

Perancangan dan Analisa Sistem Kemudi *Prototype* Mobil Diesel Hemat Energi
(MARAPI EVO 2)

Tariq Fajri Ma'arif¹, Zuhendri^{2*}, Menhendry³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Padang
corresponding author ^{*}: zuhendri@pnp.ac.id

Abstract

The scarcity of fossil fuels is a topic that is highlighted by various countries in the world. A form of student concern by competing in the KMHE prototype class event by making vehicles with diesel fuel. The main parts of such vehicles are the chassis, body and steering system. The steering component is a component in the drive system in the vehicle. This design begins with knowing the weight point of the vehicle, the minimum turning angle and knowing the kingpin torque. In this design, all steering components are installed on an adjustable mount on the diesel car prototype. In the results of this design, the minimum turning angle of the inner wheel is obtained at 13.98 and the turning angle of the outer wheel is 12.57. The weight point of this design is 1.08 meters when measured from the front axle and 0.57 meters when measured from the front axle.

Keywords: Steering system, kingpin torque, ackerman, tie rod, turning angle

Abstrak

Kelangkaan bahan bakar fosil merupakan topik yang menjadi sorotan berbagai negara di dunia. Bentuk kepedulian mahasiswa dengan berkompetisi pada ajang KMHE kelas prototype dengan membuat kendaraan dengan bahan bakar solar. Bagian utama dari kendaraan tersebut adalah sasis, bodi dan sistem kemudi. Komponen kemudi merupakan suatu komponen dalam sistem penggerak dalam kendaraan. Perancangan ini diawali dengan mengetahui titik berat kendaraan, sudut belok minimal serta mengetahui torsi kingpin. Pada perancangan ini semua komponen steering dipasang pada dudukan yang disesuaikan pada prototype mobil diesel. Pada hasil perancangan ini didapat sudut belok Minimal roda bagian dalam didapat sebesar 13,98 dan sudut belok roda bagian luar sebesar 12,57. Titik berat pada perancangan ini sebesar 1,08 meter bila diukur dari sumbu roda depan dan 0,57 meter bila diukur dari sumbu roda depan.

Kata kunci: Sistem kemudi, , *torsi kingpin*, *ackerman*, *tie rod*, sudut belok

Diterima Redaksi : 05-06-2024 | Selesai Revisi : 06-07-2024 | Diterbitkan Online : 08-07-2024

1. Pendahuluan

Kelangkaan bahan bakar fosil yang saat ini melanda dunia merupakan topik yang menjadi sorotan berbagai negara di dunia. Bahan bakar fosil yang saat ini merupakan salah satu sumber energi yang banyak dipakai oleh industri ataupun perorangan merupakan

komponen penting dari keberlangsungan hidup masyarakat dunia. Seperti yang telah kita ketahui, bahan bakar fosil ini merupakan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui karena dalam proses pembentukannya bahan bakar ini membutuhkan waktu hingga jutaan tahun. Akibat permintaan masyarakat dunia akan bahan bakar fosil meningkat

terus dan tidak disertai ketersediaan yang mencukupi maka bahan bakar ini semakin lama semakin habis. Oleh karena itu, berbagai program dan wacana dihadirkan dalam rangka mengurangi pemakaian bahan bakar fosil. Negara-negara di berbagai dunia mengusung slogan untuk pemenuhan kebutuhan masyarakat akan energi. Usaha-usaha penghematan serta riset-riset yang dilakukan menyangkut energi baru sangat berkembang pesat. Salah satunya seperti yang dilakukan PUSPRESNAS dengan mengadakan kompetisi Kontes Mobil Hemat Energi (KMHE) 2022 [1] [2].

Bentuk kepedulian terhadap kelangkaan bahan bakar fosil, Tim Mahasiswa Teknik Mesin Politeknik Negeri Padang akan berpartisipasi pada ajang Ristekdikti Nasional 2022 dengan berkompetisi pada kelas prototype dengan bahan bakar solar. Proses awal yang dilalui adalah membuat desain konsep dari kendaraan yang akan diproduksi. Kendaraan yang diproduksi memiliki bagian-bagian yang merupakan suatu kesatuan yang membangun kendaraan itu sendiri.

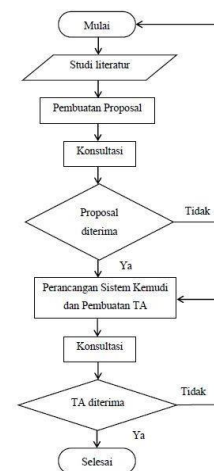
Bagian-bagian utama dari kendaraan tersebut adalah sasis, bodi kendaraan dan motor penggerak, di mana ketiga bagian tersebut merupakan satu kesatuan dari kendaraan.

Komponen kemudi merupakan suatu komponen dalam sistem penggerak dalam kendaraan. Komponen ini sangat vital mengingat fungsinya, yaitu untuk mengatur arah kendaraan dengan cara membelokkan roda depan [3]. Pada bagian sistem kemudi proses konstruksi sudah selesai, komponen ini sangat penting untuk performa kendaraan hemat bahan bakar, pada sektor ini kami mendapatkan masalah pada knuckle, pada hasil uji ketahanan knuckle didapatkan bahwa knuckle masih tidak kuat untuk menahan tekanan pada sistem kemudi, maka kami menambahkan beberapa skor dalam pembuatan knuckle sehingga lebih kuat dalam menahan tekanan pada sistem kemudi [4][5].

2. Metode Penelitian

Metode penelitian ini dimulai dengan melakukan perancangan desain dengan melakukan metode prinsip kesesuaian geometri dari kendaraan sesuai dengan prinsip akerman, dan selanjutnya mendesain gambar teknik menggunakan software Solidwork [6].

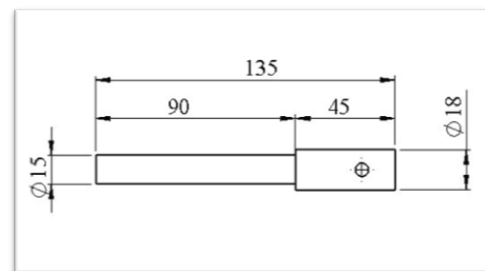
2.1. Rancangan Skema Penelitian



Gambar 1 Diagram alir Penelitian

2.2 Perancangan Sistem Kemudi

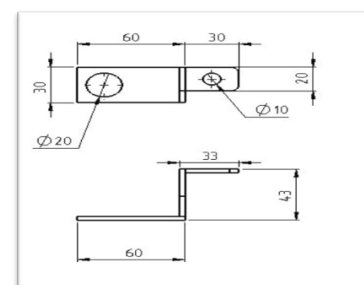
1. Steering Coloumn



Gambar 2 Desain steering coloumn

Perancangan steering coloumn dari bahan besi dengan panjang 135 mm dengan poros bertingkat. Pada tingkatan pertama berdiameter 15 mm sebagai poros pada bearing dan tingkatan kedua berdiameter 20 mm. Steering coloumn memiliki satu lubang sebagai lubang baut untuk pengikat pada tuas steering.

2. Dudukan penghubung steering coloumn dengan tierod

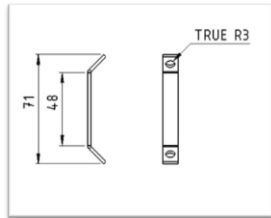


Gambar 3 Desain Penghubung steering coloumn dengan tierod

Perancangan ini dibuat dengan gabungan besi plat 3 mm yang nantinya akan penyambungan dengan

proses pengelasan dudukan penghubung steering coulumn berukuran 90 mm x 300 dengan gabungan dari 3 plat dengan 2 lubang yang berukuran 10 mm sebagai dudukan rod end 10 mm dan berukuran 20 mm sebagai dudukan steering coulumn [7].

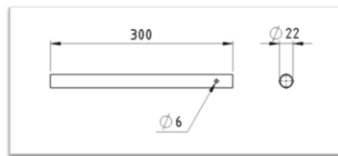
3. Stoper Belok



Gambar 4 Desain Stoper dan Pengatur Radius Belok

Perancangan stopper belok dibuat dengan besi plat 3 mm yang dibending sebesar 45 derajat dengan 2 lubang sebesar 6 mm sebagai dudukan baut penyetel radius maksimal agar dapat menyesuaikan regulasi belok kendaraan. Stopper juga berfungsi sebagai pembatas belokan ban agar tidak mengenai sasis dan body kendaraan.

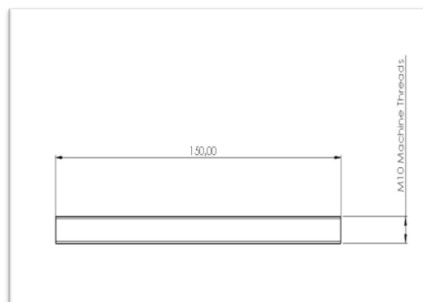
4. Dudukan Handle



Gambar 5 Dudukan Handle

Perancangan dibuat dengan bahan pipa stainless steel berdiameter 25 mm dengan tebal 0,8 mm pemilihan bahan stainless steel agar komponen lebih aman berkontak dengan pengemudi, karena tuas kemudi akan langsung berkontak dengan kaki pengemudi, selain itu bahan stainless steel tidak mudah berkarat. Penentuan ukuran sesuai dengan bahan pipa stainless yang dijual di pasaran dan sesuai dengan ukuran pengemudi agar lebih ergonomis.

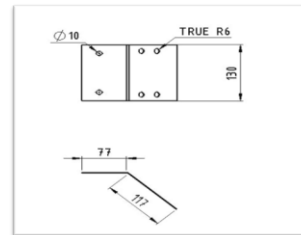
5. Steering linkage



Gambar 6 Steering linkage

Steering linkage berfungsi sebagai penyambung gerakan dari putaran steering coulumn ke knuckle, Disambung melalui join ball dan rod eye pada ujung steering linkage. Steering linkage terbuat dari besi ulur M10x 1.5 mm. Penentuan ukuran Stering linkage menyesuaikan track width ban depan dengan ujung knuckle sesuai dengan perhitungan sudut akerman dan sudut manuver diatas

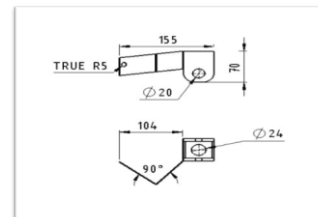
6. Dudukan Bearing



Gambar 7 Dudukan Bearing

Dudukan bering terbuat dari bahan besi plat berukuran 3 mm yang dibending sebesar 45 derajat pada garis horizontal dengan 6 lobang berukuran 4 lobang berdiameter 12 mm dan 2 lobang berukuran 10 mm.

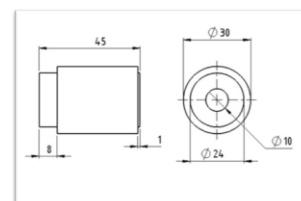
7. Knuckle



Gambar 8 Knuckle

Knuckle sebagai tumpuan roda depan dan juga berfungsi sebagai pembelok roda knuckle berukuran 155 mm x 70 mm x 40 mm. Knuckle terbuat dari besi profil UNP berukuran 40 mm x 70 mm dan besi plat 3 mm yang di tumpu pada bagian depan sebagai plat pembelok dari steering linkage. ukuran plat pembelok yang menjadi kunci dari perhitungan sudut manuver dan sudut akerman agar roda depan dapan berbelok dengan sempurna.

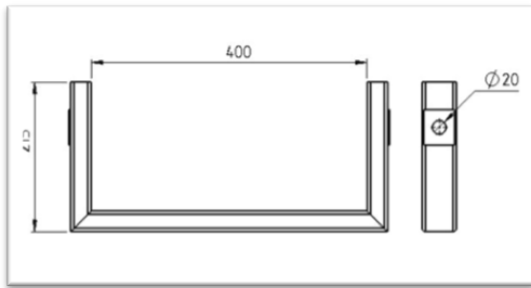
8. Boss dudukan poros roda



Gambar 9 Boss dudukan poros roda

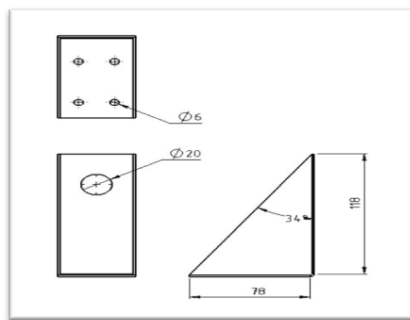
Perancangan boss poros roda depan dengan menggunakan material ST 37 yang dibubut bertingkat dengan diameter 30 mm dengan panjang 45 mm dan memiliki lobang sebesar 10 mm sesuai ukuran poros standart pada part standart sepeda motor pada umumnya. Bos dudukan roda yang nantinya akan disambung pada knuckle dengan penyambungan pengelasan [8][9].

9. Rangka Kemudi



Gambar 10 Rangka Kemudi

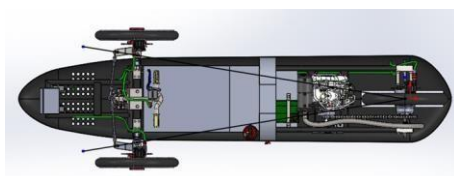
10. Bracket Rangka Kemudi



Gambar 11 Bracket Rangka Kemudi

Bracket Rangka Kemudi terbuat dari plat 3 mm yang dibending dan kedua sisi kanan kiri ditutup oleh 2 plat berbentuk segitiga siku yang disambung dengan pengelasan. Bracket rangka kemudi berfungsi sebagai skor penahan rangka kemudi dengan sasis kendaraan yang terbuat dari aluminium.

2.2. Penerapan Prinsip dasar Ackerman

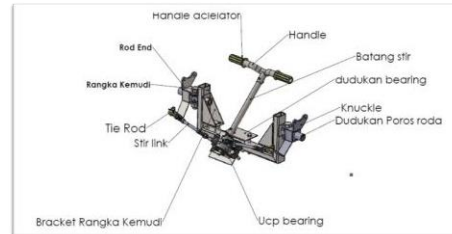


Gambar 12 Penerapan Prinsip dasar Ackerman pada mobil Marapi EVO 2

Prinsip Ackerman berdasarkan pada konsep sudut belok. Ketika kendaraan berbelok, roda luar (roda yang berada di sisi luar tikungan) harus mengikuti

jalur yang lebih besar daripada roda dalam (roda yang berada di sisi dalam tikungan). Sudut belok yang berbeda pada setiap roda ini memastikan bahwa semua roda memiliki radius belok yang sama.

2.2. Rancangan Sistem Kemudi



Gambar 13 Gambaran Sistem Kemudi Marapi Evo 2

Perancangan Sistem kemudi dibuat dengan mempertimbangkan penyesuaian dengan regulasi teknis KMHE 2022 tentang sistem kemudi diantaranya:

- Radius belok harus 6 m atau kurang untuk Urban Concept, dan 8 meter atau kurang untuk Prototype.
- Radius belok adalah jarak antara pusat lingkaran dan roda luar kendaraan. Roda eksternal kendaraan harus bisa mengikuti busur 90° dengan radius tersebut diatas di kedua arah.
- Sistem kemudi harus dirancang untuk mencegah kontak antara ban dan bodi atau chassis.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Spesifikasi Kendaraan

Hasil pengamatan pada penelitian perancangan sistem kemudi prototype monil Marapi Evo 2, ada beberapa hal yang perlu diketahui. Dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 4. 1 Speisiikasi Kendaraan

Ketinggian kendaraan	66,5 cm
Track width kendaraan	76 cm
Rasio ketinggian	6,9 cm
Jarak sumbu roda depan dengan roda belakang	165 cm
Berat bagian depan	29 kg
Berat bagian belakang	55 kg
Panjang keseluruhan kendaraan	273 cm
Berat total kendaraan	84 kg
Berat total kendaraan dengan pengemudi	134 Kg

3.2. Turning radius (wheel angle dan turning angle)

Dalam menganalisis sudut slip akerman yaitu sudut Penulis menganalisis sudut tersebut dengan cara mengetahui sudut steer terlebih dahulu. Data tersebut digunakan untuk mencari sudut slip akerman. Penulis menggunakan radius belok kendaraan sejauh 7 meter sesuai dengan regulasi Kmhe 2022. Nilai sudut steer roda bagian luar dan dalam menggunakan persamaan sebagai berikut :

1. Untuk sudut roda depan bagian luar

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{L}{R+Tf/2} \quad (1)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{1,65}{7 + 0,76/2}$$

$$\alpha = 12,57^\circ$$

2. Untuk sudut roda depan bagian dalam

$$\beta = \tan^{-1} \frac{L}{R-Tf/2} \quad (2)$$

$$\beta = \tan^{-1} \frac{1,65}{7 - 0,76/2}$$

$$\beta = 13,98^\circ$$

3.3 Sudut Ackermann (rack)

1. Perhitungan Sudut Akerman

$$R_{ack} = \frac{a+b \times (57,29)}{\delta_f} \quad (3)$$

$$R_{ack} = \frac{1650 \text{ mm} \times (57,29)}{12}$$

$$R_{ack} = 78,77 \text{ m}$$

2. Sudut Sudut Slip ban

Perhitungan untuk sudut slip ban yaitu :

$$\beta = \arcsin \frac{b}{R_{ack}} \quad (4)$$

$$\beta = \arcsin \frac{570 \text{ mm}}{7877 \text{ mm}}$$

$$\arcsin = 0,07$$

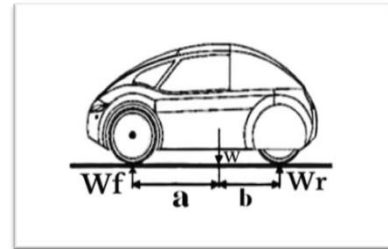
$$\beta = 4,14^\circ$$

cara mengukur berat poros bagian depan dan belakang kendaraan serta jarak wheel base (L). Data hasil pengukuran tersebut kemudian diolah menggunakan rumus matematis sehingga mendapatkan letak titik berat kendaraan. Diketahui

antara sudut longitudinal bodi dan arah gerak bodi.

3.4 Posisi titik berat kendaraan

Posisi titik berat kendaraan dapat diukur dengan setelah melakukan penimbangan pada bagian depan sebesar 29 Kg Sedangkan Untuk bagian belakang sebesar 55 Kg.



Gambar 15 Ilustrasi Jarak Titik Berat

1. Penentuan Jarak pusat berat terhadap poros depan Rumus perhitungannya sebagai berikut :

$$a = \frac{L \times W_r}{W_f + W_r} \quad (5)$$

$$a = \frac{1,65 \times 550}{290 + 550}$$

$$a = 1,08 \text{ meter}$$

2. Penentuan Jarak pusat berat terhadap poros belakang

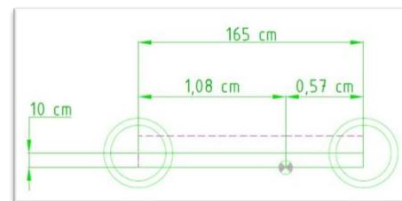
Rumus perhitungannya sebagai berikut :

$$b = \frac{L \times W_f}{W_f + W_r} \quad (5)$$

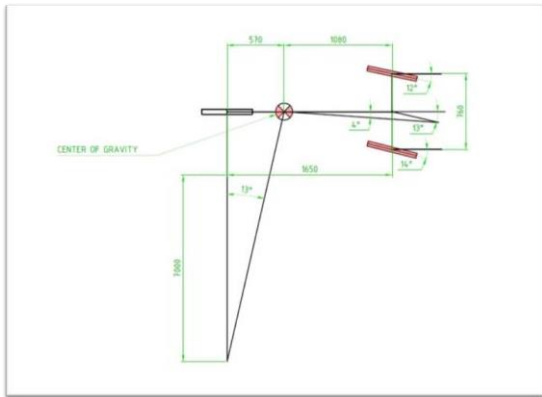
$$b = \frac{1,65 \times 290}{290 + 550}$$

$$b = 0,56 \text{ meter}$$

Hasilnya kemudian dibuat sketsa mobil menggunakan program Autocad. maka letak titik berat kendaraan sebagai berikut :

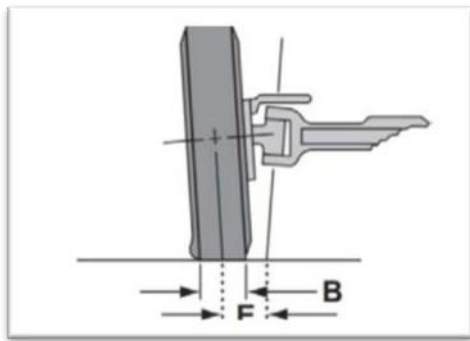


Gambar 16 Sketsa Posisi titik berat kendaraan dilihat dari samping



Gambar 17 Sketsa Pengukuran Sudur Slip Ban dan Sudut Akerman Terhadap CG

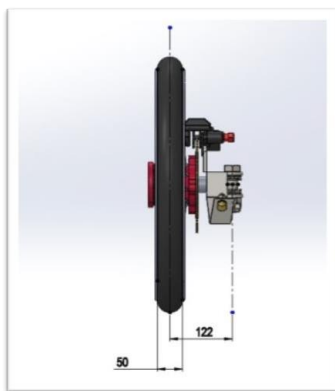
3.3. Perhitungan Gaya



Gambar 18 Jarak E dan B pada roda

Perhitungan dimulai dari perhitungan torsi kingpin dengan persamaan berikut [10].

$$T = \frac{1}{2} T_{\text{kingpin}} = \frac{1}{2} Wf \mu \sqrt{\frac{B^2}{8} + E^2} \quad (7)$$



Gambar 19 Ukuran lebar tapak dan kingpin offset pada mobil Marapi Evo 2

Dengan memperhitungkan faktor distribusi Center of Gravity dari kendaraan, Wf dihitung menggunakan persamaan Maka Wf dihitung dengan persamaan.

$$Wf = \frac{wLr}{l} \quad (8)$$

$$Wf = \frac{290 \times 0,43}{1,65}$$

$$Wf = 75,57 \text{ N}$$

Setelah didapat hasil perhitungan Wf, Maka dapat dicari Torsi kingpin menjadi :

$$T = 75,57 \cdot 0,8 \sqrt{\frac{(0,05)^2}{8} + (0,122^2)}$$

$$T = 7,44 \text{ Nm}$$

Perhitungan dimulai dari menghitung kebutuhan torsi untuk membelokkan roda pada keadaan kendaraan diam atau yang disebut *Kingpin Torque*. Torsi ini bekerja pada sumbu kingpin untuk memutar roda kanan dan kiri, sehingga pada analisa satu roda nilainya akan dibagi dua. Perhitungan *Kingpin Torque* dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$T = \frac{1}{2} T_{\text{kingpin}}$$

$$T = 3,72 \text{ Nm}$$

Maka gaya yang diperlukan dapat dihitung dengan persamaan.

$$F = \frac{T}{r}$$

Maka gaya yang dibutuhkan untuk membelokkan roda sebesar :

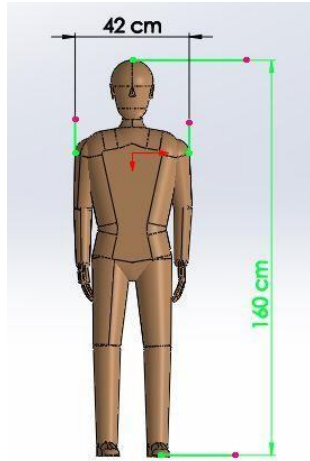
$$F = \frac{3,72}{0,253}$$

$$F = 14,72 \text{ N}$$

3.4. Analisa Ergonomis Dan Hasil Perancangan Sistem Kemudi Pada Mobil Marapi Evo 2

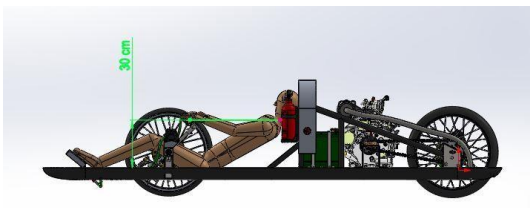
1. Analisa Aspek Ergonomis

Pada Perancangan Sistem Kemudi memperhatikan Aspek Ergonomis terhadap Driver yang akan diikuti sertakan pada ajang perlombaan. Pada rancangan ini memakai model dengan tinggi 160 cm dan lebar bahu 42 cm. Sesuai dengan tinggi driver dilapangan, pemilihan driver dilapangan memperhatikan berat badan. Dimana sesuai ketentuan KMHE 2022 berat pengemudi tidak boleh kurang dari 50 Kg.



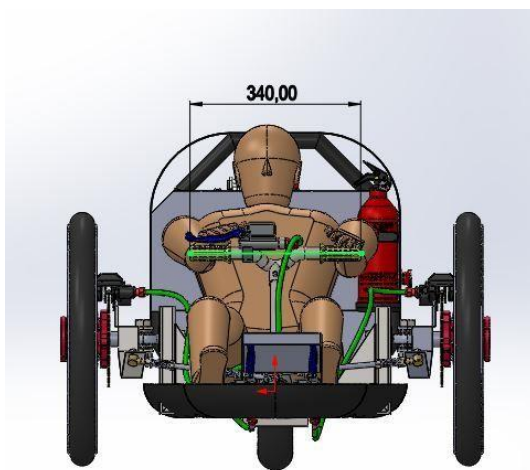
Gambar 20 Ukuran Model

- Ukuran rancangan dengan ukuran badan Driver
 Pada rancangan ini hal yang paling terpenting adalah menyesuaikan lebar dan tinggi stir kemudi. Lengan driver pada rancangan ini tinggi Stir sebesar 30 cm dari lantai kabin dan lebar stir sebesar 340 cm .



Gambar 21 Tinggi stir dari lantai kabin

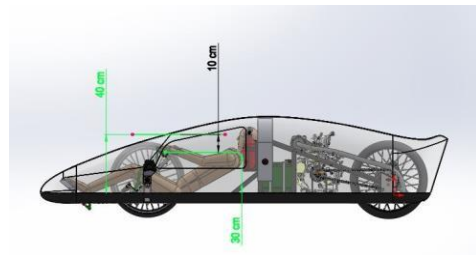
Lebar stir dibuat lebih pendek dari bahu driver agar driver lebih nyaman saat membelokkan stir saat berkendara.



Gambar 22 Lebar Stir Kemudi

- Ukuran Rancangan Terhadap Pandangan Driver

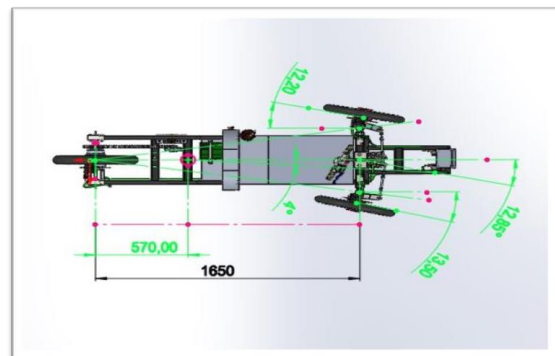
Hal yang perlu dipastikan adalah padarancangan sistem kemudi adalah stir tidak menghambat pandangan driver pada saat berkendara. Tinggi stir kemudi sangat berpengaruh untuk menjaga pandangan pengemudi tidak terhambat. Maka dari itu tinggi stir tidak boleh melebihi dagu pengguna agar pandangan driver selalu terjaga saat berkendara.



Gambar 23 Pandangan depan terhadap posisi driver

3.5 Hasil Perancangan

Setelah melakukan perencanaan dengan perhitungan maka didapat hasil perhitungan, sesuai dengan pengukuran pada perancangan sudut belok. Hasil pengukuran perancangan dapat dilihat pada gambar gambar 3.11 .



Gambar 24 Hasil Pencocokan Final Desain dengan Perhitungan

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari perancangan sistem kemudi ini yaitu :

Sudut belok roda depan bagian dalam sebesar $13,98^\circ$ dan sudut belok roda depan bagian luar sebesar $12,57^\circ$ ini menunjukkan bahwa kendaraan memiliki sudut belok berbeda sehingga kendaraan dapat belok dengan halus.

Minimal radius belok yang digunakan pada perancangan ini sebesar 7 m sesuai dengan regulasi Kmhe 2022 dimana minimal radius belik kurang dari 8 meter.

Titik berat pada rancangan ini sebesar 1,08 meter bila diukur dari sumbu roda depan dan 0,57 meter bila diukur dari sumbu roda belakang.

Gaya yang diperlukan untuk membelokkan stir kemudi sebesar 14,72 N saat kendaraan tidak bermuatan.

Tinggi Stir dari lantai kabin sebesar 30 cm dan dibawah 10 cm dari jarak pandangan driver, sehingga ukuran stir ergonomis terhadap driver dan tidak menghalangi jarak pandang driver.

Titik sumbu kingpin segaris dengan titik sumbu tie rod terhadap sudut roda belakang sehingga perancangan sesuai dengan prinsip dasar ackerman.

Adapun saran yang dapat diberikan dari Perancangan dan Analisa Sistem Kemudi Prototype Mobil Diesel Hemat Energi (MARAPI EVO 2) adalah sebagai berikut.

Perancangan sistem kemudi ini merupakan bentuk sederhana sehingga perlu dilanjutkan dengan desain alternative yang mempunyai performa lebih baik

4. Kesimpulan

Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada seluruh pihak yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini.

Daftar Rujukan

- [1] I. K. Reksowardojo, E. Firmansyah, B. A. Dwiyanoro, D. Widhiyanuriyawan, A. S. Baskoro, and W. Witantyo, "Pedoman kontes mobil hemat energi tahun 2021," 2021.
- [2] T. A. Motor, *New Step 2*. Jakarta, Indonesia: Toyota Astra Motor, 1994.
- [3] G. Mezitama, "Perancangan Sistem Kemudi Dan Sudut Slip Ban Pada Kendaraan Hemat Energi (Studi Pada Kendaraan Mesin Berkapasitas 100 Cc)." UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA, 2014.
- [4] D. I. Fajar, "Analisa Sistem Kemudi Mobil Listrik Brajawahana ITS Terhadap Kondisi Ackerman," *Tek. Mesin, Fak. Teknol. Ind. Inst. Teknol. Sepuluh Novenmber*, 2015.
- [5] Sularso and K. Suga, *Dasar perencanaan dan pemilihan elemen mesin*. Pradnya Paramita.
- [6] I. N. dan B. S. Sutantra, *Teknologi Otomotif*. Surabaya: Guna Widya, 2010.
- [7] M. M. P. MT, *Steering Geometri Kendaraan*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta, 2004.
- [8] E. P. Popov, *Mekanika Teknik (Mechanics Of Material)*, vol. 2. 2014.
- [9] R. C. Hibbeler, *Mechanics of Materials Tenth Edition in SI Units*. 2018.
- [10] P. H. Winingsih and H. Hidayati, "Eksperimen Gaya Gesek Untuk Menguji Nilai Koefisien Gesekan Statis Kayu Pada Kayu Dengan Program Matlab," *Sci. Tech J. Ilmu Pengetah. dan Teknol.*, vol. 3, no. 2, pp. 121–126, 2022, doi: 10.30738/jst.v3i2.1919.