Namun, harus mempertimbangkan biaya dan persyaratan desain

C. Pada pembuatan struktur rangka berikutnya, gaya ke arah depan yang disebabkan oleh beban pengereman dinamis harus dievaluasi secara menyeluruh. Faktor-faktor ini sangat penting untuk memastikan bahwa sambungan anatara garpu depan *(Fork)* dan leher rangka *(head tube)* memiliki kekuatan struktur yang memadai untuk menahan perpindahan beban massa ke arah depan saat terjadi deselarasi mendadak.

D. Untuk pengembangan lebih lanjut, disarankan penyempurnaan pada ergonomi dan tampilan alat dengan menambahkan mekanisme, seperti stang yang dapat di atur ketingginnya, agar posisi berkendara dapat disesuaikan secara fleksibel dengan tinggi badan pengguna yang berbeda. Selain itu, untuk meningkatkan aspek keamanan dari resiko hubungan arus pendek serta meningkatkan tampilan keseluruhan skuter listrik, diperlukan manajemen kabel yang lebih terorganisir memalalui penggunaan pelindung kabel yang lebih rapih.

E. Menganalisis pengaruh getaran kontimua akibat ketidakrataan

permukaan jalan serta frekuensi kerja motor penggerak terhadap umur pakai (*fatigue life*) sambungan las rangka. Menguji ketahanan struktur rangka saat menerima kejutan tiba-tiba, seperti ketika melewati lubang atau gundukan jalan pada kondisi riil.

Referensi

[1] N. Fath, A. Rizky, A. Rakhman, S. Maulana, dan S. Sujono, "Perancangan Mobil Listrik Menggunakan Motor DC Brushed 36 Volt 450 Watt," Kilat, vol. 11, no. 1, hlm. 10–20, 2022, doi: 10.33322/kilat.v11i1.1334.

[2] B. L. Purnomo, Metodologi Perancangan Teknik, 2019.

[3] A. E. R. Kusuma, Rancang Bangun Sistem Kelistrikan untuk Kendaraan Roda 3 Listrik dengan Penggerak, 2025.

[4] M. T. Afif, I. Ayu, dan P. Pratiwi, "Analisis Perbandingan Baterai *Lithium-ion*, Lithium-Polymer, Lead Acid dan Nickel-Metal Hydride pada Penggunaan Mobil Listrik: Review," vol. 6, no. 2, hlm. 95–99, 2015.

[5] A. Azis, A. Pratama, dan Dirwan, Rancang Bangun Sepeda Motor Listrik untuk Area Perumahan dan Perkantoran, 2021.

[6] B. M. S. Operating and I. Manual, "Truck Start BMS Operating Instruction Manual," hlm. 2–3.

[7] D. Birks, "Brushed DC Motors and How to Drive Them," 2021.

[8] S. I. Units, A Textbook of Engineering Mechanics. New Delhi: Eurasia Publishing House, 2005.

[9] A. Arifin, Pengantar Teknologi Pengelasan. Palembang: Universitas Sriwijaya, 2024.

[10] Muchayar, Alat Mesin 1. Jakarta: Fakultas Teknik Universitas Krisnadwipayana, 2009.

[11] A. Kekuatan et al., "Analisis Kekuatan Rangka Mesin Perontok Padi Menggunakan *SolidWorks* 2019," skripsi, 2022.

[12] E. Popov, Mekanika Teknik: Mechanics of Materials, ed. 2. Jakarta: Erlangga, 1984.

[13] G. Subhash, Mechanics of Materials Laboratory Course. Morgan & Claypool Publishers, 2018, doi: 10.2200/S00841ED1V01Y201803SEM002.

[14] B. Hariandja, Statika dalam Analisis Struktur Berbentuk Rangka. Bandung, 1996.

[15] D. Dan dan P. Elemen, Dasar Perancangan dan Pemilihan Elemen Mesin. Jakarta: PT Pradnya Paramita, 2002.

[16] W. Moebs, University Physics Volume 1. Texas: Rice University, 2016.

[17] J. T. Santoso et al., Perencanaan dan Perbaikan. Semarang: Yayasan Prima Agung Teknik, 2022.

[18] M. D. A. N. Panas, Fisika Dasar 1: Mekanika dan Panas. Padang: PT Global Eksekutif Teknologi, 2023.

[19] "Pengaruh Kecepatan terhadap Efisiensi Energi dan Jarak Tempuh pada Sepeda Listrik dengan Baterai *Lithium-ion* 18650 60 V 15 Ah," vol. 21, no. 1, hlm. 33–40, 2025, doi: 10.36499/jim.v21i1.12317.