

Rancang Bangun Kendaraan Listrik Prototipe Roda 3 Enggang EV ITK

Hadhimas Dwi Haryono ^{*1)}, Kholiq Deliasgarin Radyantho ^{*2)}, Eka Yoga Wiratmoko ^{*3)}, Oky Saputra ^{*4)}, Ega Febyna Kan ^{*5)}, Tri Suci Setyandari ^{*6)}, Adnan Rusdan ^{*7)}, Firman Cahyadi ^{*8)}, M.Hakim Fadhillah ^{*9)}, Shah Dzaky Dhiyaulhaq ^{*10)}, Surya Saputra ^{*11)}, M. Wahyu Nugroho ^{*12)}

^{*1-12)}Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan
kholiq.radyantho@lecturer.itk.ac.id

Abstrak

Persediaan bahan bakar sebagai sumber energi yang semakin menipis sementara kebutuhan energi meningkat menyebabkan energi menjadi permasalahan hampir di seluruh negara termasuk Indonesia. Salah satu solusi untuk permasalahan tersebut dengan melakukan riset pengembangan mobil listrik dan mobil hemat energi yang ramah lingkungan. Institut Teknologi Kalimantan (ITK) melalui Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Enggang EV mengikuti Kontes Mobil Hemat Energi (KMHE) dengan mengembangkan mobil listrik hemat energi kelas prototipe roda 3 yang ramah lingkungan. Desain kendaraan dimulai dari desain body dan sasis dengan bantuan *Computer Aided Engineering* (CAD), simulasi aerodinamika dan kekuatan sasis, perhitungan gaya-gaya kendaraan, serta uji performa kendaraan. Berdasarkan simulasi didapatkan nilai C_d enggang proto 3 sebesar 0,16, dan kemampuan sasis untuk menahan tegangan cukup baik dilihat dari nilai tegangan hasil simulasi sebesar 42 Mpa serta nilai keamanan minimum 4,2. Perhitungan mengungkapkan daya motor yang dibutuhkan adalah 192,47 watt dan torsi sebesar 27,23 Nm. Sehingga dipilih motor listrik BLDC dengan 36 volt dan daya 250 watt. Hasil uji performa menunjukkan nilai akselerasi terbaik 0,96 m/s² pada jarak 10 meter, nilai deselerasi terbaik pada jarak 20 meter adalah 12,34 m/s² dan efisiensi rata-rata kendaraan sebesar 4,22 Km/Kwh.

Kata Kunci: aerodinamika, *coefficient of drag*, sasis, performa, motor listrik.

Abstract

The supply of fuel as energy source is dwindling while energy demand is increasing, causing a problem in almost all countries, including Indonesia. One solution to this problem is research into the development of electric cars and energy efficient cars that are environmentally friendly. Institut Teknologi Kalimantan (ITK) through the Student Activity Unit (UKM) Enggang EV took part in the Kontes Mobil Hemat Energi (KMHE) by developing an environmentally friendly 3-wheeled prototype. Vehicle design starts from body and chassis design with the help of Computer Aided Engineering (CAD), aerodynamics and chassis strength simulations, calculation of vehicle forces, and vehicle performance testing. Based on the simulation, the C_d value of the Enggang Proto 3 was obtained at 0.16, and the ability of the chassis to withstand stress was quite good as seen from the stress value from the simulation results of 42 MPa and a minimum safety value of 4.2. Calculations reveal that the motor power required is 192.47 watts and a torque of 27.23 Nm. So a BLDC electric motor with 36 volts and 250 watts of power was chosen. Performance test results show the best acceleration value is 0.96 m/s² at a distance of 10 meters, the best deceleration value at a distance of 20 meters is 12.34 m/s² and the average vehicle efficiency is 4.22 Km/Kwh

Keywords: aerodynamic, *coefficient of drag*, chassis, performance, electric motor.

Pendahuluan

Persediaan bahan bakar sebagai sumber energi yang semakin menipis sementara kebutuhan energi meningkat menyebabkan energi menjadi permasalahan hampir di seluruh negara di dunia termasuk Indonesia. Hal ini menuntut kita untuk berpikir mencari solusi terbaik dalam mengatasi krisis energi tersebut. Berbagai negara telah melakukan upaya untuk menanggulangi krisis tersebut, diantaranya adalah dengan melakukan penelitian yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan bahan bakar. Hampir seluruh perusahaan yang bergerak di bidang otomotif berlomba untuk menghasilkan produk yang mampu menghemat pemakaian bahan bakar melalui pengembangan teknologinya. Mahasiswa sebagai *agent of change* hendaknya juga dapat turut berpartisipasi aktif dalam upaya penanggulangan krisis energi yang telah melanda dunia termasuk Indonesia.

Salah satu solusi untuk permasalahan tersebut dengan melakukan riset dan pengembangan mobil listrik dan mobil hemat energi yang ramah lingkungan. Pusat Prestasi Nasional Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi mengadakan Kontes Mobil Hemat Energi (KMHE) sebagai lomba bagi mahasiswa untuk membuat inovasi mobil hemat energi. Pada KMHE 2021, Enggang EV Team membuat desain mobil prototipe dengan kelas motor listrik bernama *Mighty Enggang*. Melalui simulasi menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dengan menyiapkan desain *Computer Aided Design* (CAD) didapatkan nilai *coefficient of drag* (CD) sebesar 0,17. *Chassis* pada kendaraan ini menggunakan material aluminium 6061 T4, bertipe *chassis Ladder Frame* didapatkan massa *chassis* sebesar 11,84 Kg.

Tahun 2023 KMHE kembali digelar dan Enggang EV Team ITK kembali mengikuti kompetisi dengan memilih kategori dan kelas yang sama dengan sebelumnya. Dengan melakukan evaluasi dan riset maka dilakukanlah pengembangan mobil *Mighty Enggang* menjadi Enggang Proto 3. Pengembangan yang akan dilakukan adalah mengganti material frame yang dengan menggunakan material galvanis. Penggantian material chassis merupakan evaluasi dari kendaraan sebelumnya, dimana pada kendaraan sebelumnya kami menggunakan material aluminium 6061 T4. Dari penggunaan aluminium 6061 T4 terdapat beberapa kekurangan, salah satunya adalah material aluminium yang kami gunakan tidak begitu kuat dan kokoh untuk menopang seluruh elemen dari kendaraan.

Metode

Metode yang dilakukan pada rancang bangun kendaraan ini adalah melakukan desain kendaraan menggunakan CAD, kemudian melakukan perhitungan gaya-gaya yang terjadi pada kendaraan, analisis menggunakan simulasi, dan terakhir melakukan uji performa kendaraan yang telah jadi (uji fungsi). Desain awal didasari dengan referensi kendaraan roda 3 yang digunakan pada kompetisi *shell eco marathon* (SEM). Referensi menggunakan desain kendaraan SEM akan mempermudah penelitian karena desain yang umum/banyak digunakan (Arifin, 2017).



Gambar 1. Prototype 17 pada SEM London 2017 (Puskar dkk., 2018).

Dapat dilihat pada gambar 1, desain umum kendaraan hemat energi 3 roda kelas prototipe memiliki 2 roda di depan, dan 1 roda di belakang yang umumnya sebagai penggerak utama karena efisiensi yang cukup baik dari segi *drivetrain* (Jan, 2013). Setelah melakukan desain 3D CAD, kemudian dilanjutkan desain sasis dan steering serta sistem mekanis pendukung lain. Dari desain yang telah dilakukan, kemudian dilakukan simulasi aerodinamika dan tegangan sasis untuk mengetahui apakah sasis mampu menahan masa yang diberikan (Yusup, 2018), setelahnya dianalisis gaya-gaya yang terjadi pada kendaraan.

Gaya aerodinamis diterapkan dalam perancangan kendaraan untuk menghitung gaya hambatan udara (gaya *drag*) sehingga konsumsi bahan bakar/energi dorong dapat diminimalisir (Ahmed, 2012). Besarnya gaya *drag* tergantung pada bidang permukaan yang dilewati oleh udara, sehingga dapat direduksi tidak hanya dengan mengubah bentuk bodi tetapi juga dengan cara mengubah bentuk bidang alirannya (Nisugi dkk., 2004). Besaran gaya drag dapat dicari menggunakan persamaan (1) (Witanyo dkk, 2016).

$$F_{drag} = \frac{1}{2} \times \rho \times C_D \times A \times V^2 \quad (1)$$

Dimana:

- ρ = massa jenis udara, untuk 30°C adalah 1,17 Kg/m³
- A = luas frontal area kendaraan (dalam m²)

C_d = *coefficient of drag* kendaraan

V = kecepatan relatif fluida atau kendaraan (dalam m/s)

Gaya lain yang diperhitungkan adalah *rolling resistance*, yaitu tahanan terhadap roda yang berputar karena gaya gesek antara permukaan jalan dan roda itu sendiri (Andriansyah, 2016). *rolling resistance* pada prinsipnya adalah momen yang digunakan roda untuk melawan arah gerakan, setara dengan gaya yang dibutuhkan untuk menggerakkan roda maju. *Rolling resistance* bisa dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya: gaya gravitasi, ban, kondisi jalan, bantalan, dan suspensi (Arifin, 2017). Persamaan untuk menghitung *rolling resistance* dapat dilihat pada persamaan (2).

$$F_r = C_r \times m \times g \quad (2)$$

Dimana:

F_r = *rolling resistance force* (dalam Newton)

C_r = *coefficient of rolling resistance*

m = massa total kendaraan (dalam Kg)

g = percepatan gravitasi (dalam $9,8 \text{ m/s}^2$)

Gaya inersia adalah gaya yang disebabkan oleh percepatan. Analisis percepatan menunjukkan bahwa dalam suatu mekanisme yang penghubung-penghubungnya bergerak, terdapat percepatan-percepatan tertentu, yang dapat ditentukan (Arifin, 2017). Hukum 2 Newton menyatakan bahwa harus ada gaya-gaya atau kopel-kopel yang menyebabkan percepatan-percepatan ini (Andriansyah, 2016). Gaya inersia berhubungan dengan massa benda, semakin besar massa benda, semakin besar gaya inersia yang dimilikinya (Pradana, 2016).

$$F_i = m \times a \quad (3)$$

Dimana:

F_i = gaya inersia (dalam Newton)

m = massa total kendaraan (dalam Kg)

a = percepatan kendaraan (dalam m/s^2)

Gaya hambat total kendaraan merupakan total dari gaya-gaya yang terjadi pada kendaraan seperti gaya drag, *rolling resistance force*, gaya lawan tanjakan (gradien) dan gaya inersia (Arisendi, 2017). Pentingnya mengetahui gaya hambat total akan menentukan gaya minimum yang dibutuhkan kendaraan sebagai pemilihan sumber tenaga, semisal daya kendaraan atau daya motor listrik (Pradana, 2016). Gaya hambat total dijelaskan pada persamaan (4).

$$F_h = F_d + F_r + F_i + F_g \quad (4)$$

Dimana:

F_h = gaya hambat total kendaraan (dalam Newton)

F_d = gaya *drag*/tahanan udara (dalam Newton)

F_r = *rolling resistance force* (dalam Newton)

F_i = gaya inersia kendaraan (dalam Newton)

F_g = gaya gradien atau lawan tanjakan (dalam Newton)

Kebutuhan torsi minimum kendaraan dapat dihitung menggunakan persamaan (5) dan dengan menghitung kecepatan putar roda (6) dapat dicari kebutuhan daya penggerak menggunakan persamaan (7).

$$T = F_h \times r \quad (5)$$

Kecepatan putar roda dapat dihitung sebagai berikut:

$$n = \frac{25 \times v}{3 \times \pi \times r} \quad (6)$$

Kebutuhan daya motor dapat dihitung menggunakan persamaan daya motor sebagai berikut (Ehsani dkk, 2018):

$$P = \frac{2 \times \pi \times n \times T}{60} \quad (7)$$

Dimana:

T = torsi (dalam Nm)

r = jari-jari roda (dalam meter)

v = kecepatan kendaraan (dalam m/s)

n = kecepatan putar roda (dalam rpm)

P = daya (dalam watt)

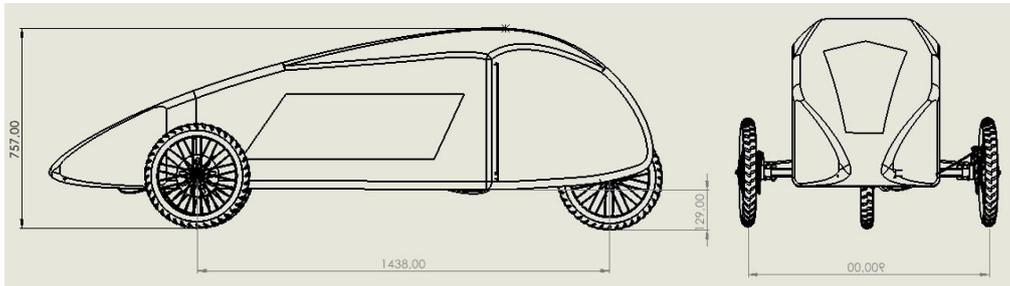
Hasil dan Pembahasan

Perancangan desain kendaraan dimulai dari dimensi kendaraan. Dimensi maksimum kendaraan disajikan pada tabel 1. Gambar 2 memperlihatkan bentuk kendaraan roda 3. Bentuk kendaraan sedikit berbeda dengan referensi yang digunakan karena keterbatasan teknologi manufaktur yang dimiliki, sehingga metode yang paling mudah untuk digunakan adalah dengan membuat dua roda depan berada di luar bodi kendaraan.

Tabel 1. Dimensi kendaraan enggang proto 3.

No	Deskripsi	Nilai
1	Panjang total kendaraan	1966 mm
2	Lebar total kendaraan	1260 mm

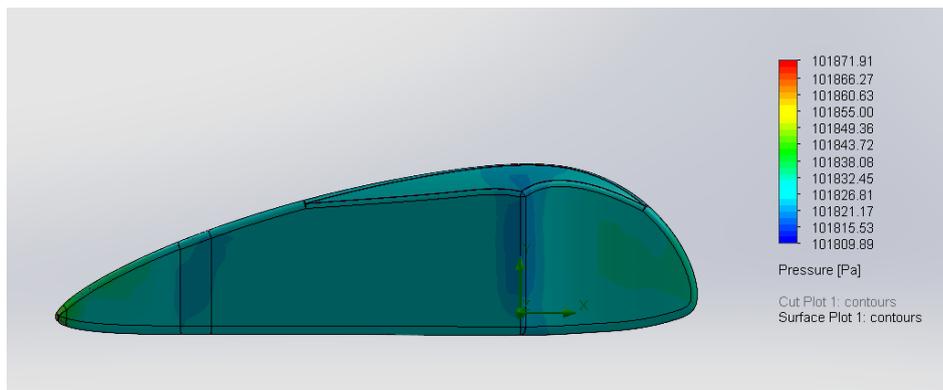
3	Tinggi total kendaraan	757 mm
4	<i>Track Width</i>	900 mm
5	<i>Wheelbase</i>	1438 mm
6	<i>Ground Clearance</i>	129 mm



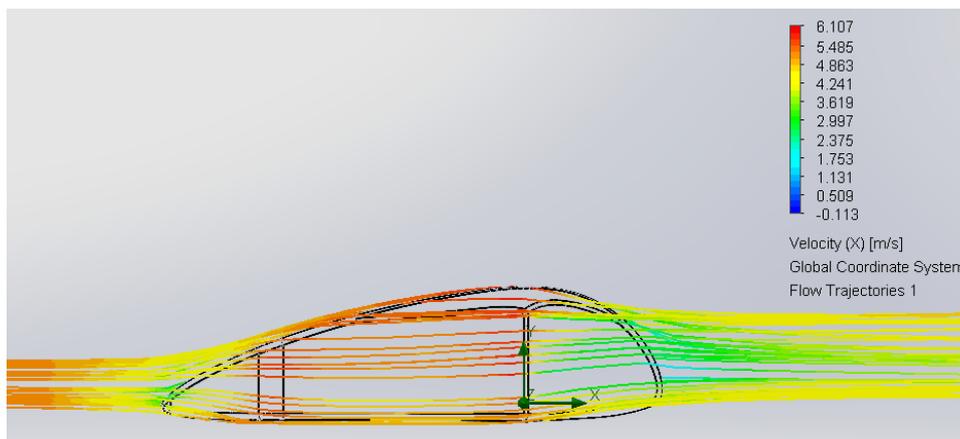
Gambar 2. Desain rancangan enggang proto 3.

1. Simulasi Aerodinamika Bodi

Simulasi aerodinamika dilakukan dengan menggunakan bodi utama dengan bantuan perangkat lunak *Computer Aided Engineering* (CAE). Parameter kecepatan udara yang digunakan adalah 22 km/jam atau 6,1 m/s. Hasil simulasi ditunjukkan pada gambar 3 dan 4.



Gambar 3. Kontur tekanan pada bodi kendaraan.



Gambar 4. *Trajectories* fluida udara melewati bodi kendaraan.

Gambar 3 menunjukkan bahwa tekanan udara maksimum yang terjadi pada bodi kendaraan adalah 101,87 Kpa dan minimum sebesar 101,8 Kpa. Kontur tekanan memperlihatkan tekanan terbesar ada pada bagian depan/*nose* bodi yang ditunjukkan dengan titik kecil warna merah (pada ujung depan) dan warna hijau-kekuningan pada daerah sekitar *nose*. Bagian buntut belakang juga mengalami warna hijau kekuningan yang artinya tekanan naik kembali setelah melewati bodi. Hal ini menunjukkan bahwa udara menekan bodi terbanyak pada ujung depan kemudian melewati bodi dan kembali menekan bodi pada bagian belakang.

Kecepatan aliran udara ditunjukkan pada gambar 4, dengan profil yang cenderung laminar. Aliran udara dari depan sempat mengalami perlambatan akibat bertabrakan langsung dengan bagian *nose*/depan (ditunjukkan dengan peningkatan tekanan pada gambar 3), kemudian aliran dipercepat melewati bodi tengah karena tekanan udara yang lebih rendah. Kecepatan aliran terlihat melambat ketika melewati bagian belakang kendaraan sehingga terjadi peningkatan tekanan pada bodi belakang. Kecepatan aliran tertinggi terjadi pada bagian tengah bodi yaitu 6,1 m/s dan terendah sebesar 0,5 m/s pada ujung belakang bodi, sebelum aliran kembali normal setelah melewati bodi. Hasil nilai C_d yang didapat dari simulasi adalah sebesar 0,16 dengan luasan *frontal area* sebesar 0,35 m².

2. Simulasi Pembebanan Sasis

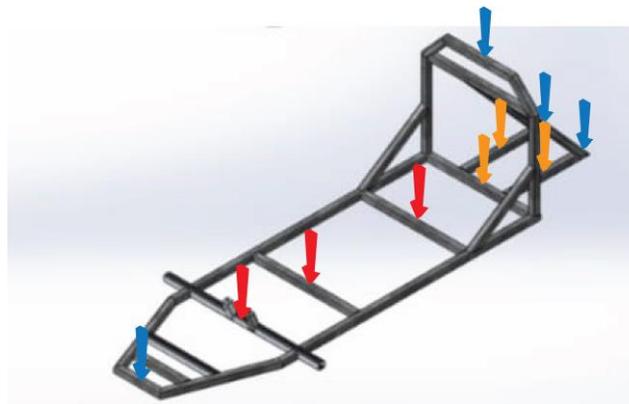
Hampir sama dengan simulasi aerodinamika, simulasi pembebanan sasis dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak CAE. Pemberian beban ditunjukkan pada gambar 5. Dengan asumsi perhitungan beban merujuk pada pada tabel 2.

Tabel 2. Pembebanan pada sasis kendaran.

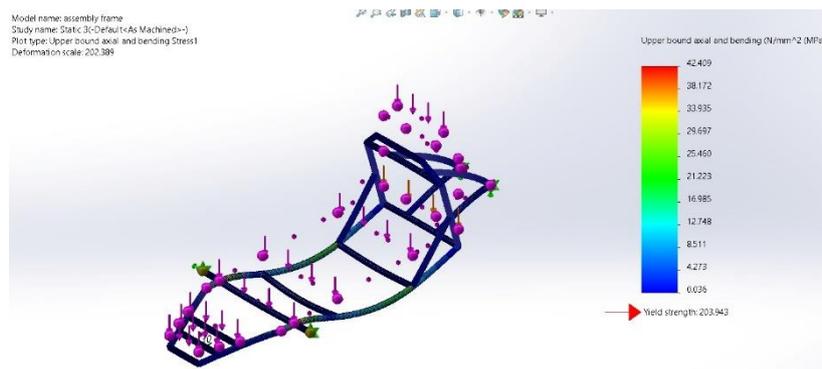
No	Tipe Beban	Nilai
1	Massa bodi (dibebankan dengan warna biru)	4 Kg
2	Massa kemudi/steering (dibebankan dengan warna merah pada bagian depan)	3 Kg
3	Massa driver (dibebankan dengan warna merah bagian tengah)	50 Kg
4	Massa baterai dan system (dibebankan dengan warna kuning bagian belakang)	12 Kg

Simulasi pembebanan sasis mengacu pada nilai beban tabel 2 dan beban/load tambahan sebesar 500 Newton pada bagian *roll bar* atas untuk menguji kekuatan sasis ketika kendaraan dalam keadaan terbalik. Hasil yang ditunjukkan pada gambar 6 dan 7

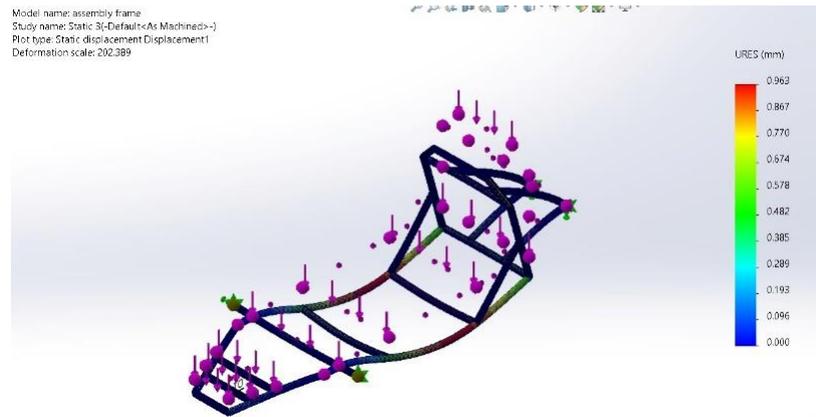
menunjukkan tegangan terbesar yang diterima pada sasis berada pada bagian tengah dengan nilai 42,4 MPa. Nilai ini masih di bawah dari batas *yield* material galvanis steel yang digunakan yaitu sebesar 203,94 MPa. Nilai tegangan maksimum aktual hasil simulasi dapat dinyatakan aman terhadap kemampuan sasis dalam menerima beban. Hasil deformasi yang terjadi menunjukkan deformasi terbesar pada bagian yang sama dengan tegangan maksimum yaitu bagian tengah sasis sebesar 0,96 mm. Nilai tersebut masih dalam batas aman regulasi *Shell Eco Marathon* dan *Formula Student FSAE* yaitu 25 mm (Oymak, 2021). Nilai faktor keamanan minimum yang didapat dari simulasi ditunjukkan pada gambar 8 yaitu sebesar 4,8 yang membuktikan sasis cukup kuat menerima beban.



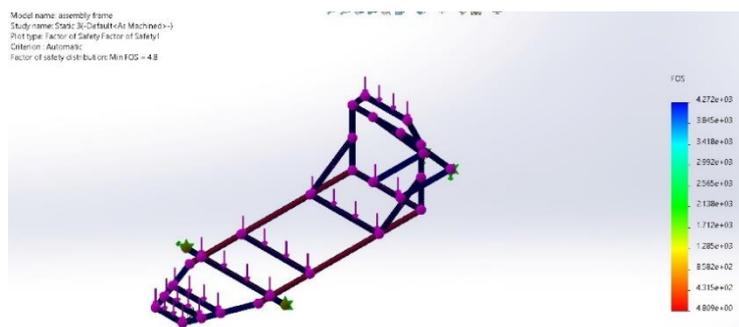
Gambar 5. Titik pembebanan sasis.



Gambar 6. Hasil simulasi tegangan sasis.



Gambar 7. Hasil simulasi deformasi sasis.



Gambar 8. Hasil simulasi faktor keamanan sasis.

3. Perhitungan Gaya-Gaya Kendaraan

Dengan bantuan simulasi yang telah dilakukan maka gaya-gaya kendaraan dapat dihitung dengan mudah. Gaya *drag* membutuhkan nilai C_D hasil dari simulasi aerodinamika. Nilai dari gaya *drag* pada kecepatan 22 km/jam dijabarkan sebagai berikut:

$$F_{drag} = \frac{1}{2} \times 1,17 \times 0,16 \times 0,35 \times 6,1^2$$

$$F_{drag} = 1,2189 \text{ Newton}$$

Gaya lain yang diperhitungkan adalah *rolling resistance*, menggunakan persamaan (2) didapatkan nilai gaya rolling resistance sebesar:

$$F_r = 0,02 \times 100 \times 9,8 = 19,6 \text{ Newton}$$

Gaya inersia kendaraan pada kecepatan 22 km/jam diasumsikan menggunakan perlambatan/keadaan pengereman selama 3 detik dengan percepatan sebesar $7,33 \text{ m/s}^2$, sehingga nilai gaya inersia adalah:

$$F_i = 100 \times 7,33 = 92,67 \text{ Newton'}$$

Sehingga gaya hambat total (F_h) dengan asumsi tidak ada perubahan elevasi (gradien = 0) adalah sebagai berikut:

$$F_h = 1,2189 + 19,6 + 92,67 + 0 = 113,4889 \text{ Newton}$$

Gaya hambat sebagai basis kebutuhan daya motor yang didapatkan dari perhitungan adalah sebesar 113,49 Newton. Jika jari-jari roda diketahui sebesar 240 mm atau 0,24 m maka kebutuhan torsi minimum kendaraan adalah:

$$T = F_h \times r = 113,49 \times 0,24 = 27,23 \text{ Nm}$$

Kecepatan putar roda dapat dihitung sebagai berikut:

$$n = \frac{25 \times v}{3 \times \pi \times r} = \frac{152,5}{2,26} = 67,47 \text{ rpm}$$

Kebutuhan daya motor dapat dihitung menggunakan persamaan daya motor sebagai berikut:

$$p = \frac{2 \times \pi \times n \times T}{60} = \frac{2 \times \pi \times 67,47 \times 27,23}{60} = 192,47 \text{ watt}$$

Dari perhitungan yang telah dilakukan maka daya dan torsi motor minimum yang dibutuhkan untuk menggerakkan kendaraan ini adalah sebesar 192,47 watt dan 27,23 Nm. Berdasarkan hal tersebut maka motor listrik yang digunakan adalah motor listrik BLDC dengan tegangan 36 Volt dan daya sebesar 250 watt serta torsi maksimum sebesar 45 Nm.

4. Uji Performa Kendaraan

Uji performa kendaraan dilakukan untuk mengetahui hasil rancangan yang telah dilakukan. Data yang dikumpulkan adalah akselerasi dan kecepatan maksimum (*speed trap*) pada jarak tertentu, konsumsi daya pada jarak tertentu dan deselerasi/pengereman. Jarak tempuh yang digunakan pada uji performa ini adalah 10 m, 15 m, 20 m, 25 m, dan 30 m. Hasil pengujian dijabarkan sebagai berikut.

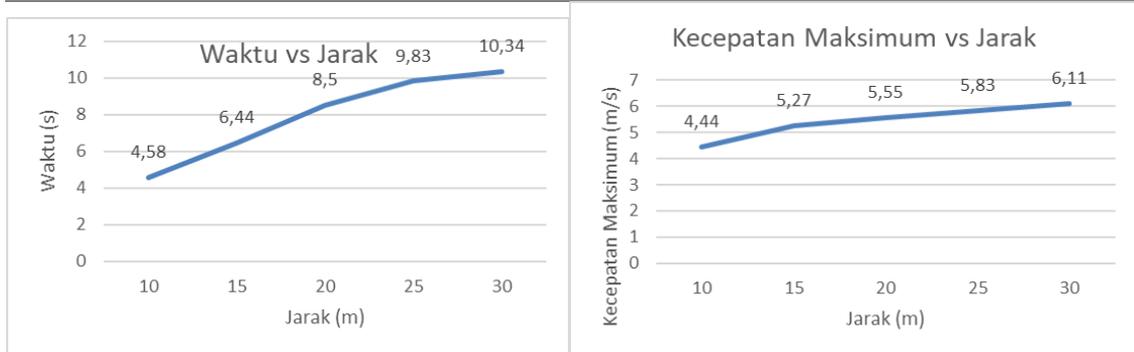
4.1. Uji Akselerasi dan Kecepatan Maksimum

Hasil uji akselerasi dirangkum pada tabel 3 dan ditunjukkan pada gambar 9 serta gambar 10. Waktu tempuh tercepat ditunjukkan pada jarak 10 m dengan waktu 4,58 detik serta terlama adalah 10,34 detik pada jarak 30 m. Kecepatan maksimum tertinggi adalah 22 km/jam atau 6,11 m/s dan terendah sebesar 16 km/jam atau 4,44 m/s pada jarak tempuh 10 m. Nilai akselerasi tertinggi didapat pada jarak tempuh 10 m yaitu sebesar 0,96 m/s² dan nilai akselerasi terendah pada jarak tempuh 25 m dan 30 m yaitu 0,59 m/s².

Tabel 3. Hasil uji akselerasi dan kecepatan maksimum

Jarak Tempuh (m)	Waktu Tempuh (s)	Kecepatan Maksimum (km/jam)	Kecepatan Maksimum (m/s)	Akselerasi (m/s ²)
10	4,58	16	4,44	0,96

15	6,44	19	5,27	0,81
20	8,5	19	5,55	0,65
25	9,83	21	5,83	0,59
30	10,34	22	6,11	0,59



Gambar 9. Grafik waktu dan kecepatan terhadap jarak tempuh.



Gambar 10. Grafik akselerasi

Gambar 9 menunjukkan grafik yang melandai terhadap jarak, hal ini dikarenakan tidak ada perubahan kecepatan secara signifikan dengan penambahan jarak. Kendaraan sudah mendekati kecepatan puncak ketika jarak 15 meter dan ketika mencapai jarak 30 meter kecepatan puncak hanya meningkat 3 km/jam. Gambar 10 menunjukkan penurunan nilai akselerasi karena tidak ada peningkatan kecepatan puncak, akselerasi maksimum didapatkan pada jarak pendek dan hal ini menunjukkan daya motor sudah cukup baik pada awal kendaraan berakselerasi.

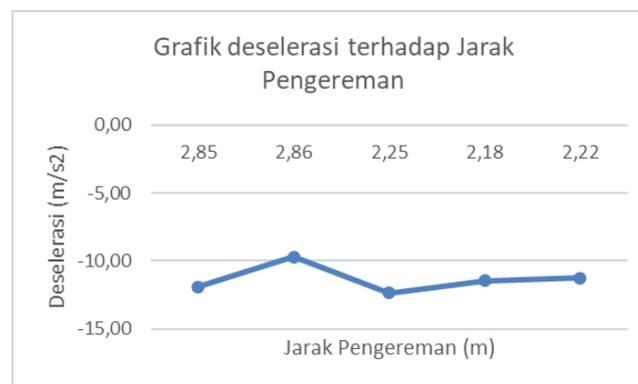
4.2. Uji Deselerasi

Uji deselerasi merupakan bentuk uji rem atau lawan dari akselerasi, pengujian kali ini menggunakan metode kendaraan direm setelah mencapai jarak 20 m dan dilakukan pengukuran, percobaan dilakukan dengan 5 kali repetisi. Variabel yang diukur adalah kecepatan puncak, jarak pengereman hingga kendaraan stop bergerak, waktu pengereman, dan perhitungan deselerasi total ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil uji deselerasi.

Jarak Tempuh (m)	Kecepatan (m/s)	Jarak Pengereman (m)	Waktu Pengereman (s)	Hasil Deselerasi (m/s ²)
20	5.83	2,85	0.49	-11.93
20	5.27	2,86	0.54	-9.71
20	5.27	2,25	0.43	-12.34
20	5	2,18	0.44	-11.47
20	5	2,22	0.44	-11.26

Nilai deselerasi yang terbaik adalah nilai negatif tertinggi yaitu pada repetisi ketiga yaitu $-12,34 \text{ m/s}^2$. Deselerasi tertinggi didapatkan karena memiliki kombinasi kecepatan puncak tertinggi, jarak pengereman terpendek, dan waktu pengereman tersingkat. Jarak pengereman memiliki rentang dari 2,18 meter hingga 2,85 meter. Hal tersebut cukup baik mengingat pengereman tidak membutuhkan jarak hingga 3 meter. Gambar 11 menunjukkan grafik deselerasi yang mirip pada repetisi pertama, ketiga, keempat, dan kelima.



Gambar 11. Grafik deselerasi.

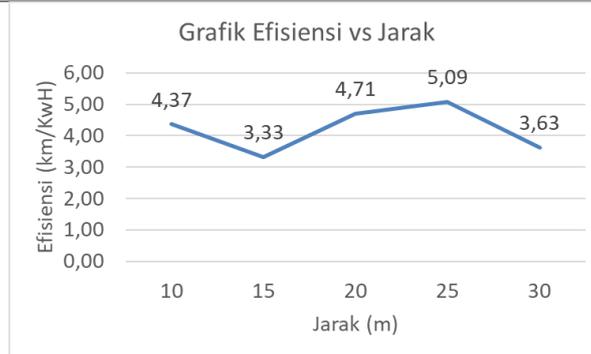
4.3. Konsumsi Daya

Konsumsi daya merupakan daya yang dibutuhkan untuk mengetahui efisiensi sebuah kendaraan listrik dengan satuan yang umum digunakan adalah Km/KwH, atau dapat diartikan 1 Kilowatt-jam listrik dapat menempuh jarak berapa kilometer. Tabel 5 menunjukkan konsumsi daya yang digunakan untuk menempuh jarak tertentu. Nilai konsumsi daya terendah dicapai pada jarak tempuh 10 meter, 20 meter, dan 25 meter yaitu 0,5 watt dan konsumsi daya tertinggi ketika jarak tempuh 30 meter yaitu 0,8 watt.

Tabel 5. Hasil uji efisiensi.

Jarak Tempuh (m)	Tegangan Baterai (V)	Konsumsi Daya (watt)	Efisiensi (Km/Kwh)
10	37,6	0,5	4,37
15	37,53	0,7	3,33
20	37,48	0,5	4,71

25	37,43	0,5	5,09
30	37,35	0,8	3,63



Gambar 12. Grafik efisiensi.



Gambar 13. Enggang proto 3 mengikuti KMHE 2023.

Hasil efisiensi menunjukkan nilai efisiensi berada pada rentang 3,33 Km/Kwh hingga 5,09 Km/Kwh. Nilai terendah efisiensi pada jarak tempuh 15 meter dan 30 meter dikarenakan penurunan tegangan baterai tertinggi serta konsumsi daya terbesar (0,7 watt dan 0,8 watt). Rata-rata efisiensi dari 5 kali pengujian ini adalah sebesar 4,22 Km/Kwh.

Simpulan dan Saran

Berdasarkan analisis aerodinamika didapatkan nilai C_d enggang proto 3 sebesar 0,16, dan kemampuan sasis untuk menahan tegangan cukup baik dilihat dari nilai tegangan aktual hasil simulasi sebesar 42 Mpa serta nilai keamanan minimum 4,2. Perhitungan mengungkapkan daya motor yang dibutuhkan adalah 192, 47 watt dan torsi sebesar 27,23 Nm. Oleh karena itu motor listrik yang digunakan adalah motor BLDC dengan 36 volt dan daya 250 watt. Hasil uji performa menunjukkan nilai akselerasi terbaik 0,96 m/s² pada jarak 10 meter, nilai deselerasi terbaik pada jarak 20 meter adalah 12,34 m/s² dan efisiensi rata-rata kendaraan sebesar 4,22 Km/Kwh.

Ucapan Terima Kasih

Tim peneliti mengucapkan terima kasih kepada LPPM ITK untuk dukungan dana dan moral terhadap penelitian skema PIM untuk UKM Enggang EV ITK.

Daftar Pustaka

- Ahmed, H., dan Chacko, S., (2012), Computational Optimization of Vehicle Aerodynamics, DAAM, Vol. 23 pp. 6.
- Andriansyah, D., dan Sutantra, I. N. (2016). Analisis Pengaruh parameter operasional Dan Penggunaan stabilizer TERHADAP Perilaku Arah belok mobil toyota Fortuner 4.0 V6 SR (at 4x4). Jurnal Teknik ITS, 5(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v5i2.20356>
- Arisendi, D. L. (2017). Perhitungan Ulang Chassis Mobil Nogogeni 3 Evo Untuk Shell Eco Marathon Asia 2017. Jurnal Teknik ITS.
- Ehsani, M., Gao, Y., Longo, S., & Ebrahimi, K. (2018). Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles (3rd ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429504884>
- Jan, S. (2013). Minimizing the fuel consumption of a vehicle from the Shell Eco-marathon: A numerical study. *ESAIM: Control, Optimisation and Calculus of Variations*, 19(2), 516–532. <https://doi.org/10.1051/cocv/2012019>
- Oymak, Y. A., & Feyzullahoglu, E. (2021). Formula student race car chassis design and analysis. *Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences*, 7(2), 201–218. <https://doi.org/10.28979/jarnas.957134>
- Pradana, T. R. (2016). Analisis Perilaku Arah Kendaraan Dengan Variasi Posisi Titik Berat, Sudut Belok, dan Kecepatan Pada Mobil Formula Sapu Angin Speed 3. Jurnal Teknik ITS.
- Puskar, M., Fabian, M., & Tomko, T. (2018). Application of multidimensional statistical model for evaluation of measured data obtained from testing of the HCCI engine prototype. *Diagnostyka*, 19(1), 19–24. <https://doi.org/10.29354/diag/78349>
- Witanyo, Sutikno, Diva Aulia and Habibie Rahman. (2016). Modelling of Shell Eco-Marathon vehicle based on drive-train characteristic and driver modes to predict fuel consumption of the vehicle on a specific track. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*
- Yusup, M. M., & Djafar, A. (2018). Perancangan Rangka Tubular Space Frame Kendaraan listrik FSAE-ITK Ditinjau Dari Simulasi Finite Element Analysis (FEA). 1–10.