

PERANCANGAN PROTOTYPE MOBIL LISTRIK LINGSAR PROTO 3 UNTUK KONTES MOBIL HEMAT ENERGI

Faiz Evan Saputra¹

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
 Jl. Lingkar Selatan, Tamantirto, Bantul, Yogyakarta 55183, Indonesia

Faiz.evan@yahoo.com

Abstrak

KMHE merupakan event perlombaan mobil kreasi mahasiswa dari berbagai lembaga perguruan tinggi dalam skala nasional yang berorientasi dalam penggunaan energi kendaraan yang diselenggarakan oleh RISTEKDIKTI setiap tahunnya. Sumber energi yang digunakan dalam kompetisi terbagi menjadi empat yaitu *gasoline*, etanol, diesel, dan listrik dengan kategori yaitu *prototype* dan *urban concept*. Pada perancangan kendaraan ini dipilih kategori *prototype* dengan sumber energi listrik.

Desain dan *stress analysis prototype* Lingsar Proto 3 menggunakan *software Autodesk Inventor 2017*, perancangan bodi menggunakan *Autodesk Fusion 360* sedangkan analisis aerodinamika *prototype* menggunakan *Autodesk Flow Design*. Tahapan dalam perancangan yaitu perancangan rangka beserta analisa tegangan rangka dengan asumsi beban total sebesar 95 kg, sistem *steering*, sistem pengereman dan roda, sistem pembangkit tenaga serta penerus daya, dan bodi dengan penempatan roda depan pada bagian dalam bodi untuk meningkatkan nilai aerodinamis kendaraan, serta analisis aerodinamika bodi. Jenis material rangka menggunakan aluminium 6061 *rectangular hollow* berukuran 40x20 mm dan 30x20 mm dengan ketebalan 1,5 mm dan bodi menggunakan *fiber glass* dan *lantor coremat*.

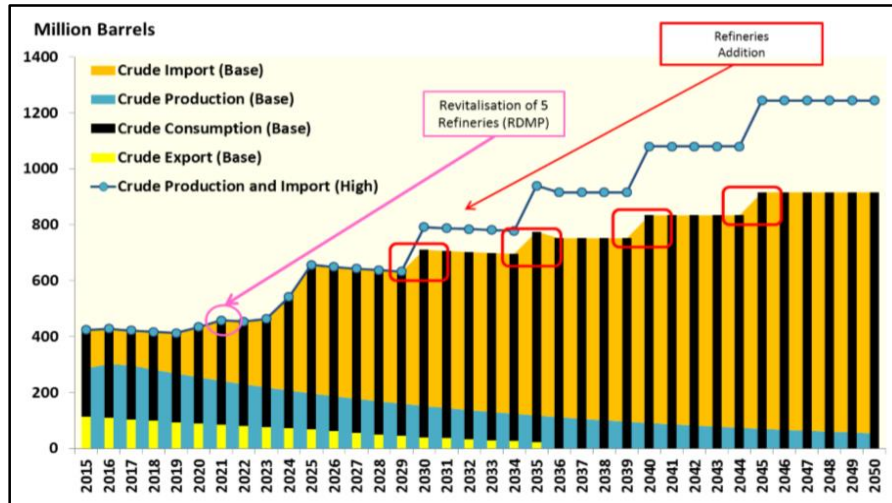
Hasil *stress analysis* pada rangka diperoleh *von mises stress* minimum yaitu 0 Mpa, sedangkan *von mises stress* maksimum sebesar 159,6 MPa. *Equivalent strain* minimum sebesar 0, sedangkan *equivalent strain* maksimum sebesar 0,002084. Nilai *displacement* maksimum sebesar 1,373 mm dengan nilai *safety factor* minimum lebih besar dari 1 yaitu sebesar 1,72. Hasil analisis aerodinamika didapatkan nilai *drag force* atau gaya hambatan sebesar 2,670 N dan *pressure* maksimum pada permukaan bodi sebesar 30,005 Pa. Sedangkan nilai *coefficient of drag* sebesar 0,10 dan *average drag coefficient* sebesar 0,06.

Kata kunci: *prototype*, Lingsar Proto 3, *stress analysis*, *Autodesk*, KMHE

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi pada era modern seperti saat ini sangat besar. Penggunaan bahan bakar minyak terus mengalami peningkatan dikarenakan mayoritas masyarakat lebih memilih transportasi pribadi dibandingkan transportasi umum sehingga menyebabkan bertambahnya penggunaan bahan bakar minyak. Akan tetapi, bahan bakar minyak merupakan energi tidak dapat diperbaharui dan ketersediaannya setiap tahun semakin menipis. Permasalahan ini terjadi di berbagai negara termasuk Indonesia.

Berdasarkan hal tersebut seperti ditunjukkan pada Gambar 1, grafik berwarna hitam menunjukkan konsumsi minyak bumi mengalami peningkatan setiap tahunnya, sedangkan pada grafik berwarna biru menunjukkan produksi minyak bumi mengalami penurunan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa konsumsi minyak bumi di Indonesia lebih besar dibandingkan dengan produksinya. Kondisi tersebut menyebabkan pemerintah memutuskan melakukan impor untuk mengatasi tingginya kebutuhan minyak bumi di Indonesia. Di sisi lain, penggunaan bahan bakar minyak yang berlebihan juga menyebabkan pemanasan global dan dapat mengakibatkan perubahan iklim yang sangat signifikan serta merugikan keberlangsungan makhluk hidup.



Gambar 1. Neraca minyak bumi di Indonesia tahun 2015-2020
Sumber: BPPT Outlook Energi Indonesia 2017

Melihat keadaan diatas, Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi bekerja sama dengan universitas-universitas di Indonesia mengadakan event tahunan yang dinamakan Kontes Mobil Hemat Energi (KMHE). KMHE merupakan event perlombaan mobil kreasi mahasiswa dari berbagai lembaga perguruan tinggi dalam skala nasional yang diselenggarakan oleh DIKTI setiap tahun. Perlombaan ini berorientasi pada efisiensi penggunaan energi dari mobil rancangan mahasiswa hasil pengaplikasian ilmu yang didapat selama kuliah. Jenis sumber energi penggerak yang digunakan dalam kompetisi terbagi menjadi empat yaitu *gasoline*, etanol, diesel, dan listrik. Berdasarkan target perancangan, perlombaan ini dibagi menjadi dua kategori, yaitu *prototype* dan *urban concept*.

Azwir, dkk (2014) melakukan pemodelan dan analisa *computational fluid dynamics* (CFD) terhadap bodi *prototype* antara Mataram Proto dan Mataram Proto Modifikasi. Berdasarkan hasil analisa didapatkan bodi Mataram Proto. Modifikasi lebih aerodinamis yaitu dengan nilai *coefficient drag* dan *lift* paling kecil sebesar 0.09 dan 0.17. Akan tetapi rancangan bodi tersebut mudah terdeformasi karena kurangnya struktur profil pada bodi. Sehingga bodi akan mudah mengalami defleksi jika terkena tekanan angin yang tinggi.

Setyono dan Gunawan (2015) mendesain rangka *prototype* mobil listrik semut abang, ITATS dengan tipe rangka *tubular frame* menggunakan material AA 6061 dengan penampang *rectangular hollow* dengan pemodelan rangka di-*assemble* menggunakan penguat yaitu *rivet*. Hal ini membutuhkan perhitungan yang tepat saat *assembly* tiap potongan rangka.

Wahyudi dan Fahrudi (2016) merancang mobil *sport* dengan desain rangka berbahan baja campuran ST 37/AISI 1045 dengan tipe *ladder frame*. Namun hasil dari rangka kendaraan tersebut memiliki berat yaitu 59 kg.

Tim mobil hemat energi Universitas Muhammadiyah Yogyakarta yang bernama Kiai Haji Ahmad Dahlan (KHAD) *Eco Team* merancang rangka dan bodi serta melakukan analisa pada *prototype* yang diberi nama Lingsar Proto 2, bodi dirancang menggunakan jenis material *fiber glass* dan dilakukan analisa menggunakan *software* CFD yaitu *Autodesk Flow Design*. Hasil dari rancangan tersebut didapatkan nilai *coefficient of drag (Cd)* sebesar 0,25 dan *drag force* sebesar 5,778 N. Berdasarkan hasil tersebut maka rancangan bodi tersebut masih tidak aerodinamis dikaenakan nilai *Cd* dan *drag force* yang tinggi.

Faktor lain yang dapat mempengaruhi efisiensi penggunaan energi dari kendaraan tersebut, yaitu seperti bentuk bodi kendaraan. Oleh karena itu, dalam karya tulis ilmiah ini dirancang sebuah desain kendaraan *prototype* yang diberi nama Lingsar Proto 3 dengan pemodelan bentuk bodi yang lebih aerodinamis dari *prototype* Lingsar Proto 2 dan perancangan struktur rangka yang ringan dan kuat.

2. Dasar Teori dan Tinjauan Pustaka

2.1. Tinjauan Pustaka

Azwir dkk (2014) melakukan analisa *Computational Fluid Dynamic* menggunakan *software* Ansys 14.5 pada desain bodi kendaraan *prototype* mobil hemat energi Mataram Proto agar

didapatkan bodi *prototype* yang aerodinamis dan *streamline*. Hasil perancangan dan analisis aerodinamis bodi *prototype* Mataram Proto dan Mataram Proto Modifikasi memiliki nilai *coefficient drag* (*Cd*) pada bodi *prototype* Mataram Proto rata-rata sebesar 0,3. Sedangkan pada bodi *prototype* Mataram Proto Modifikasi diperoleh rata-rata sebesar 0,09. Untuk nilai *coefficient lift* (*Cl*) pada bodi *prototype* Mataram Proto diperoleh rata-rata sebesar 0,18, sedangkan pada bodi *prototype* Mataram Proto Modifikasi diperoleh rata-rata sebesar 0,17.

Setyono dan Gunawan (2015) melakukan perancangan desain rangka mobil listrik semut abang ITATS menggunakan *software Autodesk Inventor Pro 2013*. Dengan menggunakan material aluminium 6061 berbentuk *rectangular hollow* dengan ukuran penampang 50,8 x 25,4 x 1 mm. Tahap pemodelan rangka kendaraan menggunakan metode *di-assemble* dengan penyambung berupa *rivet*. Dimensi rangka kendaraan hasil rancangan yaitu panjang 2134 mm, lebar 623,5 mm, tinggi 711,5 mm. Hasil *stress analysis* diperoleh besar tegangan maksimum *von mises stress* terjadi pada bagian *rivet* plat penyambung pada bagian belakang rangka sebesar 108,8 Mpa. Nilai *displacement* maksimum yang terjadi pada rangka bagian *roll bar* yaitu sebesar 0,7136 mm ke arah sumbu X. Hasil analisa rancangan desain untuk *safety factor* diperoleh sebesar 2,53.

Wahyudi dan Fahrudi (2016) merancang dan melakukan analisis mobil *sport* menggunakan *software Solidworks 2010* dengan material baja campuran ST 37 / AISI 1045 berbentuk kotak berongga 40 x 60 x 1 mm dengan tipe rangka yaitu *ladder frame*. Hasil rancangan didapat titik kritis pada mobil terletak pada bagian tengah karena menopang beban paling tinggi yaitu 1706,94 N. Perhitungan *safety factor* didapat nilai *safety factor* sebesar 4,31. Hasil dari rangka kendaraan tersebut memiliki berat 59 kg.

Hakim dkk (2016) merancang dan menganalisa bodi kendaraan hemat energi untuk mengikuti ajang kontes mobil hemat energi 2015 yang diberi nama Engku Putri, perancangan dilakukan untuk tiga buah mobil kelas *prototype* berbahan bakar listrik, *gasoline* dan *ethanol*. Parameter yang divariasikan yaitu kecepatan udara dan bentuk belakang bodi. Hasil analisa *coefficient of drag* dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Analisa Koefisien Drag *Prototype* Engku Putri

Kecepatan Udara (m/s)	Koefisien Drag (Cd)		
	Prototype 1	Prototype 2	Prototype 3
11.11	0.07940	0.01270	0.01056
16.67	0.08040	0.02820	0.02017
22.22	0.08140	0.04070	0.03746

Sumber : Hakim, dkk 2016

Tsirogiannis, dkk (2019) merancang rangka kendaraan urban *concept* yang akan digunakan dalam event *Shell Eco Marathon*. Rangka dirancang dengan tipe *ladder frame* menggunakan bahan aluminium persegi berongga 6082-T6 dengan ketebalan 1,5 mm dan pada bagian belakang struktur rangka menggunakan besi AISI 9000. Hasil pengujian *stress analysis* rangka Maximum dan minimum *von mises stress* sebesar 317,79 MPa dan 6,5211e-10 MPa, dengan nilai maksimum deformasi sebesar 9,55 mm. Namun kendaraan yang dirancang tersebut masih memiliki berat tanpa pengemudi 82,1 kg dan berat dengan pengemudi yaitu 155,1 kg.

2.2. Dasar Teori Kendaraan

Kendaraan merupakan alat transportasi yang digerakkan oleh seperangkat teknik dengan sumber daya bahan bakar dan listrik guna menunjang mobilitas manusia sehari-hari. Sebuah kendaraan tersusun dari beberapa komponen dan sistem utama kendaraan antara lain: a) Rangka yang berfungsi menopang beban pengemudi, bodi, dan komponen-komponen lainnya pada kendaraan (Eddy, 2009). b) Bodi yang berfungsi untuk melindungi driver dan penumpang dari beban dampak akibat kecelakaan atau tabrakan. Bodi juga berfungsi sebagai pelindung konstruksi rangka, komponen dan panel-panel kelistrikan dari faktor eksternal (Hakim, dkk, 2016). c) Sistem Pembangkit Tenaga yang fungsi utamanya merubah suatu energi baik kimia maupun energi listrik menjadi tenaga mekanis putar sebagai sumber tenaga penggerak kendaraan dan kebutuhan lain dari kendaraan. d) Sistem *Steering* atau Kemudi berfungsi untuk mengatur arah dari laju kendaraan sesuai dengan keinginan pengemudi dengan cara membelokkan roda depan atau roda belakang maupun roda depan dan belakang (Artika, dkk, 2017). e) Sistem pengereman yang merupakan sistem perangkat untuk memperlambat atau menghentikan laju kendaraan serta mencegah pergerakan kendaraan saat parkir dengan memanfaatkan gaya gesek dari suatu

bidang gesek pada komponen rem. f) Sistem Suspensi yang berfungsi untuk menambah nilai ergonomi pada kendaraan, selain itu suspensi juga berfungsi untuk menjaga kestabilan kendaraan saat berbelok dan melewati jalan bergelombang. g) Sistem Transmisi merupakan sekumpulan komponen kendaraan yang berfungsi untuk meneruskan dan merubah daya serta torsi mekanis yang dihasilkan mesin menjadi gaya dorong atau gaya traksi yang terjadi pada kontak roda penggerak dengan jalan. h) Pengaman (*safety*) dan Penyetabil Arah yang berfungsi sebagai pengaman pada penumpang dan pengemudi saat terjadi kecelakaan.

3. METODE PERANCANGAN

3.1. Alat dan Software Perancangan

A. Alat dan Bahan Perancangan

Alat yang digunakan pada perancangan ini yaitu:

1. Laptop Asus A442U dengan spesifikasi seperti ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi Laptop Asus

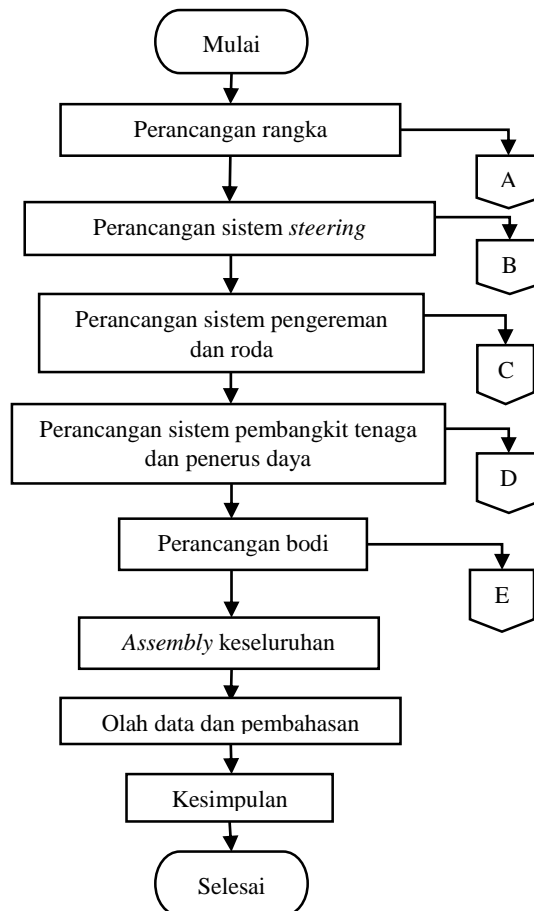
<i>Operation System</i>	<i>Windows 10 Home Single Language</i>
<i>Processor</i>	Intel(R) Core(TM) i5-8250 U
<i>CPU</i>	1.60 GHz 1.80 GHz
<i>Installed Memory (RAM)</i>	4 GB
<i>System Type</i>	64-bit <i>Operating system</i> ,

2. Jangka Sorong

B. Software perancangan

Dalam perancangan ini jenis *software* yang digunakan yaitu: a) *Autodesk Inventor 2017 x64 Edition*, untuk perancangan rangka dan komponen *prototype*. b) *Autodesk Fusion 360*, untuk perancangan bodi *prototype*. c) *Autodesk Flow Design*, untuk simulasi aerodinamis *prototype*.

3.2. Diagram Alir Perancangan



Gambar 2. Diagram alir perancangan Lingsar Proto 3

3.3. Perancangan Prototype Lingsar Proto 3

A. Studi literatur

Studi literatur dilakukan dengan cara mencari dan mempelajari referensi teks, jurnal, *paper*, serta literatur lain yang terkait dengan perancangan.

B. Pengumpulan data

Metode yang dilakukan dalam pengumpulan data adalah merujuk pada regulasi teknis KMHE 2017 pada kategori *prototype* listrik. Mengacu dari regulasi tersebut maka dilakukan penelitian mengenai *study* kelayakan dari *object* tersebut sehingga diketahui perkembangan penelitian pada kendaraan mobil hemat energi tipe *prototype* listrik.

C. Pemodelan desain *prototype* Lingsar Proto 3

Pemodelan dilakukan pada tiap sistem dan komponen penyusun *prototype* yaitu rangka, sistem kemudi, hingga bodi. Metode perancangan dengan cara pendesainan menggunakan *software Autodesk Inventor 2017* untuk *part* dan *Autodesk Fusion 360* untuk bodi. Desain dan ukuran *prototype* mengacu pada regulasi teknis KMHE 2017 untuk kelas *prototype* listrik.

D. Simulasi dan analisis desain

Simulasi dan analisis desain rangka *prototype* Lingsar Proto 3 menggunakan *stress analysis* pada *software Autodesk Inventor 2017* dengan metode *Finite Element Analysis* (FEA). Penerapan metode jenis ini adalah membagi suatu benda yang akan dianalisa menjadi beberapa bagian dengan jumlah hingga (*finite*). Bagian-bagian dari tiap elemen dihubungkan dengan nodal (*node*).

Simulasi bodi menggunakan metode *Computational Fluid Dynamic* (CFD) pada *software Autodesk flow design* untuk mengetahui bagaimana aliran fluida yang terjadi di sekitar bodi *prototype*.

F. Analisis hasil simulasi

Hasil dari *stress analysis* berupa distribusi tegangan, *displacement* dan *safety factor* di setiap batang rangka. Sedangkan hasil dari simulasi aerodinamika berupa data *drag force*, *drag coefficient*, *velocity*, *pressure*, dan lain-lain. Kondisi hasil simulasi ini menjadi acuan analisis kekuatan, keamanan, dan kelayakan dari rancangan *prototype*.

G. Pengolahan data

Hasil simulasi selanjutnya dilakukan pengolahan data agar dapat tersusun secara sistematis.

H. Kesimpulan

Setelah dilakukan perancangan dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan dan saran.

4. HASIL RANCANGAN PROTOTYPE LINGSAR PROTO 3

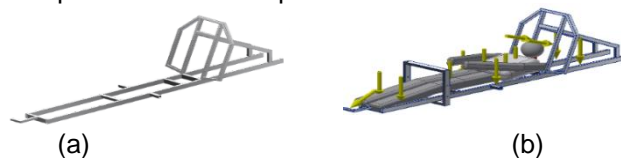
4.1. Pengertian *Prototype* Lingsar Proto 3

Prototype mobil listrik Lingsar Proto 3 merupakan *prototype* kendaraan hemat energi bertenaga listrik yang diikuti sertakan dalam ajang KMHE kategori *prototype* listrik yang mana akan diutamakan efisiensi penggunaan energi, kekuatan, dan keamanan kendaraan terhadap pengemudi dan orang lain di jalan.

4.2. Perancangan Rangka dan Analisis Tegangan (*Stress Analysis*)

A. Perancangan rangka dan analisis tegangan rangka

Perancangan dan analisis rangka *prototype* Lingsar Proto 3 menggunakan *software Autodesk Inventor 2017*. Rangka dirancang dengan tipe *ladder frame* menggunakan material aluminium *rectangular hollow* 6061 berukuran 40 x 20 x 1,5 mm dan 30 x 20 x 1,5 mm agar bobot rangka lebih ringan. Hasil perancangan rangka ini diketahui bobot rangka sebesar 4,9805 kg dengan bentuk seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Setelah rangka dirancang, dilakukan pengujian *stress analysis* menggunakan *software Autodesk Inventor 2017* dengan metode elemen hingga atau *Finite Element Method* (FEM) yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan dan kemampuan rangka untuk menahan suatu beban yang diterima oleh rangka. Beban pengemudi diletakkan sesuai posisi badan pengemudi saat sedang mengemudi. Letak pembebanan pengemudi pada rangka saat mengemudi seperti diilustrasikan pada Gambar 3.



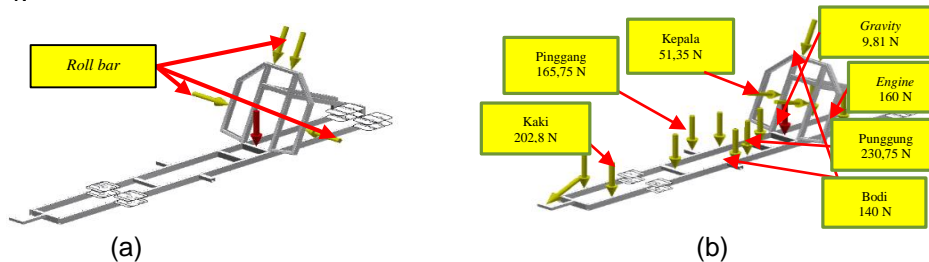
Gambar 3. Rangka Lingsar Proto (a), distribusi beban pengemudi saat mengemudi dan beban *engine* (b)

Merujuk dari regulasi teknis KMHE 2017, pengemudi harus memiliki berat minimal yaitu 50 kg. Dalam pengujian diasumsikan berat pengemudi yaitu 65 kg. Agar distribusi beban pada rangka merata, maka asumsi pembagian berat pengemudi seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Asumsi pembagian berat pengemudi

No	Nama bagian	Persentase	Berat (kg)
1	Kepala	7,9 %	5,135
2	Punggung	35,5 %	23,075
3	Pinggang	25,5 %	16,575
4	Kaki	31,2 %	20,28

Berdasarkan regulasi teknis KMHE 2017, *roll bar* harus mampu menahan beban dari arah *vertical* dan *horizontal* (pada segala arah) yaitu sebesar 700 N. Secara keseluruhan letak penempatan beban dan *fix constraint* pada pengujian *stress analysis* seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Penempatan beban dan *fix constraint* rangka: rollbar (a), rangka utama (b)

B. Meshing

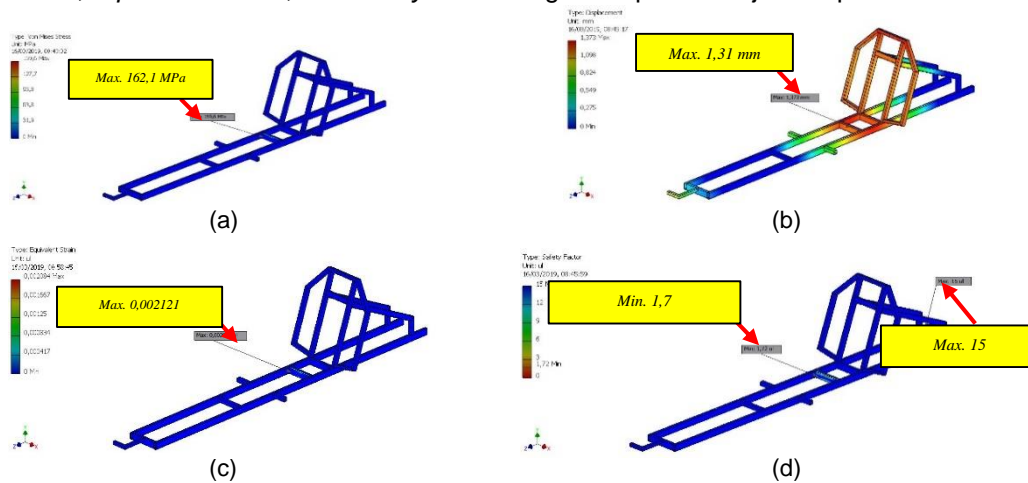
Meshing merupakan proses penghitungan elemen dengan cara membagi suatu komponen menjadi beberapa bagian elemen sangat halus untuk dianalisis dengan sangat kritis (Ragunandan, dkk, 2016). Hasil *meshing* rangka *prototype* Lingsar Proto 3 diperoleh jumlah *nodes* 190555 dan elemen 95937. Hasil proses *meshing* seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil proses *meshing* rangka

C. Hasil *Stress Analysis* Rangka

Setelah dilakukan pengujian *stress analysis* dapat diketahui nilai *von misses stress*, *displacement*, *equivalent strain*, dan *safety factor* rangka. Seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. *Von misses* rangka (a), *displacement* rangka (b), *equivalent strain* rangka (c), *safety factor* rangka (d)

Berdasarkan gambar 5, dari hasil simulasi dapat diketahui nilai *von misses stress* maksimum rangka sebesar 159,6 MPa. Nilai *displacement* maksimum rangka sebesar 1,373 mm dengan nilai *equivalent strain* maksimum sebesar 0,002084 dan nilai *safety factor* minimum rangka sebesar 1,72 ul. Menurut hasil simulasi, dapat disimpulkan bahwa rangka aman dan layak dilakukan proses produksi karena nilai *von misses stress* maksimum rangka tidak melebihi nilai *yield strength* alumunium 6061 yaitu 245 MPa, nilai regangan yang terjadi pada rangka tidak melebihi nilai regangan ijin yang telah dihitung menggunakan persamaan 1,2,3 yaitu 0,00232051, serta nilai *safety factor* minimum rangka tidak kurang dari standar minimum yaitu lebih dari atau sama dengan 1 (Popov, 1984).

$$\mathcal{E} = \frac{\sigma}{E} \dots\dots\dots 4.1$$

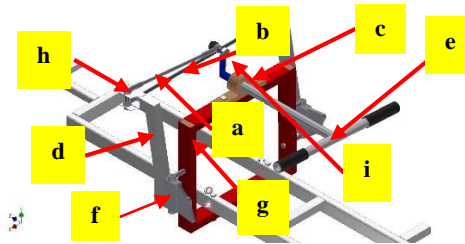
$$\sigma_{ijin} = \frac{Yield\ Strength}{Safety\ Factor} \dots\dots\dots 4.2$$

$$\mathcal{E}_{ijin} = \frac{\sigma_{ijin}}{E_{Aluminium}} \dots\dots\dots 4.3$$

Dimana : σ = Tegangan ijin (N/m²)
 \mathcal{E} = Regangan
 E = Modulus elastisitas (N/m²)

4.3. Perancangan Sistem Steering

Hasil rancangan sistem *steering prototype* Lingsar Proto 3 seperti ditunjukkan pada Gambar 7. Berdasarkan rancangan yang telah dilakukan didapat berat total sistem *steering* yaitu sebesar 3,563 kg.



- Keterangan :
- a. Link steering
 - b. Link stabilizer
 - c. Bracket setang
 - d. steering arm
 - e. setang steering
 - f. Bracket shaft roda
 - g. Penghubung shaft steering
 - h. Ball joint
 - i. Link penghubung steering

Gambar 7. Assembly sistem steering

1. Perhitungan Sudut Belok Steering

Untuk mengetahui besar sudut putar roda *steering* yaitu menggunakan rumus persamaan 4. (Pahlevi dan Wasiwitono, 2014)

$$R = \left(\frac{t_r}{2}\right) + \left(\frac{L}{\sin \delta}\right) \dots\dots\dots (4)$$

Dimana : R = radius putar (meter) t_r = track width (meter) L = wheel base (meter) δ = sudut belok

Sesuai dengan regulasi teknis KMHE 2017, ketentuan minimal yang telah ditentukan yaitu R= 6 meter, L= 1 meter, dan t_r = 0,5 meter.

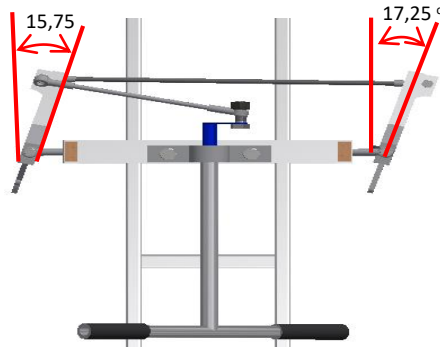
Merujuk regulasi tersebut, maka sudut belok yang dirancang untuk *prototype* Lingsar Proto 3 dapat ditentukan R = 6 meter, t_r = 0,515 meter, L = 1,56 meter, Maka didapat sudut belok minimum sebesar $\delta = 15,75^\circ$

Untuk memenuhi prinsip belok ideal, maka digunakan sistem *steering ackerman* yaitu sudut belok roda sebelah dalam berbeda dengan roda bagian luar, dengan menggunakan persamaan 5 dan 6 didapat besarnya sudut belok roda bagian dalam sebesar 17,25° dan roda bagian luar sebesar 15,75°, dengan rata-rata sebesar 16,64°.

$$\delta_i > \delta_o$$

$$\cot(\delta_i) = \cot(\delta_o) - \frac{w}{l} \Rightarrow \delta_i = \cot^{-1} \left(\cot(\delta_o) - \frac{w}{l} \right) \dots\dots\dots (5)$$

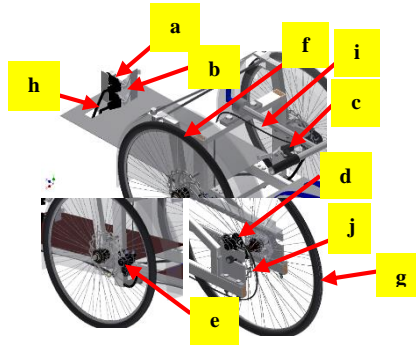
$$\cot \delta = \frac{\cot \delta_o + \cot \delta_i}{2} = \delta \dots\dots\dots (6)$$



Gambar 8. Sudut belok *inner* dan *outer steering*

4.4. Perancangan Sistem Pengereman dan Roda

Sistem pengereman roda belakang terletak di sebelah kiri dengan *bracket caliper* yang menyatu pada *bracket shaft* roda belakang. Sedangkan Sistem pengereman pada roda depan terletak di sisi dalam kendaraan, *bracket caliper* menyatu dengan *bracket shaft* untuk pemasangan *caliper* terletak di sisi belakang *bracket shaft* roda seperti ditunjukkan pada Gambar 9.



- Keterangan :
- a. *Brake lever* rem depan
 - b. Pedal rem
 - c. *Brake lever* rem
 - d. *Caliper* rem belakang
 - e. *Caliper* rem depan
 - f. Roda depan
 - g. Roda belakang
 - h. Selang rem
 - i. Selang rem
 - j. *Disk brake*

Gambar 9. *Assembly* sistem pengereman

4.5. Perancangan Sistem Pembangkit Tenaga dan Penerus Daya

Dalam pemilihan sistem pembangkit tenaga, maka *prototype* Lingsar Proto 3 menggunakan motor elektrik dengan jenis BLDC *hub* motor dengan daya 1000 Watt dan memiliki arus maksimal 20 A serta efisiensi motor sebesar 88%. Spesifikasi BLDC *electric* motor yang akan digunakan seperti ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Spesifikasi BLDC *hub* motor

Komponen Motor	Spesifikasi
Tipe	BLDC Hub Motor
Daya	1000 Watt
Tegangan	48 Volt
Arus Maksimum	20 Ampere
Torsi Maksimum	40 N.m
Rpm Maksimum	520 rpm
Sensor	Hall sensor
Efisiensi	88 %
Berat	6,2 Kg

Dalam perancangan ini, *prototype* Lingsar Proto 3 menggunakan rantai sebagai penerus daya dari motor ke roda. *Prototype* Lingsar Proto 3 menggunakan rantai sepeda dengan penentuan ukuran menggunakan persamaan sebagai berikut: (Sularso, 2004)

1. Putaran (n) roda belakang

$$V = \pi \times D \times n$$

$$n_{roda} = \frac{v}{\pi \times D} \dots \dots \dots (7)$$

2. Rasio kecepatan

$$V.R = \frac{N_1}{N_2} \dots\dots\dots (8)$$

3. Jumlah gigi sprocket besar

$$T_2 = T_1 \times \frac{N_1}{N_2} \dots\dots\dots (9)$$

4. Jumlah mata rantai

$$C_p = \frac{C}{p} \dots\dots\dots (10)$$

5. Panjang rantai

$$L_p = \frac{z_1+z_2}{2} + 2 \times c_p + \frac{(z_2-z_1)^2}{6,28 \times c_p} \dots\dots\dots (11)$$

Keterangan:

V = Kecepatan mobil (km/jam) = 35 km/jam = 583,3 m/menit D = Diameter roda (m) = 0,48 m

n_{motor} = Putaran motor = 520 rpm

N_1 = Putaran sprocket kecil (rpm)

$N_2 = N_{roda}$ = Putaran sprocket besar (rpm)

p = Pitch (mm)

d_1 = Diameter pitch sprocket kecil (mm)

d_2 = Diameter pitch sprocket besar (mm)

(mm)

L_p = Panjang rantai (mm)

T_1 = Jumlah gigi kecil

T_2 = Jumlah gigi besar

C = Jarak Sumbu sprocket

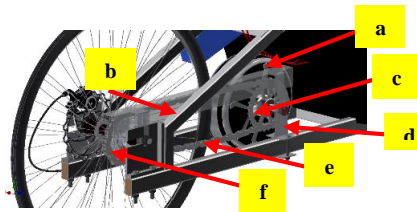
c_p = Jarak sumbu antar sprocket (jumlah rantai)

L_p = Jumlah mata rantai

L = Panjang rantai

Berdasarkan persamaan tersebut, maka untuk menghasilkan kecepatan 35 km/ jam didapat putaran sprocket besar yaitu 386,81 rpm dengan rasio perbandingan 1:1,34 dibulatkan menjadi 2. Dengan besar sprocket kecil sebesar 27 T dan panjang rantai 1115 mm.

Dari hasil perancangan sistem pembangkit tenaga dan penerus daya menggunakan software Autodesk Inventor 2017 didapatkan hasil perancangan seperti ditunjukkan pada Gambar 10.



Keterangan :

a. BLDC motor 1000 W

d. Bracket motor

b. Penutup transmisi

e. rantai

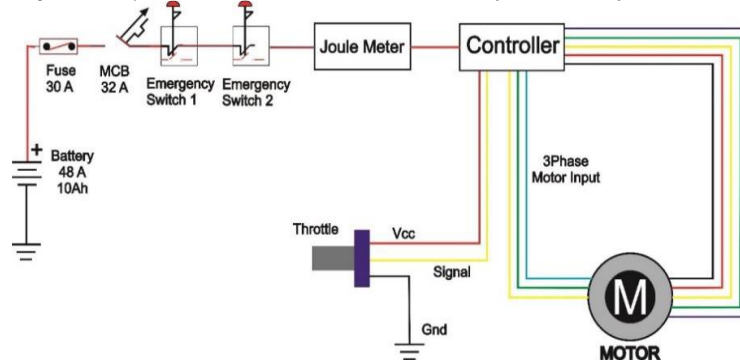
c. Sprocket depan

f. Sprocket MTB

Gambar 10. Assembly sistem pembangkit daya dan penerus daya

4.6. Perancangan Sistem Kelistrikan

Sistem kelistrikan pada mobil merujuk pada aspek keandalan mobil dan keselamatan dari driver. Sistem kelistrikan terdiri dari bagian utama dan aksesoris. Bagian utama antara lain: baterai, controller, handle gas dan motor penggerak, sedangkan untuk bagian aksesoris terdiri dari, BMS (Battery Manajement System), sensor kecepatan, regulator tegangan, fuse, tombol darurat (emergency swicth), dan klakson. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Wiring Diagram kelistrikan

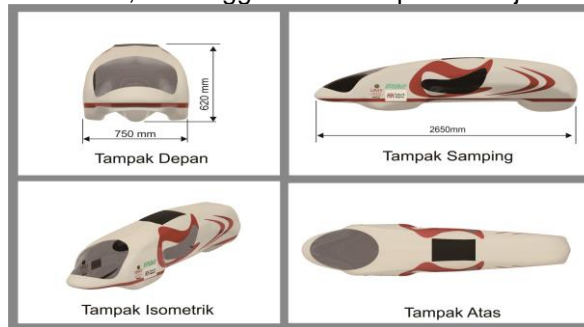
4.7. Perancangan Bodi dan Analisa Aerodinamika

A. Perancangan Bodi

Merujuk pada regulasi teknis KMHE 2017, kendaraan dengan kategori *prototype* harus memenuhi beberapa syarat yaitu sebagai berikut:

1. Dimensi maksimal kendaraan yang diijinkan yaitu dengan panjang 350 cm, lebar 130 cm, dan tinggi 100 cm.
2. Bodi kendaraan tidak boleh mudah berubah bentuk karena faktor angin dan tidak diperbolehkan menggunakan perlengkapan *aerodynamic*.

Berdasarkan hal di atas maka bodi kendaraan *prototype* Lingsar Proto 3 dirancang dengan panjang 2500 mm, lebar 800 mm, dan tinggi 550 mm seperti ditunjukkan pada Gambar 12.

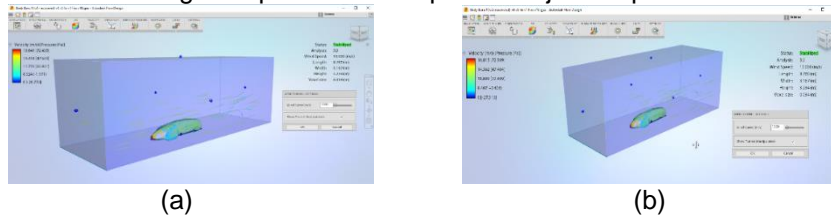


Gambar 12. Bodi *prototype* Lingsar Proto 3

B. Analisa Aerodinamika Bodi

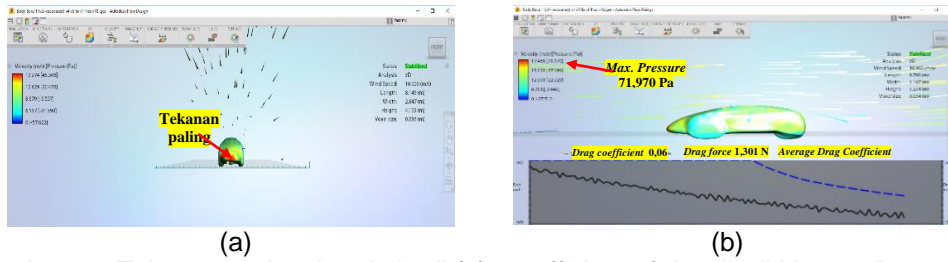
Konsep aerodinamika pada kendaraan merupakan aspek yang sangat penting yang dapat mempengaruhi penggunaan energi pada kendaraan. Berdasarkan hal tersebut maka dirancang bentuk kendaraan yang aerodinamis untuk mengatasi gaya-gaya aerodinamis. (Jhon dan Utomo, 2017).

Dalam melakukan analisis bodi *prototype* Lingsar Proto 3, penulis menggunakan metode CFD dengan *software* CFD yaitu *Autodesk Flow Design* 2017. Konfigurasi pra analisis dilakukan dengan memasukkan daerah komputasi (*Computational Domain*) simulasi yaitu dengan panjang 8,760 m dengan lebar 3,187 m dan tinggi 3,214 m. Diberikan lebih panjang dari panjang model mobil yang disimulasikan agar seluruh bagian dapat diketahui nilai aerodinamikanya. Kondisi batas (*boundary condition*) dengan memasukkan kecepatan udara sebesar 10 m/s atau 36 km/jam. Aliran fluida yang digunakan yaitu udara dengan nilai *density* 1,225 kg/m³ dan viskositas (μ) 1,7894 . 10⁻⁵ Pa.s. konfigurasi pra analisis seperti ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Daerah komputasi pada bodi *prototype* (a), *boundary condition* simulasi aerodinamika (b)

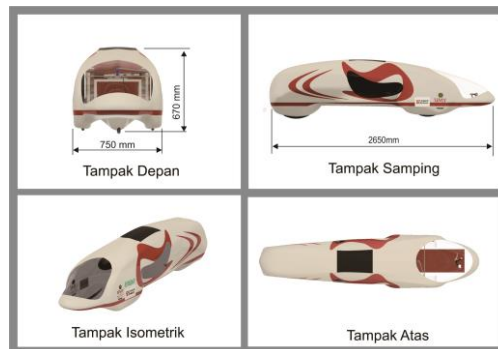
Setelah dilakukan konfigurasi dan simulasi maka dapat diketahui perbedaan tekanan dan kecepatan yang terjadi pada bodi kendaraan dengan lokasi yang berbeda. Berdasarkan hasil simulasi dapat disimpulkan bahwa bodi yang telah dirancang memiliki aspek aerodinamika yang cukup baik dengan nilai *drag force* dan *Cd* yang kecil yaitu nilai *drag force* sebesar 1,301 N, nilai *Cd* sebesar 0,06 dan nilai *average drag coefficient* sebesar 0,06. Dengan *pressure* terbesar yang terjadi pada permukaan bodi sebesar 71,970 Pa. Nilai ini lebih baik dari pada hasil perancangan bodi Lingsar Proto 2. Bagian yang memiliki tekanan tinggi terjadi pada bagian depan bodi, yang ditunjukkan dengan warna merah dikarenakan bagian tersebut merupakan permukaan yang bertumbukkan langsung dengan udara seperti ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Tekanan tertinggi pada bodi (a), *coefficient of drag* bodi Lingsar Proto 3 (b)

4.8. Assembly Keseluruhan Prototype Lingsar Proto 3

Setelah selesai dilakukan perancangan pada semua bagian *prototype*, maka dapat dilakukan penggabungan (*assembly*) bagian-bagian tersebut menjadi sebuah rancangan *prototype* Lingsar Proto 3 seperti ditunjukkan pada Gambar 15. Dengan spesifikasi seperti ditunjukkan pada Tabel 5.



Gambar 15. Hasil rancangan *prototype* Lingsar Proto 3

Tabel 5. Spesifikasi *prototype* Lingsar Proto 3

Nama Kendaraan	<i>Prototype</i> Lingsar Proto 3
Bahan Bakar	Listrik
Penggerak	<i>Electric BLDC hub motor</i> 1000 W
Dimensi (PxLxT)	2650 x 800 x 670 mm
Kecepatan	35 km/jam
Tipe rangka	<i>Ladder frame aluminium rectangular hollow</i> 6061 40 x 20 mm dan 30 x 20 mm
Sistem <i>Steering</i>	<i>Ackerman</i> dengan sudut belok 15,75 °
Sistem Transmisi	<i>Single Sprocket</i> 27 T dan <i>Sprocket</i> bertingkat dengan rantai
Sumber tenaga	4 x Baterai <i>lithium polimer</i> (Li-Po) 12 Volt kapasitas 10 Ah
Bodi	<i>Fiberglass</i> dan <i>lantorsorik</i> dengan resin dan <i>epoxy</i>
Berat total kendaraan	45 kg
Berat tanpa bodi	30 kg

5. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

- Rangka yang digunakan yaitu dengan tipe ladder frame dengan jenis material aluminium rectangular hollow 6061 yang diperkuat menggunakan filler pada bagian rongga pada setiap tumpuan. Stress analysis dengan pembebanan sebesar 910 N searah vertikal pada rangka utama dan 1400 N searah horizontal pada roll bar sehingga diketahui hasil pada rangka meliputi: von mises minimum sebesar 0 Mpa, sedangkan von mises maksimum sebesar 159,6 MPa. Equivalent Strain minimum yang terdeteksi sebesar 0, sedangkan equivalent strain maksimum sebesar 0,002084. Analisis displacement yang terjadi pada rangka yaitu dengan nilai maksimal sebesar 1,373 mm. Safety factor minimum yang didapat lebih besar dari 1 yaitu sebesar 1,72, maka dapat diambil kesimpulan bahwa rangka *prototype* aman dan siap untuk dibuat.

2. Sistem kemudi tipe ackerman dipilih karena memiliki konstruksi sederhana dan mudah dalam pembuatan. Sistem kemudi tipe ini dengan penempatan link-link kemudi berada di atas kaki pengemudi sehingga memudahkan dalam assembly dan memudahkan pengoperasian saat mengemudi serta tidak mengganggu akses pengemudi saat keluar dan masuk. Hasil perancangan sistem steering Lingsar Proto 3 diperoleh sudut belok ideal sebesar $15,75^\circ$ untuk roda bagian luar dan $17,25^\circ$ untuk roda bagian dalam.
3. Perancangan sistem pengereman menggunakan sistem hidrolik dan disk brake karena pengereman dengan sistem hidrolik dapat merespon sangat cepat dari pada sistem pengereman yang lain. Selain itu sistem pengereman ini juga kuat mampu melakukan pengereman dengan beban yang lebih. Secara umum sistem pengereman tipe ini bisa dibuat yang sebenarnya karena memiliki konstruksi sederhana dan mudah untuk mendapatkan komponennya di pasaran.
4. Konstruksi sistem transmisi yaitu dengan menggunakan single sprocket dan sprocket bertingkat dengan perbandingan sprocket kecil berukuran 27 T sedangkan sprocket besar 37 T serta rantai sebagai penghubung antara sprocket besar dan sprocket kecil dengan panjang 1114,4 mm.
5. Perancangan bodi dengan perubahan bentuk dan peletakan ban dibagian dalam bodi dan penambahan penguat dengan profil pada bagian dalam bodi sehingga didapatkan nilai-nilai aerodinamika yaitu drag force sebesar 1,301 N, nilai Cd sebesar 0,06 dan nilai average drag coefficient sebesar 0,06. Dari hasil analisis aerodinamis dapat diambil kesimpulan bahwa hasil rancangan bodi sangat aerodinamis karena memiliki drag force dan coefficient of drag yang kecil.
6. Dimensi kendaraan dengan panjang x lebar x tinggi yaitu 2560 x 800 x 670 mm dengan bobot total prototype sebesar 45 kg.

5.2. Saran

1. Pada perancangan selanjutnya perlu ditambahkan detail gambar teknik yang lebih detail agar lebih mudah dipahami saat proses pembuatan
2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai bentuk bodi, pemilihan material bodi dan sistem *engine prototype* agar menghasilkan efisiensi *engine* yang optimal.
3. Perlu dilakukan riset secara langsung terhadap perancangan dan perhitungan sistem transmisi dan sistem *steering* secara langsung di lapangan
4. Rancangan kendaraan perlu dimaksimalkan kembali pada aspek bobot dan aerodinamika kendaraan.

6. Daftar Pustaka

- Artika, K. D., Syahyuniar, R., & Priono, N. (2017). PERANCANGAN SISTEM KEMUDI MANUAL PADA MOBIL LISTRIK. *Jurnal Elemen*, Volume 4 No.1.
- Azwir, H., & dkk. (2014). Analisa Computational Fluid Dynamic Body Kendaraan Mataram Proto Dengan Perangkat Lunak Ansys Fluent 14.5. *E-Jurnal Teknik Mesin*, Vol. 2 No. 1.
- Banga, S., Zunaid, M., Ansari, N. A., Sharma, S., & Dugriyal, R. S. (2015). CFD Simulation of Flow around External Vehicle: Ahmed Body. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, Volume 12, Issue 4 Ver. III.
- Eddy, N. (2009). Analisa Struktur Chassis Kendaraan Serbaguna untuk Perkebunan. *Seminar Nasional Mesin dan Industri*. Jakarta.
- Ehsani, M., Gao, Y., Gay, S. E., & Emadi, A. (2004). *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicle : Fundamentals, Theory, and Design*. CRC PRESS.
- Fadila, A., & Syam, B. (2013). Analisis Simulasi Struktur Chassis Mobil Mesin USU Berbahan Besi Terhadap Beban Statik dengan Menggunakan Perangkat Lunak ANSYS 14.5. *Jurnal e-Dinamis*, Volume. 6, No.2 .
- Hakim, R., Nugroho, C. B., & Ruzianto. (2016). Desain dan Analisa Aerodimanika Dengan menggunakan Pendekatan CFD . *Jurnal Integrasi Vol.8 No.1*.

- Jhon S, J. S., & Utomo, M. T. (2017). Analisis Aerodinamika Body Mobil Hemat Energi Antawirya Residual-Sat Dengan Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics. *Jurnal Teknik Mesin S-1, Vol. 5, No. 1*.
- Raghunandan, D., Pandiyan, A., & Majeed, S. (2016). Design and Analysis of Go-Kart Chassis . *International Journal of Engineering Sciences and Research Technology* .
- Setyono, B., & Gunawan, S. (2015). Perancangan dan Analisis Chassis Mobil Listrik "Semut Abang" Menggunakan Software Autodesk Inventor Pro 2013. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan III*.
- Setyono, B., & Setiawan, Y. (2015). Rancang Bangun Sistem Transmisi, Kemudi, dan Pengereman Mobil Listrik "SEMUT ABANG ". *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan III*.
- Sularso, & Kyokatsu, S. (1996). *Dasar Perancangan dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta: PT Pradya Paramita.
- Sutantra, I. N., & Sampurno, B. (2010). *Teknologi Otomotif Edisi Kedua*. Surabaya: Guna Widya.
- Tsirogiannis, E. C., Stavroulakis, G. E., & Makridis, S. S. (2019). Electric Car Chassis for Shell Eco Marathon Competition: Design, Modelling and Finite Element Analysis . *World Electric Vehicle Journal*.
- Vijaykumar V, P., & Patel, R. (2012). Structural Analysis of Automotive Chassis Frame and Design Modification for Weight Reduction. , " *International Journal of Engineering Research & Technology, Vol. 1, No. 3, .*
- Wahyudi, N., & Fahrudi, Y. A. (2016). Studi Eksperimen Rancang Bangun Rangka Jenis Ladder Frame pada Kendaraan Sport. *Journal of Electrical Electronic Control and Automotive Engineering (JEECAE) Vol.1, No.1*.