



TUGAS AHKIR - TM 141585

**PERANCANGAN DAN ANALISA SISTEM KEMUDI
NARROW TILTING VEHICLE DENGAN VARIASI
TRACKWIDTH TERHADAP GERAKAN
KINEMATIKA SUSPENSI**

IDESTRIAN ADZANTA
NRP 2112 100 171

Dosen Pembimbing
Dr. Eng. Unggul Wasiwitono., S.T., M.Eng.Sc.

Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - TM 141585

**DESIGN AND ANALYSIS OF NARROW TILTING
VEHICLE STEERING SYSTEM WITH
TRACKWIDTH VARIATION TOWARD
SUSPENSION KINEMATICS MOTION**

**IDESTRIAN ADZANTA
NRP 2112 100 171**

Academic Supervisor
Dr. Eng. Unggul Wasiwitono., S.T., M.Eng.Sc.

Mechanical Engineering Department
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016

LEMBAR PENGESAHAN

PERANCANGAN DAN ANALISA SISTEM KEMUDI *NARROW TILTING VEHICLE* DENGAN VARIASI *TRACKWIDTH* TERHADAP GERAKAN KINEMATIKA SUSPENSI

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Idestrian Adzanta

Nrp. 2112 100 171

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

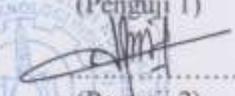
1. Dr.Eng. Unggul W., S.T., M.Eng.Sc
(NIP. 197805112001121001)


.....
(Pembimbing)

2. Prof.Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D
(NIP. 195105061978031002)


.....
(Penguji 1)

3. Latifah Nurahmi , S.T., M.Sc., Ph.D.
(NIP. 210000011)


.....
(Penguji 2)

4. Moch.Solichin, S.T., M.T.
(NIP. 198908172015041003)


.....
(Penguji 3)

Surabaya
Juli, 2016

Perancangan dan Analisa Sistem Kemudi *Narrow Tilting Vehicle* dengan Variasi *Trackwidth* terhadap Kinematika Gerakan Suspensi

Nama Mahasiswa : Idestrian Adzanta
NRP : 2112 100 171
Jurusan : Teknik Mesin FTI ITS
Dosen Pembimbing : Dr.Eng. Unggul W., ST., M.Eng.Sc.

ABSTRAK

Seiring bertambahnya jumlah penduduk di suatu kota menyebabkan peningkatan pada jumlah kendaraan. Hal ini menyebabkan kepadatan lalu lintas yang menjadi masalah besar bagi penduduknya. Saat terjadi kemacetan, pergerakan menjadi terbatas khususnya pada mobil yang memiliki dimensi yang lebih lebar dibandingkan motor. Salah satu solusi untuk kondisi tersebut adalah dengan membuat desain kendaraan yang kecil, aman, dan irit bahan bakar yaitu dengan membuat kendaraan *narrow tilting vehicle*. Namun, semakin kecil desain kendaraan akan mempengaruhi stabilitas kendaraan sehingga tugas akhir ini bertujuan untuk menganalisa sistem kemudi pada *narrow tilting vehicle*. Sistem kemudi dan suspensi merupakan salah satu aspek penting dalam perancangan kendaraan yang berpengaruh besar terhadap kestabilan juga keamanan.

Langkah awal yang dilakukan dalam proses perancangan sistem kemudi adalah membuat rancangan 3D sistem kemudi pada *software Solidworks*. Pendekatan yang digunakan pada perancangan ini adalah melakukan simulasi kinematik dari sistem kemudi dengan variasi *trackwidth* sebesar 800 mm, 1000 mm dan 1200 mm. Selain itu diberikan variasi berupa panjang *knuckle* dan panjang *hub steering* untuk mengetahui pengaruhnya terhadap sudut belok menurut prinsip *Ackerman*. Kemudian dari masing-masing *trackwidth* akan dianalisa sudut *camber* yang dihasilkan dengan variasi panjang *upper arm* agar kendaraan tetap aman dan nyaman.

Pada tugas akhir ini hasil analisa yang didapatkan adalah konfigurasi *trackwidth* yang sesuai dengan prinsip belok *Ackerman* dicapai pada *trackwidth* 1000 mm dengan panjang *knuckle* 134 mm dan panjang *hub steering* 139.64 mm. Rancangan tersebut menghasilkan sudut belok roda dalam(δ_i) 38° dan sudut belok roda luar(δ_o) sebesar 27° . Untuk variasi panjang *upper arm* pada *trackwidth* 1000 mm digunakan *upper arm* dengan panjang 457.5 mm yang menghasilkan sudut *camber* $\pm 0.6^\circ$.

Kata kunci : Sistem kemudi, *narrow three vehicle*, kinematika suspensi, prinsip *Ackerman*, sudut *camber*.

Design and Analysis of Narrow Tilting Vehicle Steering System with Trackwidth Variation toward Suspension Kinematics Motion

Student Name : Idestrian Adzanta
Student ID : 2109 100 171
Department : Mechanical Engineering
Academic Supervisor : Dr.Eng.Unggul W., S.T., M.Eng.Sc.

ABSTRACT

With an increasing number of people in a city led to an increase in the number of vehicles. This causes traffic density is a big problem for its residents. When congestion occurs, the movement becomes limited, especially on the car that has a dimension that is wider than the motor. One solution to these conditions is by making a small vehicle design, safety and fuel economy is to create a narrow vehicle tilting vehicle. However, the smaller the vehicle design will affect the stability of the vehicle so the final task was to analyze the narrow tilting steering system on the vehicle. Steering and suspension systems are the important aspects in the design of vehicles that will greatly affect the stability of the security also.

The initial steps in the design process are designing the steering system steering system on software 3D Solidworks. The approach used in this design is to simulate the kinematics of the steering system with trackwidth variation of 800 mm, 1000 mm and 1200 mm. Moreover given the variation in the form of long-hub steering knuckle and length to determine their effects on the corner turn according to Ackerman principle. Then from each trackwidth will be analyzed camber angle produced by the variation in the length of the upper arm in order to remain safe and comfortable vehicle.

In this final project analysis results obtained are trackwidth configuration in accordance with the principle of Ackerman

achieved on trackwidth knuckle length 1000 mm with 134 mm and a length of 139.64 mm steering hub. The design of the inner wheel turning angle resulted(δ_i) 38° and the outer wheel turning angle(δ_o) 27° . For upper arm length variation on trackwidth 1000 mm use the upper arm with a length of 457.5 mm which produces camber angle ± 0.6 .

Keywords: Steering system, narrow three vehicle, kinematic suspension, Ackerman principle, camber angle.

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Batasan Masalah.....	2
1.5. Manfaat penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Konsep Rancang Bangun	6
2.1.1 Pengertian Perancangan.....	6
2.1.2 Deskripsi Proses Perancangan	6
2.2. Perkembangan Kendaraan Roda Tiga	8
2.3. Konfigurasi Kendaraan.....	11
2.4. Scrub Radius dan Sudut Caster	14
2.5. Sudut Camber	15
2.6. Kinematika Kemudi	16
2.7. Sistem Suspensi.....	21
2.7.1 Pengertian Suspensi.....	21
2.7.2 Sistem Suspensi Independen	22
2.7.2.1 Suspensi MacPherson.....	22
2.7.2.2 Suspensi Double Wishbone.....	23
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1. Prosedur Penelitian.....	25
3.2. <i>Flowchart</i> Tugas Akhir	25
3.3. Prosedur Simulasi dan Analisa.....	25
3.3.1. Simulasi dan Analisa Sudut Belok Kendaraan ...	25
3.3.2. Simulasi dan Analisa Sudut Camber Kendaraan 26	

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN DATA	
4.1.	Rancangan Sistem Kemudi Kendaraan31
4.2.	Pengaruh <i>Trackwidth</i> Terhadap Sudut Belok Kendaraan.....32
4.3.	Pengaruh Panjang <i>Hub Steering</i> Terhadap Sudut Belok36
4.3.1.	Trackwidth 800 mm36
4.3.2.	Trackwidth 1000 mm.....38
4.3.3.	Trackwidth 1200 mm.....41
4.4.	Pengaruh Panjang Upper Arm Terhadap Sudut Camber43
4.4.1.	Trackwidth 800 mm43
4.4.2.	Trackwidth 1000 mm.....44
4.4.3.	Trackwidth 1200 mm.....45
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1.	Kesimpulan.....47
5.2.	Saran.....47
DAFTAR PUSTAKA..... 51	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 (a) Kendaraan roda tiga yang diciptakan Leonardo da Vinci, (b) Daihatsu Midget	8
Gambar 2.2 Tilting three wheeled Lean	9
Machine yang diciptakan General Motor.....	9
Gambar 2.3 Sistem steering yang dipatenkan Robert Mighell ..	11
Gambar 2.4 Konfigurasi kendaraan roda tiga.....	12
Gambar 2.5 Sistem steering yang dipatenkan BRP CanAm Spyder.....	13
Gambar 2.6 Toyota i – Road, tilting three wheel vehicle buatan Jepang.....	13
Gambar 2.7 Kendaraan narrow tilting vehicle :(a) Honda Gyro Canopy, (b) Duadro, (c) Yamaha Tricity, (d) Kawasaki J Prototype.	14
Gambar 2.8 Scrub radius.	15
Gambar 2.9 Gambar skematik nilai positif sudut camber	16
Gambar 2.10 Skematik sudut caster	16
Gambar 2.11 Pengaruh panjang lengan ayun terhadap sudut camber	17
Gambar 2.12 Grafik sudut camber.	17
Gambar 2.13 Grafik hubungan δ_i , δ_o dengan perbandingan wheelbase dan track width.	19
Gambar 2.14 Kondisi Ackerman Steering pada kendaraan tiga roda.....	19
Gambar 2.15 Mekanisme kemudi trapezoidal.....	20
Gambar 2.16 Mekanisme trapezoidal ABC.....	20
Gambar 2.17 Grafik perilaku antara mekanisme kemudi <i>trapezoidal</i> dengan prinsip Ackerman.	21
Gambar 2.18 Sistem suspensi independen.	22
Gambar 2.19 Suspensi MacPherson.....	23
Gambar 2.20 Suspensi doublewishbone.....	23
Gambar 2.21 Sudut tilting pada kendaraan motor(δ)......	24
Gambar 3.1 Diagram alir pengerjaan tugas akhir.....	28

Gambar 3.2 Gambar rancangan sistem kemudi three wheeler vehicle.29

Gambar 4.1 *Layout* rancangan *three wheeler vehicle*.31

Gambar 4.2 Model 3D sistem kemudi three wheeler vehicle.33

Gambar 4.3 Contoh gambar tampak atas sistem kemudi dengan variasi panjang hub steering (a) panjang 139.64 mm, (b) panjang 99.64 mm, (c) panjang 59.64 mm.33

Gambar 4.4 Grafik *inner* dan *outer wheel* dari simulasi *Solidwork* pada *trackwidth* (a) 800 mm, (b) 1000 mm, dan (c) 1200 mm.35

Gambar 4.5 Grafik δ_o vs δ_i pada panjang *knuckle* (a) 60 mm, (b) 97 mm, (c) 134 mm.37

Gambar 4.6 Grafik δ_o vs δ_i tiap panjang *knuckle* yang paling mendekati prinsip *Ackerman* berturut-turut.38

Gambar 4.7 Grafik δ_o vs δ_i pada panjang *knuckle* (a) 60 mm, (b) 97 mm, (c) 134 mm40

Gambar 4.8 Grafik δ_o vs δ_i tiap panjang *knuckle* yang paling mendekati prinsip *Ackerman* berturut-turut.40

Gambar 4.9 Grafik δ_o vs δ_i pada panjang *knuckle* (a) 60 mm, (b) 97 mm, (c) 134 mm42

Gambar 4.10 Grafik δ_o vs δ_i tiap panjang *knuckle* yang paling mendekati prinsip *Ackerman* berturut-turut.43

Gambar 4.11 Grafik *camber angle vs wheel displacement* pada *trackwidth* 800 mm.44

Gambar 4.12 Grafik *camber angle vs wheel displacement* pada *trackwidth* 1000 mm.45

Gambar 4.13 Grafik *camber angle vs wheel displacement* pada *trackwidth* 1200 mm.46

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Spesifikasi rancangan *tilting three wheeler vehicle*. ...32

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Prosedur Penelitian

Pada penelitian kali ini, prosedur penelitian dilakukan dengan beberapa tahapan yang akan dilakukan sebagai berikut:

- Tahap pertama adalah studi literatur tentang pengembangan dan penelitian mengenai berbagai macam *tilting three wheel vehicle* yang sudah ada beserta mekanisme *tilting* dari kendaraan tersebut.
- Tahap kedua adalah menentukan konfigurasi dan spesifikasi awal dari *tilting three wheel vehicle* yang akan dirancang.
- Tahap ketiga adalah melakukan survei ketersediaan barang penunjang sistem *steering* di pasaran. Tahap keempat adalah melakukan rancangan sesuai desain melalui *software Autodesk Inventor* dan melakukan simulasi gerakan dan analisa kinematika menggunakan *software Solidworks*.

3.2. Flowchart Tugas Akhir

Flowchart pada tugas akhir ini dapat dilihat pada gambar 3.1

3.3. Prosedur Simulasi dan Analisa

Simulasi dan analisa dilakukan untuk mengetahui sudut belok kendaraan yang kemudian akan disesuaikan dengan prinsip *Ackerman* dan sudut *camber* yang dihasilkan pada masing-masing *trackwidth* kendaraan.

3.3.1. Simulasi dan Analisa Sudut Belok Kendaraan

Langkah-langkah untuk mendapatkan sudut belok pada kendaraan pada masing-masing *trackwidth* adalah sebagai berikut :

1. Hal pertama yang dilakukan adalah mendefinisikan parameter-parameter yang akan digunakan pada analisa.
2. Contoh sistem kemudi yang digunakan sebagai acuan awal kemudian digambar pada *software Solidworks* dalam bentuk 3D.
3. Model 3D kemudian di-*assembly* dan di-*mate* agar menyerupai gerak nyata sistem tersebut.
4. Analisa kinematis dapat dilakukan pada *Solidworks* dengan mengaktifkan *Solidworks Motion* pada *menu add-in* kemudian memilih mode *Motion Analysis* pada *tab Motion Study*.
5. Fitur *motor rotary* digunakan sebagai penggerak yang ditempatkan pada stang kemudi, untuk menggerakkan *knuckle* roda dengan putaran dan waktu tertentu.
6. Untuk menganalisa perubahan sudut yang terjadi pada roda kiri dan kanan saat dilakukan simulasi, digunakan fitur *Results and Plots* > *Displacement* > *Angular Displacement* > *Magnitude*. Dengan menggunakan metode 3- Poin akan dibuat titik bantu yang dapat menghasilkan grafik perubahan sudut.
7. Kemudian untuk menghasilkan grafik perubahan sudut pada kedua roda dilakukan dengan menekan ikon *calculate* pada *motion study*.
8. Data yang sudah diolah menggunakan Ms.Excel menjadi satu grafik δ_o vs. δ_i , serta dibandingkan dengan grafik *Ackerman* yang memiliki rumusan sebagai berikut :

$$\cot\delta_o - \cot\delta_i = \frac{w}{l} \quad 3.1$$

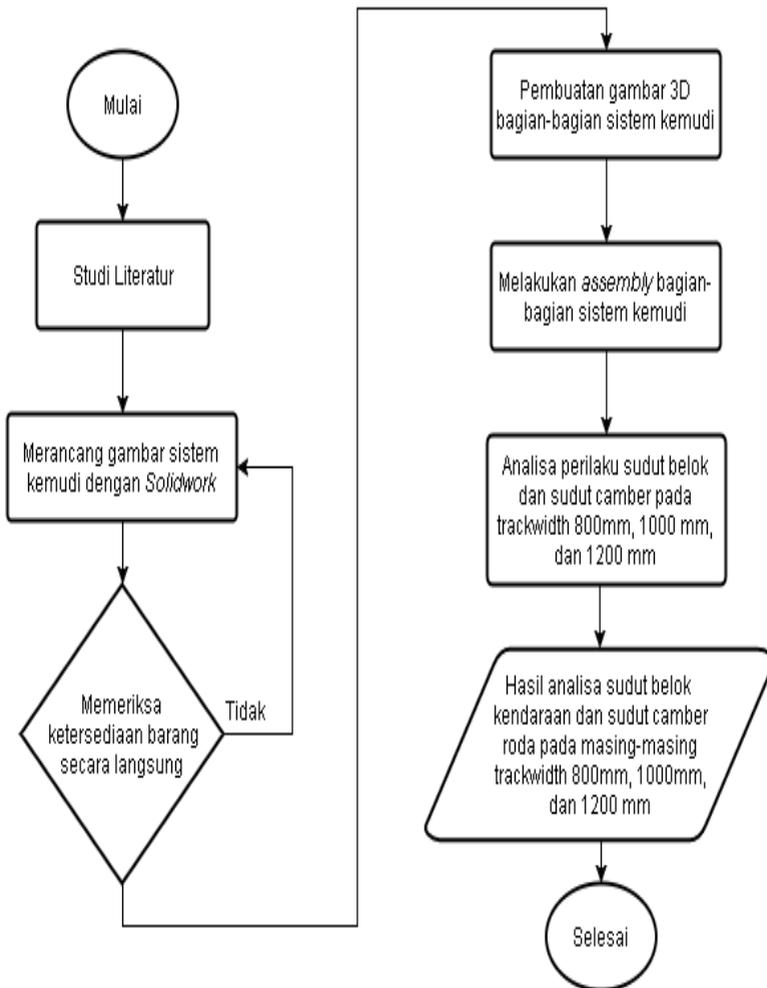
9. Langkah-langkah diatas dilakukan kembali pada masing-masing *trackwidth* sehingga dapat dibandingkan hasil yang didapat.

3.3.2. Simulasi dan Analisa Sudut Camber Kendaraan

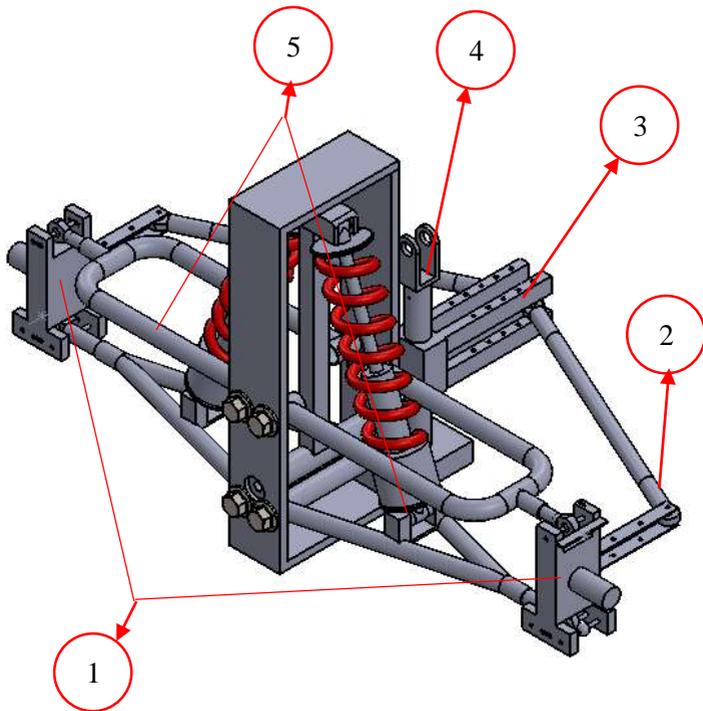
Langkah-langkah untuk mendapatkan sudut belok pada

kendaraan pada masing-masing *trackwidth* adalah sebagai berikut:

1. Hal pertama yang dilakukan adalah mendefinisikan parameter-parameter yang akan digunakan pada analisa.
2. Contoh sistem kemudi yang digunakan sebagai acuan awal kemudian digambar pada *software Solidworks* dalam bentuk 3D.
3. Model 3D kemudian di-*assembly* dan di-*mate* agar menyerupai gerak nyata sistem tersebut.
4. Analisa kinematis dapat dilakukan pada *Solidworks* dengan mengaktifkan *Solidworks Motion* pada menu *add-in* kemudian memilih mode *Motion Analysis* pada tab *Motion Study*.
5. Fitur *motor linear* digunakan sebagai penggerak *knuckle* roda sehingga dapat bergerak naik dan turun dengan kecepatan dan waktu tertentu.
6. Untuk menganalisa perubahan sudut *camber* pada roda digunakan fitur *Results and Plots > Other quantities > Euler Angles > Theta > Plot Results > New Results > Displacement > Linear Displacement > Y component* . Dengan memilih *face knuckle* pada roda akan menghasilkan sebuah grafik perubahan sudut *camber* terhadap *displacement* roda.
7. Kemudian untuk menampilkan hasil grafik dapat menekan ikon *calculate* pada *motion study*.
8. Data dari grafik yang dihasilkan di *motion study* kemudian diolah dengan menggunakan Ms.Excel sehingga dapat diketahui perbedaan sudut *camber* pada roda kendaraan.
9. Langkah-langkah diatas dilakukan kembali pada masing-masing *trackwidth*.



Gambar 3.1 Diagram alir pengerjaan tugas akhir.



Keterangan gambar 3.2 adalah sebagai berikut :

- | | |
|----------------------------|---------------------|
| 1. <i>Knuckle roda</i> | 4. <i>Joint</i> |
| 2. <i>Rod end steering</i> | 5. <i>Upper Arm</i> |
| 3. <i>Hub steering</i> | |

Gambar 3.2 Gambar rancangan sistem kemudi *three wheeler vehicle*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN DATA

Pada tugas akhir kali ini akan dilakukan simulasi sistem kemudi *tilting three wheeler* dengan variasi *trackwidth* yang kemudian diamati kesesuaiannya terhadap kondisi *Ackerman* dan diamati sudut *camber* yang terbentuk sehingga kendaraan tetap aman dan nyaman.

4.1. Rancangan Sistem Kemudi Kendaraan

Pada rancangan *narrow tilting vehicle* ini berupa kendaraan roda tiga yang menggunakan konfigurasi *reverse strike* yang dapat menampung dua penumpang dengan posisi duduk depan belakang. Kendaraan berpengerak belakang menggunakan *motor* listrik. Perancangan dan analisa sistem kemudi ini menggunakan *software Solidwork*. Seperti dapat dilihat pada gambar 4.1 yang merupakan *layout* dari kendaraan secara utuh, beserta spesifikasi dari *layout* kendaraan dapat dilihat pada tabel 4.1. Untuk memudahkan penjelasan analisa pada sistem kemudi, peneliti akan meninjau pada bagian kemudi kendaraan tanpa *layout* kendaraan secara utuh seperti pada gambar 4.2.



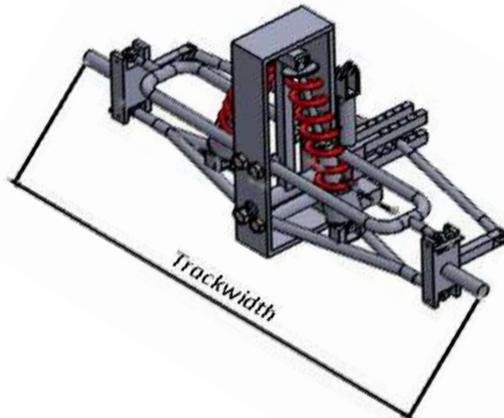
Gambar 4.1 *Layout* rancangan *three wheeler vehicle*.

Tabel 4.1 Spesifikasi rancangan *tilting three wheeler vehicle*.

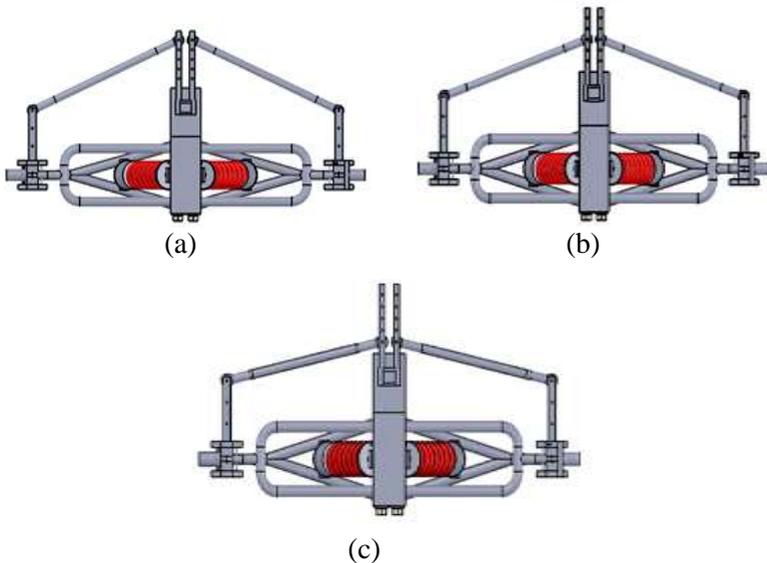
Dimensi(mm)	
Panjang	2211
Lebar	825
Tinggi	1580
Wheel base (L)	1811
Roda	
Jumlah	3
Jari-jari roda	16 inch

4.2. Pengaruh *Trackwidth* Terhadap Sudut Belok Kendaraan

Untuk mendekati prinsip *Ackerman* pada rancangan *three wheeler vehicle* ini dilakukan perubahan panjang terhadap *trackwidth* kendaraan. Pada penelitian ini menggunakan variasi panjang *trackwidth* sebesar 800 mm, 1000 mm, dan 1200 mm. Di masing-masing perubahan *trackwidth* juga dilakukan perubahan terhadap panjang *knuckle* dan *hub steering* sehingga menghasilkan perilaku belok yang berbeda seperti pada gambar 4.2. Perubahan panjang *knuckle* diawali dengan jarak sebesar 60 mm hingga mencapai jarak sebesar 134 mm, seperti pada gambar. Untuk perubahan panjang *knuckle* dan *hub steering* diawali pada jarak 59.64 mm dengan perubahan setiap 20 mm hingga mencapai jarak 139.64 mm. Pada gambar 4.3 diberikan beberapa contoh perubahan panjang *hub steering* dengan panjang *knuckle* yang tetap.



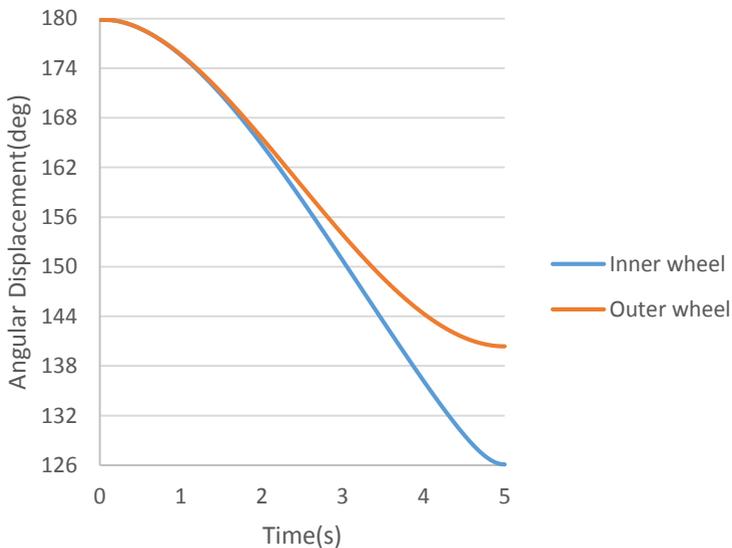
Gambar 4.2 Model 3D sistem kemudi *three wheeler vehicle*



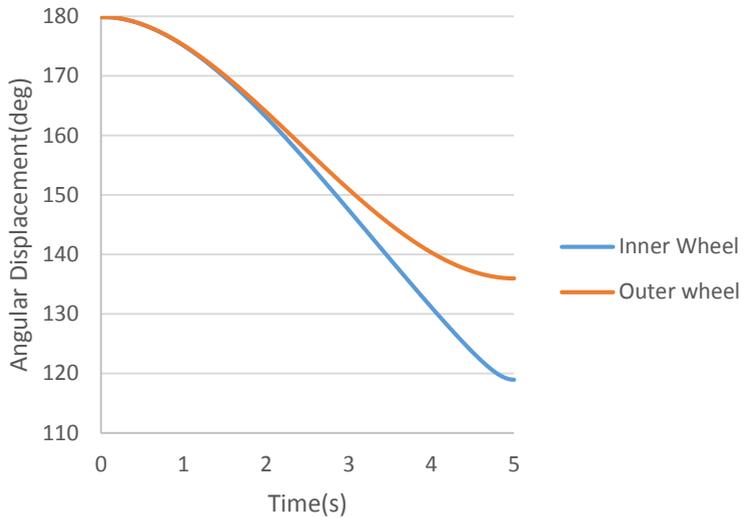
Gambar 4.3 Contoh gambar tampak atas sistem kemudi dengan variasi panjang *hub steering* (a) panjang 139.64 mm, (b) panjang 99.64 mm, (c) panjang 59.64 mm

Untuk mendapatkan hasil berupa grafik untuk perilaku sudut belok agar sesuai dengan prinsip *Ackerman* pada masing-masing *trackwidth* dilakukan dengan mengolah data simulasi dari *software Solidwork* menjadi data di Ms.Excel. Dari hasil simulasi dengan *software Solidwork* didapatkan grafik berupa perubahan sudut terhadap waktu. Dengan semakin panjangnya *trackwidth* semakin besar pula rasio sudut belok yang dihasilkan. Seperti pada gambar 4.4, yang merupakan grafik yang dihasilkan pada masing-masing *trackwidth*.

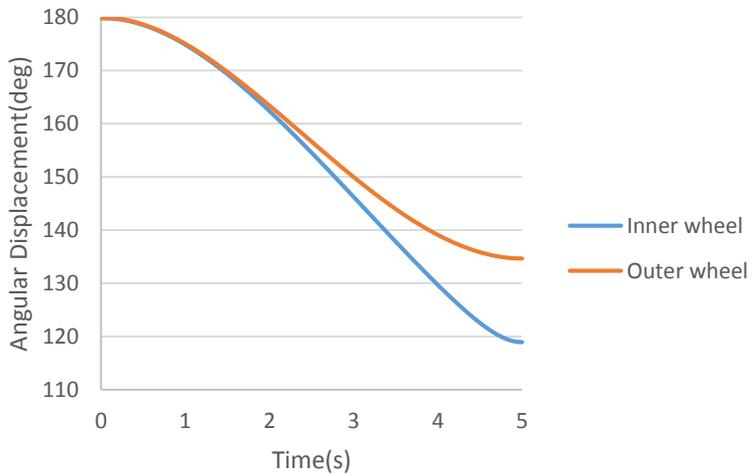
Dimana untuk sudut 180° pada data yang dihasilkan pada simulasi *Solidwork* digunakan sebagai sudut acuan 0° sehingga dalam pengolahan data di Ms.Excel perubahan sudut yang telah didapat dikurangi 180° untuk menghasilkan grafik perbandingan antara δ_o vs δ_i yang sesuai dengan prinsip belok *Ackerman* seperti pada gambar.



(a)



(b)



(c)

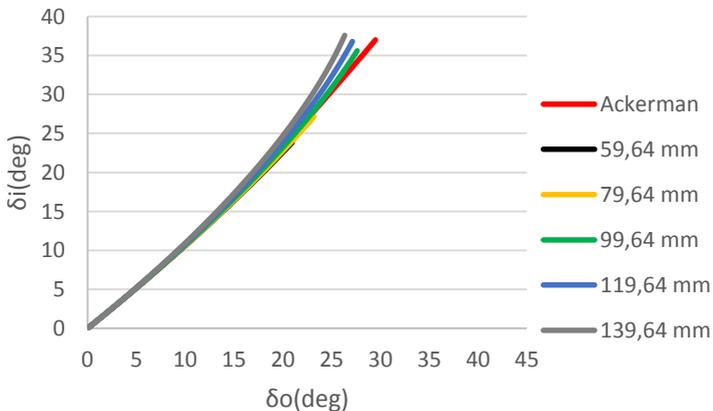
Gambar 4.4 Grafik *inner* dan *outer wheel* dari simulasi *Solidwork* pada *trackwidth* (a) 800 mm, (b) 1000 mm, dan (c) 1200 mm.

4.3. Pengaruh Panjang *Hub Steering* Terhadap Sudut Belok

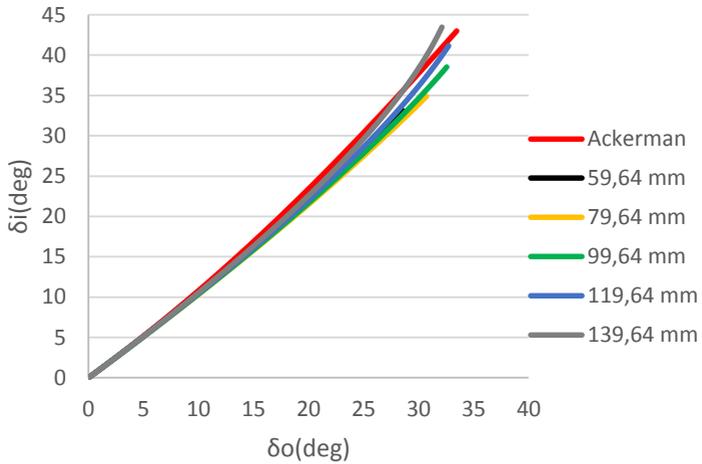
4.3.1. Trackwidth 800 mm

Variasi yang digunakan pada masing-masing *trackwidth* adalah dengan mengubah panjang *hub steering* seperti pada gambar 4.3(b). Pengambilan data simulasi dimulai dengan panjang 59.64 mm, 79.64 mm, 99.64 mm, 119.64 mm dan 139.64 mm. Selanjutnya, data simulasi dibandingkan dengan prinsip kondisi belok *Ackerman*.

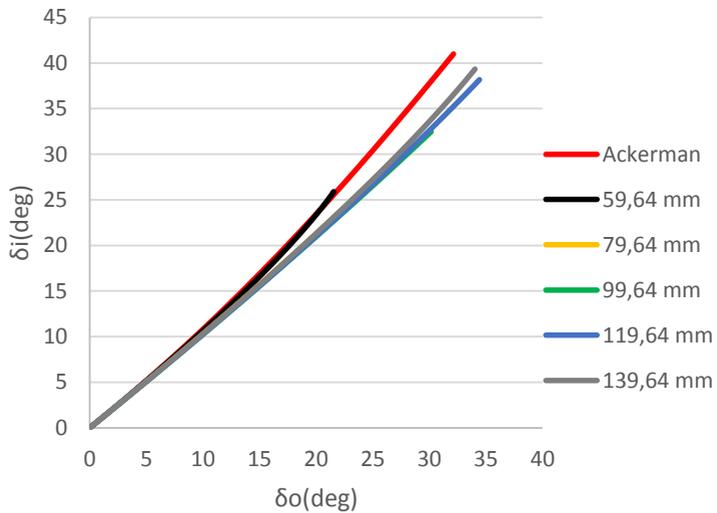
Dari gambar 4.5 diketahui bahwa perubahan panjang *hub steering* akan mempengaruhi tren grafik sudut belok yang dihasilkan. Perubahan panjang *hub steering* dan *knuckle* akan mempengaruhi rasio antara sudut belok roda dalam (δ_i) dan sudut belok roda luar (δ_o) dimana semakin panjang *hub steering* dan *knuckle* maka rasio antara δ_i/δ_o akan semakin besar. Namun, pada gambar 4.5(c) untuk tren pada panjang *hub* 134 mm dan *knuckle* 59.64 mm terjadi penurunan rasio antara sudut belok roda dalam (δ_i) dan sudut belok roda luar (δ_o), dimana hal ini bisa terjadi akibat pengaruh dari rancangan sistem kemudi. Dengan variasi panjang *hub steering* didapatkan hasil sistem kemudi pada *trackwidth* 800 mm yang mendekati prinsip belok *Ackerman* yaitu dengan panjang *knuckle* 99.64 mm yang memiliki δ_i sebesar 32° dan δ_o sebesar 26° seperti pada gambar 4.6.



(a)

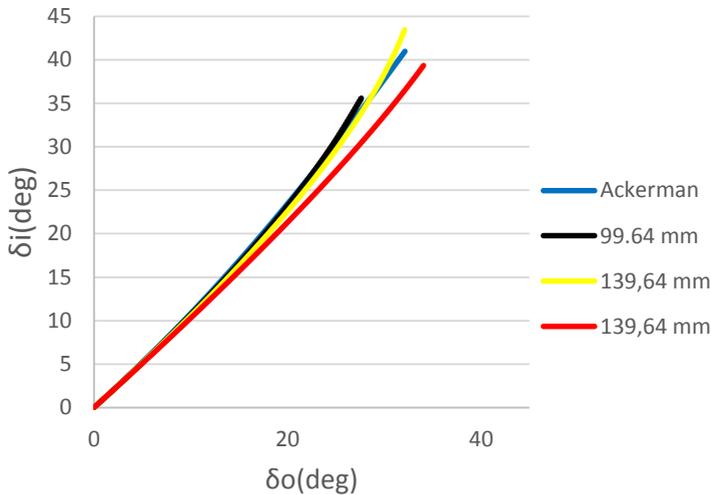


(b)



(c)

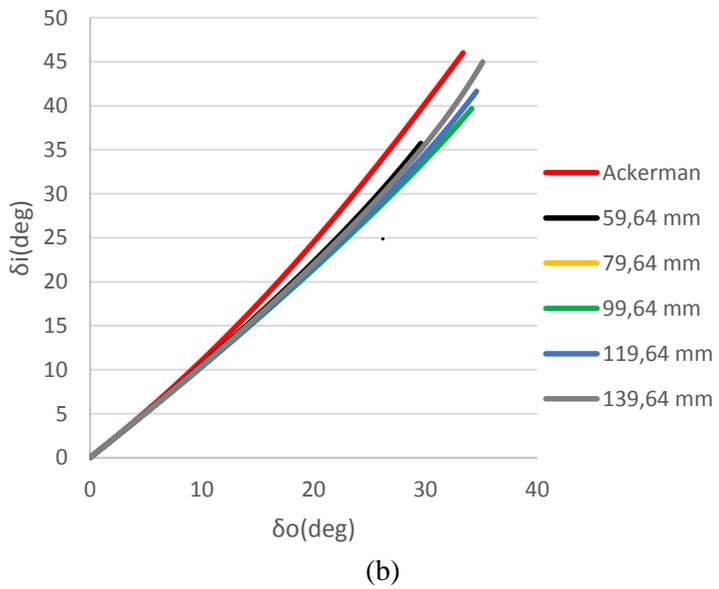
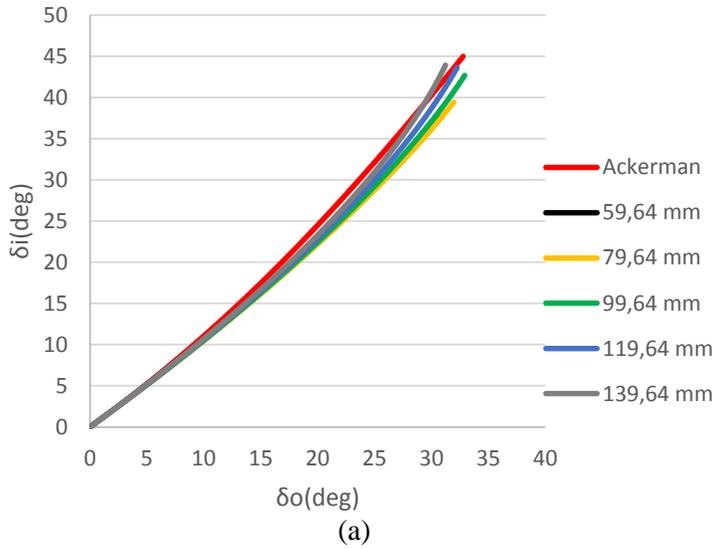
Gambar 4.5 Grafik δ_o vs δ_i pada panjang *knuckle* (a) 60 mm, (b) 97 mm, (c) 134 mm.

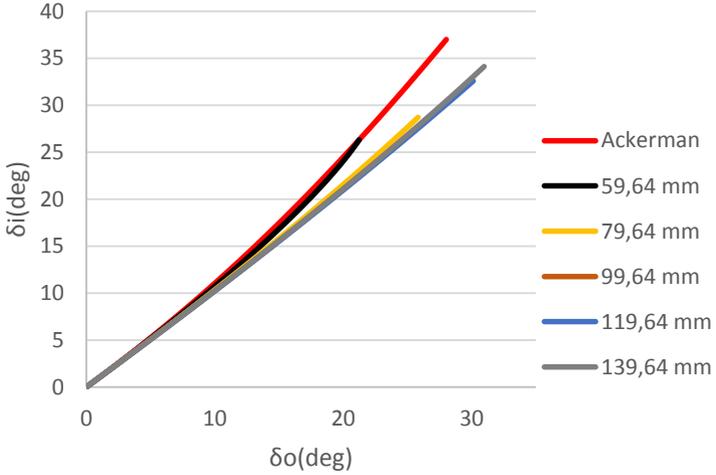


Gambar 4.6 Grafik δ_o vs δ_i tiap panjang *knuckle* yang paling mendekati prinsip *Ackerman* berturut-turut.

4.3.2. Trackwidth 1000 mm

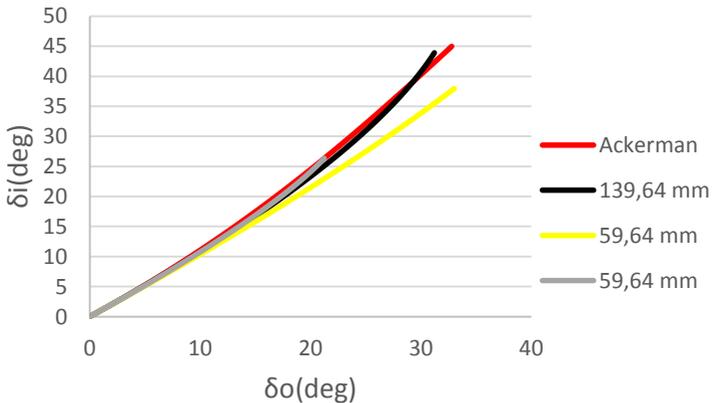
Pada *trackwidth* 1000 mm juga dilakukan variasi panjang pada *hub steering*. Pengambilan data simulasi dimulai dengan jarak 59.64 mm, 79.64 mm, 99.64 mm, 119.64 mm, dan 139.64 mm. Selanjutnya, data simulasi dibandingkan dengan prinsip kondisi belok *Ackerman*. Dari gambar 4.7 diketahui bahwa perubahan panjang *hub steering* akan mempengaruhi tren grafik sudut belok yang dihasilkan. Perubahan panjang *hub steering* dan *knuckle* akan mempengaruhi rasio antara sudut belok roda dalam (δ_i) dan sudut belok roda luar (δ_o) dimana semakin panjang *hub steering* dan *knuckle* maka rasio antara δ_i/δ_o akan semakin besar. Namun, pada gambar 4.7(c) untuk tren grafik pada panjang *hub* 134 mm dan kemudi pada *trackwidth* 1000 mm yang mendekati prinsip belok *Ackerman* yaitu pada panjang *knuckle* 139.64 mm dengan nilai δ_i sebesar 38° dan δ_o sebesar 27° seperti pada gambar 4.8.





(c)

Gambar 4.7 Grafik δ_o vs δ_i pada panjang *knuckle* (a) 60 mm, (b) 97 mm, (c) 134 mm

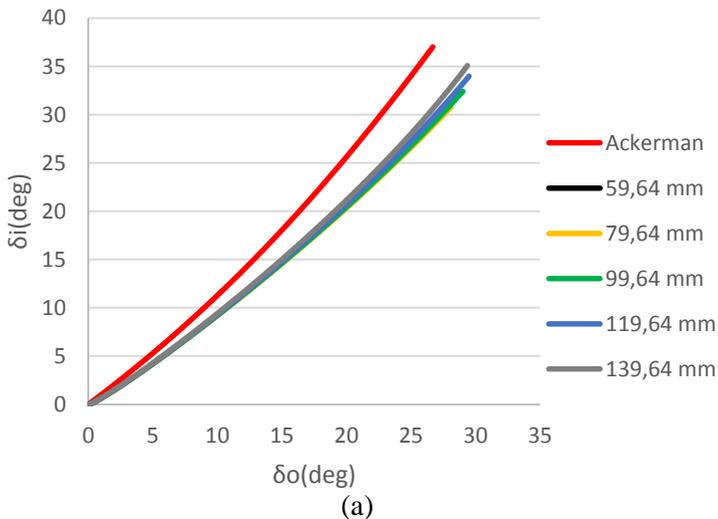


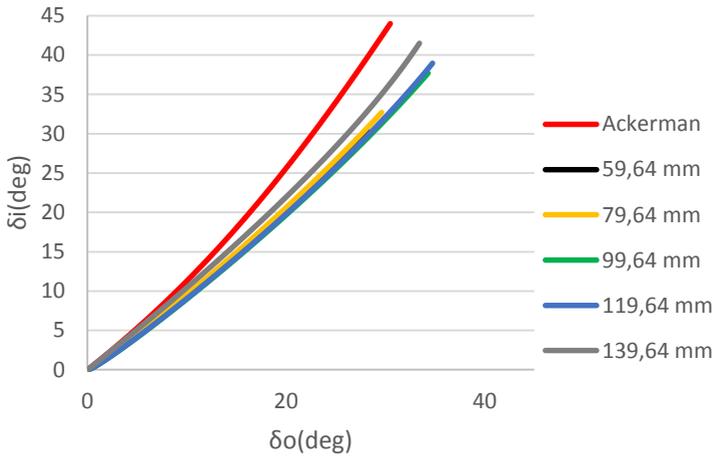
Gambar 4.8 Grafik δ_o vs δ_i tiap panjang *knuckle* yang paling mendekati prinsip *Ackerman* berturut-turut.

4.3.3. Trackwidth 1200 mm

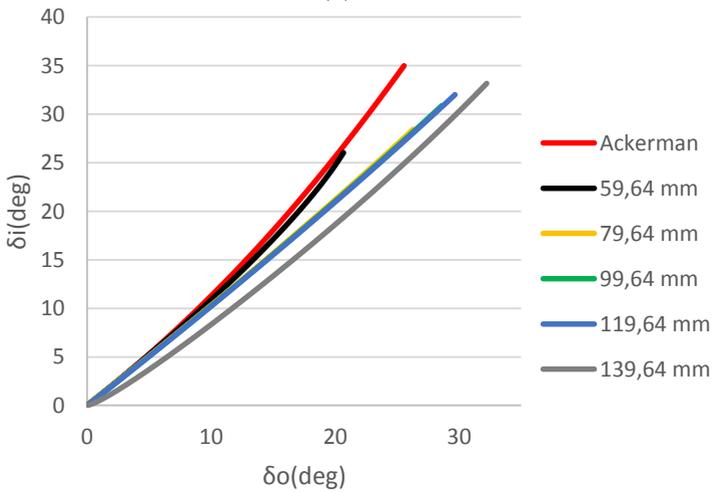
Pada *trackwidth* 1000 mm juga dilakukan variasi jarak penempatan *rod end* pada *hub steering*. Pengambilan data simulasi dimulai dengan jarak 59.64 mm, 79.64 mm; 99.64 mm, 119.64 mm, dan 139.64 mm. Selanjutnya, data simulasi dibandingkan dengan prinsip kondisi belok *Ackerman*.

Dari gambar 4.9 diketahui bahwa perubahan panjang *hub steering* akan mempengaruhi tren grafik sudut belok yang dihasilkan. Perubahan panjang *hub steering* dan *knuckle* akan mempengaruhi rasio antara sudut belok roda dalam (δ_i) dan sudut belok roda luar (δ_o) dimana semakin panjang *hub steering* dan *knuckle* maka rasio antara δ_i/δ_o akan semakin besar. Namun, pada gambar 4.9(c) untuk tren grafik pada panjang *hub* 134 mm dan *knuckle* 59.64 mm terjadi penurunan rasio antara sudut belok roda dalam (δ_i) dan sudut belok roda luar (δ_o), dimana hal ini bisa terjadi akibat pengaruh rancangan sistem kemudi. Dengan variasi panjang *hub steering* didapatkan hasil sistem kemudi pada *trackwidth* 1000 mm yang mendekati prinsip belok *Ackerman* yaitu pada panjang *knuckle* 59.64 mm δ_i sebesar 26° dan δ_o sebesar 21° seperti pada gambar 4.10.



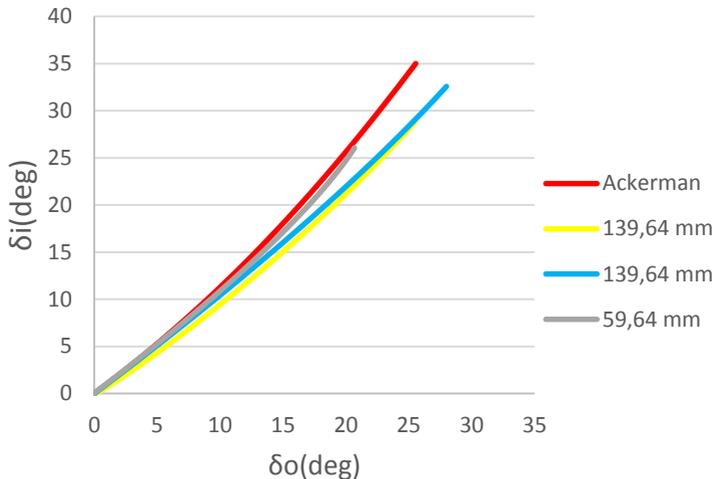


(b)



(c)

Gambar 4.9 Grafik δ_o vs δ_i pada panjang *knuckle* (a) 60 mm, (b) 97 mm, (c) 134 mm



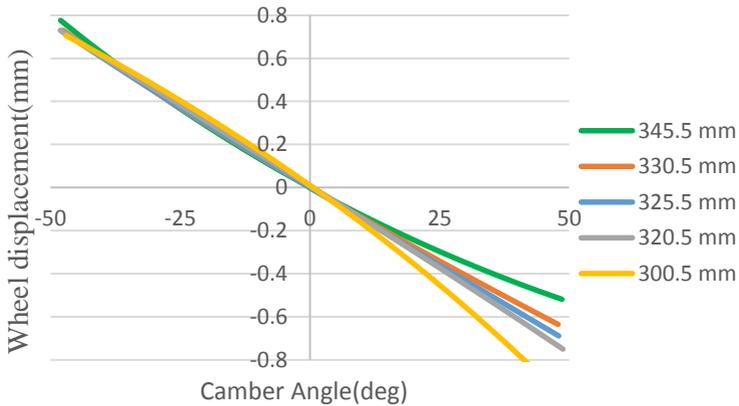
Gambar 4.10 Grafik δ_o vs δ_i tiap panjang *knuckle* yang paling mendekati prinsip *Ackerman* berturut-turut.

4.4. Pengaruh Panjang Upper Arm Terhadap Sudut Camber

4.4.1. Trackwidth 800 mm

Untuk menciptakan kenyamanan berkendara dilakukan analisa sudut *camber* pada roda. Pada penelitian ini dilakukan variasi terhadap panjang *upper arm* setiap *trackwidth* yaitu 300.5 mm, 320.5 mm, 325.5 mm, 330.5 mm, dan 345.5 mm. Kemudian dari hasil simulasi sudut *camber* akan disesuaikan dengan teori sudut *camber*. Dari gambar 4.11 terjadi penurunan tren grafik dari posisi *wheel displacement* negatif hingga posisi *wheel displacement* positif. *Wheel displacement* yang dimaksud disini adalah perubahan posisi roda terhadap sumbu vertikal roda. Pengaruh perubahan panjang *upper arm* menyebabkan sudut *camber* yang terbentuk saat kondisi *wheel displacement* negatif menjadi lebih besar, namun saat kondisi *wheel displacement* positif menjadi lebih kecil. Hal ini sesuai dengan teori perubahan sudut *camber* dimana saat posisi *wheel displacement* negatif menghasilkan sudut *camber* positif dan *wheel displacement* positif

menghasilkan sudut *camber negatif*. Selain itu, panjang *upper arm* mempengaruhi sudut *camber* yang terbentuk. Semakin panjang *upper arm* semakin kecil sudut *camber* yang dihasilkan, begitu juga sebaliknya. Untuk pemilihan sudut *camber* disarankan berada dalam kisaran sudut $\pm 1^\circ$. Dari gambar 4.11 dipilih *upper arm* dengan panjang 345.5 mm yang bertujuan agar kendaraan tetap stabil.

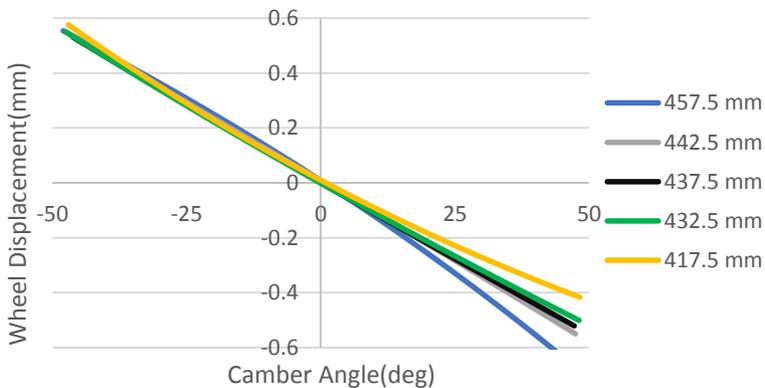


Gambar 4.11 Grafik *camber angle vs wheel displacement* pada *trackwidth* 800 mm.

4.4.2. Trackwidth 1000 mm

Pada *trackwidth* 1000 mm dilakukan variasi panjang *upper arm* sebesar 417.5 mm, 432.5 mm, 437.5 mm, 442.5 mm dan 457.5 mm. Dilakukan simulasi dengan *software* sehingga hasil sudut *camber* yang dihasilkan dapat dibandingkan dan disesuaikan dengan teori sudut *camber*. Dari gambar 4.12 terjadi penurunan tren grafik dari posisi *wheel displacement* negatif hingga posisi *wheel displacement* positif. *Wheel displacement* yang dimaksud disini adalah perubahan posisi roda terhadap sumbu vertikal roda. Pengaruh perubahan panjang *upper arm* menyebabkan sudut *camber* yang terbentuk saat kondisi *wheel displacement* negatif

menjadi lebih besar, namun saat kondisi *wheel displacement* positif menjadi lebih kecil. Hal ini sesuai dengan teori perubahan sudut *camber* dimana saat posisi *wheel displacement* negatif menghasilkan sudut *camber* positif dan *wheel displacement* positif menghasilkan sudut *camber* negatif. Selain itu, panjang *upper arm* mempengaruhi sudut *camber* yang terbentuk. Semakin panjang *upper arm* semakin kecil sudut *camber* yang dihasilkan, begitu juga sebaliknya. Untuk pemilihan sudut *camber* disarankan berada dalam kisaran sudut $\pm 1^\circ$. Dari gambar 4.12 dipilih *upper arm* dengan panjang 457.5 mm yang bertujuan agar kendaraan tetap stabil.

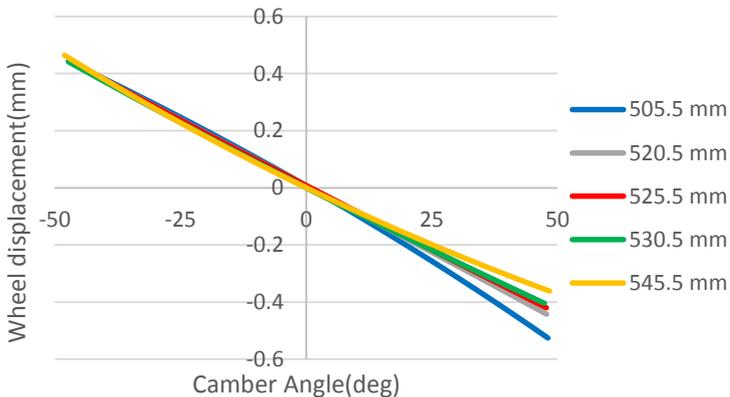


Gambar 4.12 Grafik *camber angle* vs *wheel displacement* pada *trackwidth* 1000 mm.

4.4.3. Trackwidth 1200 mm

Pada *trackwidth* 1200 mm dilakukan variasi panjang *upper arm* sebesar 505.5 mm, 520.5 mm, 525.5 mm, 530.5 mm dan 545.5 mm. Dilakukan simulasi dengan *software* sehingga hasil sudut *camber* yang dihasilkan dapat dibandingkan dan disesuaikan dengan teori sudut *camber*. Dari gambar 4.12 terjadi penurunan tren grafik dari posisi *wheel displacement* negatif hingga posisi *wheel displacement* positif. *Wheel displacement* yang dimaksud

disini adalah perubahan posisi roda terhadap sumbu vertikal roda. Pengaruh perubahan panjang *upper arm* menyebabkan sudut *camber* yang terbentuk saat kondisi *wheel displacement* negatif menjadi lebih besar, namun saat kondisi *wheel displacement* positif menjadi lebih kecil. Hal ini sesuai dengan teori perubahan sudut *camber* dimana saat posisi *wheel displacement* negatif menghasilkan sudut *camber* positif dan *wheel displacement* positif menghasilkan sudut *camber* negatif. Selain itu, panjang *upper arm* mempengaruhi sudut *camber* yang terbentuk. Semakin panjang *upper arm* semakin kecil sudut *camber* yang dihasilkan, begitu juga sebaliknya. Untuk pemilihan sudut *camber* disarankan berada dalam kisaran sudut $\pm 1^\circ$. Dari gambar 4.13 dipilih *upper arm* dengan panjang 545.5 mm yang bertujuan agar kendaraan tetap stabil.



Gambar 4.13 Grafik *camber angle vs wheel displacement* pada *trackwidth* 1200 mm.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dewasa ini seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk di suatu kota, menyebabkan peningkatan pada jumlah kendaraan. Dengan meningkatnya jumlah kendaraan hingga 5% per tahun di Indonesia [13] menyebabkan kepadatan lalu lintas yang menjadi masalah besar bagi penduduknya. Hal ini membuat tantangan baru bagi perusahaan industri otomotif untuk tidak hanya membuat kendaraan yang dapat dikemudikan, namun dapat membantu memecahkan permasalahan ini. Salah satu pemecahan untuk kondisi tersebut adalah dengan membuat desain kendaraan yang kecil, aman, dan irit bahan bakar. Sebagai contoh, di beberapa bagian negara seperti Cina, India, Thailand, dan Italia telah menggunakan jenis kendaraan *electric three wheeler* sebagai transportasi publik.

Kendaraan beroda tiga dianggap memiliki keunggulan yang merupakan kombinasi antara kendaraan roda dua dan roda empat. Konfigurasi kendaraan roda tiga sendiri ada dua macam yaitu konfigurasi *Delta* dengan satu roda di depan dan dua roda di belakang dan konfigurasi *Tadpole(reverse trike)* dengan dua roda di depan dan satu roda di belakang. Setiap konfigurasi tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Kelebihan kendaraan roda tiga dengan konfigurasi *reverse trike* antara lain tidak adanya komponen *differential*, *side shafts* dan *drive shaft* membuat efisiensi transmisi menjadi lebih besar. Konfigurasi *reverse trike* memungkinkan desain bodi yang menyerupai tetesan air, sehingga dapat mengurangi gaya hambat angin(*aerodynamic drag*). Selain itu, rangka yang lebih sederhana membuat biaya pembuatan menjadi lebih murah, dan tingkat keamanan lebih besar dibandingkan kendaraan roda dua.

Selain dapat mengurangi polusi udara, kendaraan ini mempunyai *body* yang melindungi penumpangnya seperti mobil dan mampu bermanuver bebas seperti halnya sepeda motor.

Namun, desain ini memiliki kelemahan akibat bentuknya yang ramping dan ringan yang menyebabkan kendaraan menjadi tidak stabil saat berbelok tajam. Beberapa metode dapat dilakukan seperti mengatur sudut *camber* pada ban dan metode *tilting*. Metode tersebut dapat dilakukan sesuai kebutuhan dari kendaraan. Saat membutuhkan kendaraan dengan kemampuan belok yang baik dengan kecepatan tinggi dapat menggunakan metode *tilting*, dan jika membutuhkan kendaraan dalam perkotaan dapat menggunakan metode pengaturan sudut *camber* pada ban.

1.2. Rumusan Masalah

Dari uraian pada latar belakang dapat dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sistem kemudi *narrow tilting vehicle* yang optimal?
2. Bagaimana pengaruh variasi lebar *track width* terhadap prinsip belok *Ackerman*?
3. Bagaimana pengaruh variasi panjang *upper arm* terhadap sudut *camber* pada roda?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dalam tugas akhir ini dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu:

- Umum:
 1. Merancang sistem kemudi *narrow tilting vehicle*.
- Khusus:
 2. Menganalisa pengaruh lebar *track width* terhadap prinsip belok *Ackerman*.
 3. Menganalisa pengaruh panjang *upper arm* terhadap sudut *camber* kendaraan.

1.4. Batasan Masalah

Agar penulisan tugas akhir ini lebih terarah, maka perlu diberikan beberapa batasan masalah, antara lain:

- Lebar maksimum *track width* : 800 mm, 1000 mm, dan 1200 mm
- Kendaraan berpengerak belakang.
- Tidak terjadi *tilting* pada kendaraan.
- Kekuatan material tidak di analisa.

1.5. Manfaat penelitian

Manfaat yang didapat dari tugas akhir ini adalah:

1. Menawarkan konsep alat transportasi baru yang lebih aman dan nyaman untuk dapat dikembangkan di Indonesia.
2. Hasil dari penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi untuk perancangan *narrow tilting vehicle*.
3. Sebagai media penelitian dan pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi otomotif.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Kemacetan yang semakin parah di jalanan perkotaan terjadi karena jumlah kendaraan yang semakin meningkat setiap tahun dan tidak diimbangi dengan pelebaran jalan yang memadai. Selain hal tersebut, fenomena di jalanan perkotaan menunjukkan bahwa sebagian pengguna kendaraan tidak efektif dalam memenuhi kapasitas penumpang kendaraan pribadi yang digunakan. Contohnya kendaraan jenis *Sport Utility Vehicle (SUV)* yang berkapasitas enam sampai delapan penumpang hanya digunakan untuk satu atau dua penumpang saja. Dimensi dan berat mobil yang besar dan kondisi jalanan yang macet mengakibatkan gerakan dari mobil menjadi sangat terbatas. Hal tersebut mengakibatkan pemborosan bahan bakar yang cukup tinggi sehingga penggunaan kendaraan tidak efisien.

Salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan seperti yang diuraikan di atas adalah dengan membuat kendaraan *narrow tilting vehicle*. Definisi untuk *tilting* dapat dilihat pada gambar 2.21, yaitu sudut yang dibentuk oleh pusat massa kendaraan terhadap sumbu vertikal yang dihasilkan dari kontak roda dan permukaan jalan. Konsep dari *narrow tilting vehicle* adalah kendaraan ramping yang memiliki kemampuan untuk memiringkan *body* kendaraan dengan bantuan pengemudi atau otomatis sehingga membuat kendaraan lebih stabil saat berbelok. *Narrow tilting vehicle* adalah salah satu inovasi di bidang otomotif untuk membuat kendaraan yang mampu bermanuver dengan lincah seperti motor tetapi memiliki tingkat kenyamanan dan keamanan yang lebih tinggi seperti mobil. Pada umumnya kendaraan tersebut dirancang dengan konfigurasi tiga roda. Kendaraan jenis ini diharapkan mampu menjadi kendaraan perkotaan di masa depan.

2.1. Konsep Rancang Bangun

2.1.1 Pengertian Perancangan

Perancangan adalah kegiatan yang dilakukan untuk memecahkan masalah dengan menerapkan teknologi yang bertujuan untuk mendapatkan solusi terbaik dari suatu permasalahan. Perancangan dapat berupa rumuskan yang terstruktur sebagai solusi untuk menyelesaikan masalah yang belum terpecahkan sebelumnya, atau sebuah solusi untuk menyelesaikan masalah dengan cara yang berbeda dari sebelumnya [12]. Perancangan suatu produk sangat dibutuhkan untuk membantu tugas-tugas manusia dalam melakukan proses pengerjaan agar didapat hasil yang optimal. Perancangan perlu memperhatikan efisiensi, kemudahan, biaya yang semurah mungkin, faktor keamanan, dan dapat memberikan kontribusi yang maksimal bagi kehidupan manusia.

2.1.2 Deskripsi Proses Perancangan

Terdapat tujuh fase utama dalam sebuah proses perancangan menurut Morris Asimow [1] yang disebut juga sebagai morfologi perancangan.

Berikut langkah-langkah dalam proses perancangan:

1) Menkonsep Desain

Pada fase ini, hal yang harus dilakukan antara lain mengidentifikasi kebutuhan klien atau konsumen, mendefinisikan masalah, mengumpulkan informasi, membuat daftar konsep yang berpotensi dapat menyelesaikan masalah, memilih konsep, menentukan spesifikasi dari desain, dan mengevaluasi desain.

2) Perwujutan Desain

Dalam mengembangkan dari konsep desain, perwujutan semua fungsi dari bagian produk harus diperhitungkan. Pada fase ini ditentukan kekuatan dari produk, pemilihan material, ukuran, bentuk, dan kecocokan dari setiap elemen dari produk. Perwujutan dari desain memperhatikan tiga pekerjaan utama untuk menentukan

arsitektur dari produk, konfigurasi desain, dan parameter desain dari setiap komponen.

3) Detail Desain

Pada fase ini aktifitas yang dilakukan adalah memenuhi dan menyiapkan dokumen terkait gambar teknik secara detail dari produk, verifikasi dari keberhasilan pengujian prototype, gambar susunan, spesifikasi produk, keputusan pembelian komponen, estimasi biaya, dan mencakup hasil evaluasi desain sebelum menentukan proses manufaktur dari desain.

4) Perencanaan Proses Manufaktur

Cara manufaktur yang digunakan pada setiap komponen harus ditentukan berdasarkan kepada bentuk, kondisi dari material tiap komponen, dan juga biaya. Hal penting lainnya dalam proses manufaktur adalah menentukan desain pahat dan pemegangnya, menspesifikasi kegunaan dari produk, merencanakan jadwal pekerjaan dan mengontrol penyimpanan, merencanakan jaminan kualitas, menentukan standar waktu dan biaya pekerja pada setiap kegiatan, dan terakhir adalah menentukan aliran sistem informasi untuk mengontrol pekerjaan.

5) Perencanaan Proses Distribusi

Pemilihan teknis dan keputusan bisnis menentukan efektifitas dari proses distribusi kepada konsumen. Pada desain produk tertentu, proses dalam mengemas produk untuk didistribusikan sangat fatal akibatnya jika tidak dilakukan dengan benar.

6) Perencanaan Penggunaan Produk

Penggunaan produk oleh konsumen menjadi dasar desain dari produk yang telah dikerjakan pada fase-fase sebelumnya. Proses dari desain tersebut mencakup hal terkait perawatan, ketahanan, laju kerusakan, keamanan, dan biaya operasional. Akan tetapi, produk-produk yang telah digunakan oleh konsumen berkembang seiring dengan permintaan yang diharapkan konsumen dari

produk tersebut. Oleh karena itu, aktivitas yang dilakukan pada fase ini adalah memperoleh data kerusakan produk, umur pelayanan, dan kritik dan saran dari pelanggan yang akan menjadi dasar untuk mengembangkan produk kedepannya.

7) Perencanaan Peniadaan Produk

Fase terakhir ini menjelaskan langkah yang dilakukan ketika produk telah mencapai batas akhir dari umur hidupnya. Permasalahan terkait kerusakan lingkungan yang marak terjadi belakangan ini mengakibatkan timbulnya rasa tanggung jawab untuk memikirkan proses meniadakan produk tanpa menyebabkan kerusakan lingkungan atau biasa dikenal dengan *green design*.

2.2. Perkembangan Kendaraan Roda Tiga

Awal mula pembuatan kendaraan dengan konfigurasi tiga roda sudah dimulai sejak abad ke-15, dimana Leonardo da Vinci membuat desain kendaraan tiga roda dengan penggerak tenaga pegas, seperti pada gambar 2.1(a). Setelah beberapa abad kemudian, seorang *engineer* asal Prancis Nicolas Cugnot pada tahun 1769 membuat kendaraan tiga roda yang menggunakan tenaga uap. Di Indonesia, kendaraan roda tiga dipasarkan oleh perusahaan Daihatsu pada tahun 1957 yang bernama Daihatsu Midget, seperti pada gambar 2.1(b). Kendaraan tersebut digunakan sebagai transportasi umum di Jakarta yang dikenal sebagai Bemo atau Becak motor.



(a)



(b)

Gambar 2.1 (a) Kendaraan roda tiga yang diciptakan Leonardo da Vinci, (b) Daihatsu Midget [4].

Untuk pertama kalinya perusahaan *General Motor* pada tahun 1980 menciptakan prototipe kendaraan *tilting three-wheeled* yang bernama *Lean Machine* seperti pada gambar 2.2. Pada model awal *Lean Machine* yang diciptakan menggunakan mesin 2 silinder yang menghasilkan tenaga 15 *hp* dan menghasilkan kecepatan maksimum 80 *mph* dengan efisiensi bahan bakar sebesar 80 *mpg* pada kecepatan 40 *mph*. Beberapa waktu kemudian diciptakan *Lean Machine* kedua yang memiliki mesin berkapasitas 38 *hp*. Dengan total bobot kendaraan sebesar 159 kg memberikan performa terbaik pada kendaraan. Kendaraan ini mampu mencapai kecepatan 60 *mph* dengan waktu 6.8 detik dan efisiensi bahan bakar sebesar 200 *mpg*.



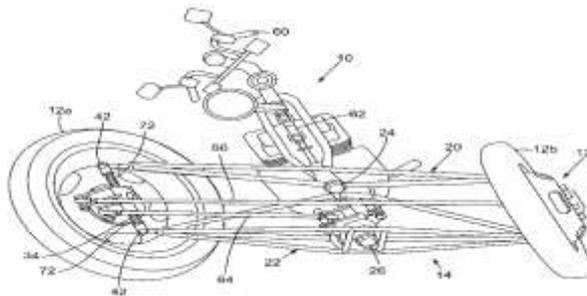
Gambar 2.2 Tilting three wheeled Lean Machine yang diciptakan General Motor [5].

Salah satu keunggulan dari kendaraan ini adalah kemampuannya untuk bermanuver atau mampu miring seperti sepeda motor. Kemampuan ini bersumber dari mekanisme sistem *steering* yang berbeda dari kendaraan biasanya. Meskipun mempunyai roda 2 didepan namun kendaraan tetap mampu miring dan juga berbelok. Telah banyak penelitian-penelitian yang telah dipatenkan mengenai sistem *steering* ini. Salah satunya adalah paten dari Robert Mighell pada tahun 2009. Robert Mighell adalah salah satu peneliti yang meneliti sistem *steering* ini dan juga

diimplementasikan pada perusahaannya sendiri, yaitu Tilting Motor Works, Inc., di Washington.

Dalam paten yang bernomor publikasi US7967306 B2 seperti gambar 2.3, dijelaskan sistem ini mampu miring maksimal 45° dengan kecepatan tertentu. Untuk memiringkannya sendiri dikontrol oleh sebuah sistem sensor kecepatan. Dimana kelebihan pada paten ini sistem *steering* tampak kokoh karena kuncinya berada pada sensor dan *joint* yang mampu miring yang terhubung dengan *double wishbone*. Seperti pada gambar 2.3 yang bernomor 42 dan 22.

Adapula *patent* dari BRP CanAm Spyder pada tahun 2007 yang juga membahas tentang sistem *tilting* dari kendaraan ini. Seperti pada gambar 2.5, sistem kemudi dalam *patent* ini penemu memakai sistem yang hampir sama dengan paten *Robert Mighell* namun tanpa menggunakan *double wishbone*, yaitu dengan menggunakan arm pada *hub* bagian bawah yang bernomor 54 dan menggunakan *tie rod* pada bagian atas yang bernomor 90. Selain itu, desain ini menggunakan *shockbreaker* berjumlah dua buah yang diletakan di tengah antara roda yang berfungsi sebagai *link* antar dua *arm* dan sebagai peredam kejut bagian depan kendaraan.



Keterangan gambar:

- | | |
|--|--|
| 10: Kendaraan <i>tilting three wheel</i> | 26: Tumpuan rangka bagian bawah |
| 12: <i>Velg</i> roda | 34: Poros <i>hub</i> |
| 12a: Roda kanan | 42: <i>Joint</i> rangka <i>tilting</i> |

12b: Roda kiri	60: Stang kemudi
14: Rangka <i>tilting</i>	62: Poros kemudi
20: Lengan bagian atas	64: <i>Tie rod</i> kemudi
22: Lengan bagian bawah	66: <i>Tie rod</i> antar roda
24: Tumpuan rangka bagian atas	72: Pegas suspensi

Gambar 2.3 Sistem steering yang dipatenkan Robert Mighell [14].

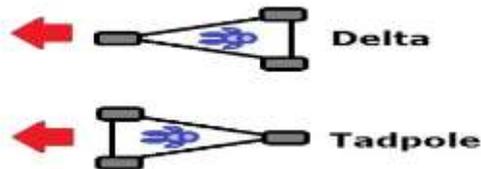
Inovasi pada kendaraan roda tiga terus dikembangkan. Pada tahun 2013 salah satu perusahaan otomotif terbesar di dunia dari Jepang, Toyota Motor Corporation meluncurkan *tilting three wheel vehicle* pertama mereka dengan konfigurasi *reverse-trike* berkapasitas dua orang. *Tilting three wheel vehicle* berbeda dengan kendaraan roda tiga pada umumnya karena kendaraan tersebut memiliki kelebihan mampu *tilting* sehingga mampu bermanuver lebih baik dibandingkan kendaraan roda tiga biasa. Tujuan dari dibuatnya kendaraan ini adalah untuk mendapatkan kendaraan yang memiliki kenyamanan dan keamanan seperti mobil serta mampu bermanuver dengan baik seperti motor. Kendaraan tersebut diberi nama Toyota i – Road seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.6. Toyota i – Road menggunakan penggerak berupa motor listrik dengan sumber daya berupa baterai lithium-ion yang mampu menempuh jarak 50 km dengan sekali pengisian. Toyota i – Road memiliki panjang 2350 mm, lebar 850 mm, tinggi 1445 mm, dan *wheelbase* 1700 mm. Berat kosong dari Toyota i – Road adalah 300 kg [1]. Selain dari Toyota, perusahaan kompetitor seperti Honda, Yamaha, Kawasaki, dan Piaggio juga menciptakan *narrow tilting vehicle* dengan konsep yang hampir menyerupai namun dengan desain yang berbeda, seperti pada gambar 2.7.

2.3. Konfigurasi Kendaraan

Dengan perkembangan jaman, perancangan *narrow tilting vehicle* tidak hanya memperhatikan kenyamanan penumpang,

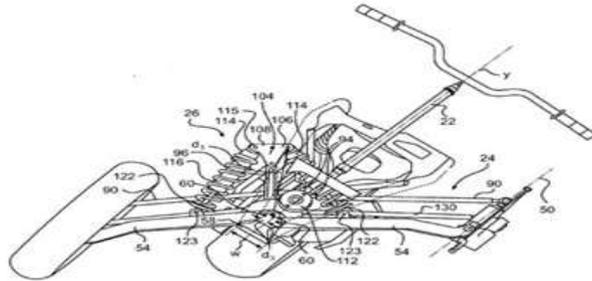
namun juga memperhatikan kenyamanan dan efisiensi bahan bakar kendaraan. Kendaraan beroda tiga dianggap memiliki keunggulan yang merupakan kombinasi antara kendaraan roda dua dan roda empat. Konfigurasi kendaraan roda tiga sendiri ada dua macam seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4 yaitu konfigurasi *Delta* dengan satu roda di depan dan dua roda di belakang dan konfigurasi *Tadpole (Reverse-trike)* dengan dua roda di depan dan satu roda di belakang. Kelebihan dari masing-masing jenis konfigurasi tersebut adalah sebagai berikut:

- Kelebihan kendaraan roda tiga dengan konfigurasi *reverse trike* antara lain:
 1. Konfigurasi *reverse-trike* memungkinkan desain bodi yang menyerupai tetesan air, sehingga dapat mengurangi gaya hambat angin (*aerodynamic drag*).
 2. Tidak adanya komponen *differential*, *side shafts*, dan *drive shaft* membuat bobot kendaraan menjadi lebih ringan dapat membuat efisiensi transmisi menjadi lebih besar.
 3. Kendaraan lebih stabil dibandingkan dengan konfigurasi *delta*.
 4. Tingkat keamanan lebih besar dibandingkan dengan kendaraan roda dua.
- Kelebihan dari kendaraan roda tiga konfigurasi *delta* antara lain :
 1. Mengurangi harga pembuatan mekanisme *steering*.
 2. Memiliki mekanisme *steering* yang lebih sederhana sehingga dapat mengurangi beban kendaraan.



Gambar 2.4 Konfigurasi kendaraan roda tiga [11].

3. Pemasangan sistem *steering* lebih mudah.



Keterangan gambar:

22: Poros kemudi

104: Lengan ayun
suspensi

50: Sumbu *kingpin*

115: Pegas suspensi

54: Lengan rangka bagian bawah

116: Peredam suspensi

60: Titik tumpuan rangka bawah

123: Tumpuan pegas

90: *Tie rod* rangka atas

130: *Tie rod* kemudi

94: Titik tumpuan rangka atas

Gambar 2.5 Sistem steering yang dipatenkan BRP CanAm Spyder [3].



Gambar 2.6 Toyota i – Road, *tilting three wheel vehicle* buatan Jepang [15].



(a)



(b)



(c)



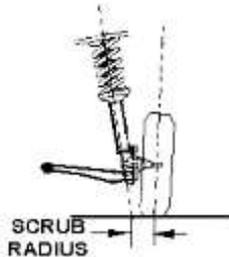
(d)

Gambar 2.7 Kendaraan *narrow tilting vehicle* :(a) Honda Gyro Canopy, (b) Duaadro, (c) Yamaha Tricity, (d) Kawasaki J Prototype [15].

2.4. Scrub Radius dan Sudut Caster

Terdapat sebuah karakteristik statik pada kendaraan yang berperan penting agar kendaraan dapat berjalan dengan baik, yaitu *scrub radius*. *Scrub radius* merupakan hasil dari sudut inklinasi *kingpin* pada sumbu kemudi yang tidak bernilai nol, dapat dilihat pada gambar 2.8. Alasannya terletak pada peran *scrub radius* terhadap perasaan pengemudi dalam mengemudi. Dan perubahan

kecil pada sudut inklinasi dapat menghasilkan stabilitas yang semakin baik pada kendaraan [2].



Gambar 2.8 *scrub radius* [2].

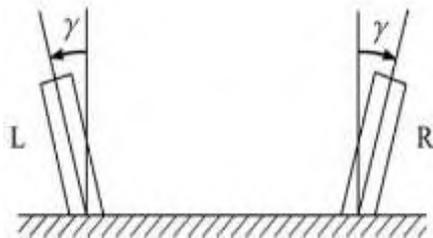
Selain *scrub radius*, sudut *caster* juga berperan dalam kestabilan kendaraan. Sudut *caster* sendiri memiliki makna yang sama dengan sudut inklinasi namun dilihat pada tampak samping. Pada gambar 2.10 menggambarkan sudut *caster*. Untuk menghasilkan stabilitas longitudinal yang lebih baik, maka perlu mengubah sudut *caster* sebesar 0-5 derajat [2].

2.5. Sudut Camber

Secara umum, ada dua cara yang sering digunakan untuk meningkatkan performa dan stabilitas dari *narrow three wheeled* saat berbelok yaitu dengan mengatur sudut *camber* pada roda atau dengan sistem *tilting*. Dilihat pada gambar 2.9, tampak pengaturan sudut *camber* pada roda depan mobil dengan menggerakkan roda kearah luar dan dalam. Secara teori, saat sumbu vertikal sebuah roda sejajar dengan sumbu vertikal *body* kendaraan tidak terjadi perubahan sudut *camber*. Saat roda bergerak kearah luar dan dalam (relatif terhadap), menghasilkan nilai positif dan negatif pada sudut *camber*.

Dengan menggunakan metode sudut *camber* walaupun dengan sudut yang sangat kecil, radius belok kendaraan menjadi lebih pendek [13]. Namun, untuk meningkatkan kualitas *cornering* kendaraan, tidak hanya mengatur sudut *camber* tetapi juga harus secara berkala dan akurat melakukan kontrol pada

sudut *camber* [2]. Selain itu, tujuan pengubahan sudut *camber* adalah untuk membuat kontak jalan pada ban memiliki nilai dibawah beban kendaraan, untuk mempermudah kemudi, dan untuk mengurangi keausan pada ban yang tak terduga.

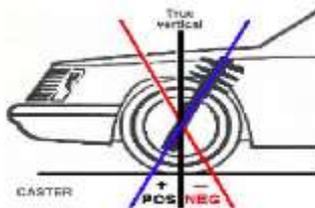


Gambar 2.9 Gambar skematik nilai positif sudut *camber* [2].

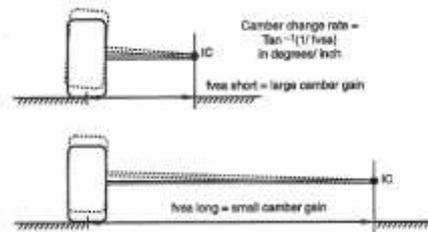
Saat roda dikemudikan, sudut *caster* dan sudut inklinasi pada *kingpin* mempengaruhi sudut *camber*, dan begitu sebaliknya, khususnya mempengaruhi *handling* saat belokan dengan radius kecil.

2.6. Kinematika Kemudi

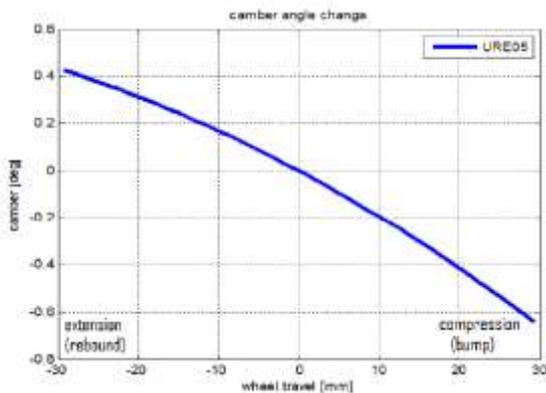
Kendaraan dengan sistem kemudinya masing-masing akan menghasilkan hubungan kinematis sesuai susunan desainnya. Sebuah mobil dengan *track width* (w) dan *wheel base* (l) berbelok sehingga memiliki sudut belok roda luar (δ_o) dan sudut belok roda dalam (δ_i). Kendaraan tersebut memiliki pusat putaran (O) dan radius putar (R) seperti pada gambar 2.15. Asumsi kendaraan berbelok ke kiri maka roda luar / *outer* merupakan roda kanan / *right* ($\delta_o = \delta_r$) dan roda dalam / *inner* merupakan roda kiri / *left* ($\delta_i = \delta_l$).



Gambar 2.10 Skematik sudut *caster* [2].



Gambar 2.11 Pengaruh panjang lengan ayun terhadap sudut camber [10].



Gambar 2.12 Grafik sudut camber [4].

Model sistem kemudi dirancang agar kendaraan dapat berjalan baik pada kondisi jalan yang lurus maupun berbelok. Agar kendaraan dapat berjalan pada kondisi tersebut dirancang sistem kemudi ideal yang mengikuti prinsip *Ackerman*. Prinsip *Ackerman* adalah sebuah geometri sistem kemudi yang membentuk sudut dalam dan sudut luar roda kendaraan yang berbeda pada kondisi jalan yang memiliki radius putar sehingga kendaraan selalu berada dalam lintasan dan terhindar dari *slip* pada roda. Untuk meneliti kesesuaian suatu geometri kendaraan dengan prinsip *Ackerman* digunakan beberapa batasan yaitu seperti gerakan kendaraan hanya dipengaruhi oleh gerakan kemudi yang diinputkan pengemudi, dan kendaraan berjalan

dengan kecepatan rendah. Dimana hal ini biasa disebut *kinematic turning*. Namun, prinsip ini hanya digunakan pada kendaraan seperti mobil konvensional yang hanya menggunakan *input* putaran kemudi. Untuk kendaraan seperti *narrow tilting vehicle* diperlukan rancangan dan simulasi sendiri agar dapat berjalan dengan baik.

Dimana pada kendaraan penggerak roda depan dengan titik berat (C), sudut belok (δ), serta dimensi yang berkaitan dengan titik berat (a_2). Serta dapat diketahui besarnya sudut belok roda dalam/*inner* (δ_i) maupun sudut belok roda luar/*outer* (δ_o) yang mengikuti prinsip *Ackerman* dengan memperhatikan nilai *wheelbase* (l) dan *track width* (w) yang dirumuskan pada persamaan 2.5. Dengan hubungan yang diketahui dari rumusan diatas maka dapat kita *plot*-kan hubungan antara sudut belok roda dalam (δ_i) maupun sudut belok roda luar (δ_o) dalam bentuk grafik seperti pada gambar 2.13.

$$\tan(\delta_i) = \frac{l}{R + \frac{w}{2}} \quad (2.1)$$

$$\tan(\delta_o) = \frac{l}{R - \frac{w}{2}} \quad (2.2)$$

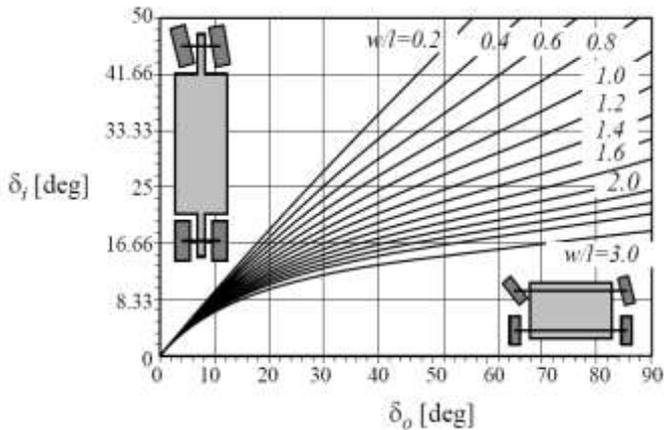
Membuat persamaan R dari rumus (2.1) dan (2.2) :

$$R = \frac{1}{2}w + \frac{l}{\tan(\delta_i)} \quad (2.3)$$

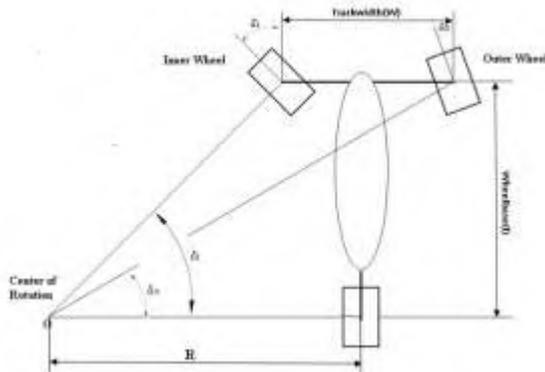
$$R = -\frac{1}{2}w + \frac{l}{\tan(\delta_o)} \quad (2.4)$$

Kondisi *Ackerman* berdasarkan [7], memiliki hubungan antara δ_i dan δ_o pada kendaraan roda tiga, sebagai berikut :

$$\cot(\delta_i) - \cot(\delta_o) = \frac{w}{l} \quad (2.5)$$



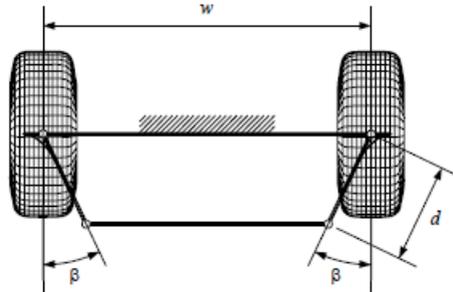
Gambar 2.13 Grafik hubungan δ_i , δ_o dengan perbandingan *wheelbase* dan *track width* [7].



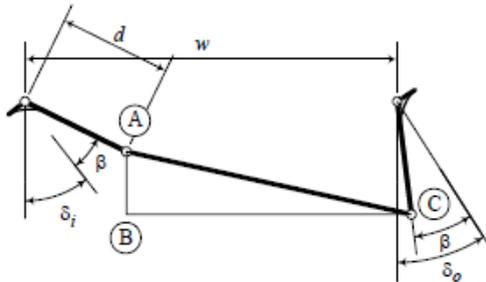
Gambar 2.14 Kondisi *Ackerman Steering* pada kendaraan tiga roda.

Untuk desain sistem kemudi *four bar linkage* dapat dicari hubungan dengan prinsip *Ackerman*. Diberikan sebuah contoh sistem kemudi *four bar linkage* dimana dapat dicari hubungan antara δ_i (Sudut dalam) dan δ_o (Sudut luar) dengan sistem kemudi

pada gambar 2.15. Dimana dapat dibuat grafik hubungan antara keduanya seperti pada gambar 2.17.

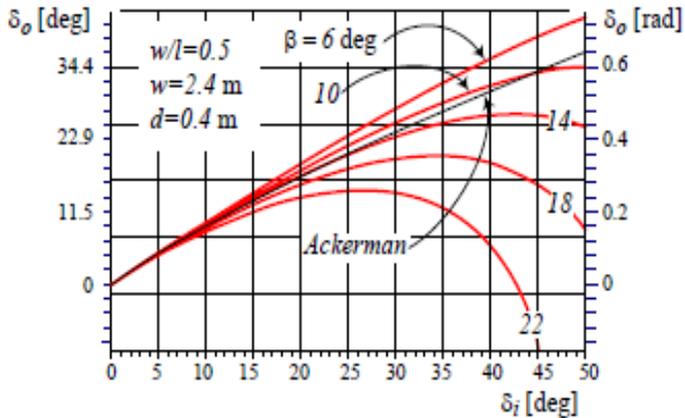


Gambar 2.15 Mekanisme kemudi trapezoidal [7].



Gambar 2.16 Mekanisme trapezoidal ABC [7].

$$\begin{aligned} & \sin(\beta + \delta_i) + \sin(\beta - \delta_o) \\ &= \frac{w}{d} + \sqrt{\left(\frac{w}{d} - 2\sin\beta\right)^2 - (\cos(\beta - \delta_o) - \cos(\beta + \delta_i))^2} \quad (2.6) \end{aligned}$$



Gambar 2.17 Grafik perilaku antara mekanisme kemudi trapezoidal dengan prinsip Ackerman [7].

2.7. Sistem Suspensi

2.7.1 Pengertian Suspensi

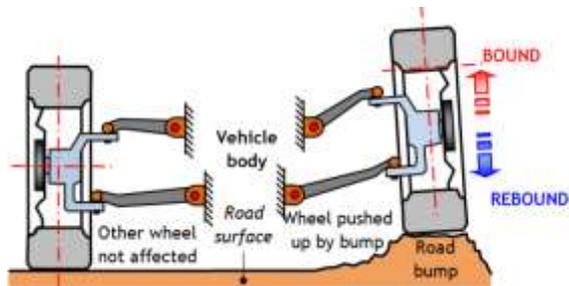
Pada perancangan sebuah kendaraan, terdapat beberapa hal yang sangat perlu diperhatikan untuk menambah keamanan dan kenyamanan kendaraan tersebut. Salah satunya adalah sistem suspensi dari kendaraan yang di rancang tersebut. Sistem suspensi merupakan suatu mekanisme dari beberapa komponen yang berfungsi meredam kejutan dan getaran akibat profil permukaan jalan yang tidak rata. Sistem suspensi sangat berpengaruh terhadap kenyamanan dan keamanan kendaraan.

Sistem suspensi menghubungkan bodi (kerangka) dan roda. Sistem suspensi dirancang agar mampu menahan berat kendaraan (beban statis) dan mampu menerap beban dinamis yang terjadi secara tiba-tiba. Selain itu sistem suspensi juga dapat menstabilkan kondisi kendaraan dalam segala kondisi

pengendalian, seperti saat kendaraan belok, kendaraan mengerem dan pada saat kendaraan melaju dalam kecepatan yang tinggi.

2.7.2 Sistem Suspensi Independen

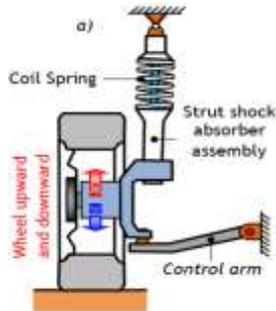
Sistem suspensi independen mengakibatkan masing-masing roda dapat bergerak naik dan turun. Hampir semua kendaraan mobil dan truk ringan menggunakan sistem suspensi independen pada bagian depan kendaraan, karena untuk memudahkan pemasangan mesin, dan memiliki tingkat kenyamanan yang baik untuk penumpang, seperti pada gambar 2.18. Kekurangan sistem ini adalah dari rancangan sistem yang sulit dan ongkos manufaktur yang mahal akibat komponen yang lebih banyak. Untuk sistem suspensi independen ini memiliki beberapa jenis, yaitu *MacPherson*, *double wishbones*, *multi-link*, *trailing arm* dan *swing axle*. Jenis suspensi tersebut digunakan sesuai dengan rancangan kendaraan sehingga memberikan hasil yang maksimal.



Gambar 2.18 Sistem suspensi independen [8].

2.7.2.1 Suspensi MacPherson

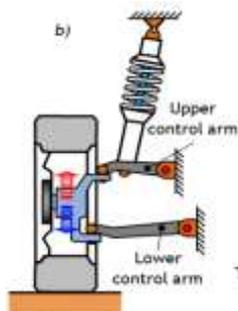
Suspensi jenis ini terdiri dari satu lengan bagian bawah (*control arm*) dan pegas peredam kejut pada bagian atas yang memungkinkan roda bergerak naik dan turun, seperti pada gambar 2.19. Jenis suspensi ini dapat mengurangi jumlah komponen suspensi sehingga dapat mengurangi ongkos pembuatan. Namun, dari segi performa suspensi ini tidak lebih baik dari sistem *double wishbone* atau *multi link*.



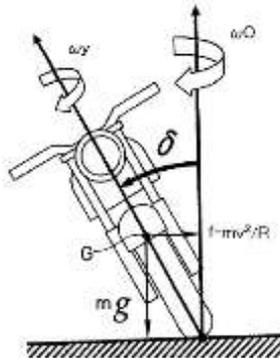
Gambar 2.19 Suspensi *MacPherson* [8].

2.7.2.2 Suspensi Double Wishbone

Suspensi jenis ini biasa digunakan pada model sedan mewah dan kendaraan balap. Hal ini disebabkan oleh kemampuan suspensi yang memberikan *handling* dan kenyamanan yang baik. Suspensi ini menggunakan lengan ayun bagian bawah (*lower control arm*) dan lengan ayun bagian atas (*upper control arm*) untuk menjaga roda bergerak naik dan turun, seperti pada gambar 2.20. Kekurangan dari suspensi ini adalah ongkos pembuatan yang mahal, dan rancangan yang lebih rumit.



Gambar 2.20 Suspensi *double wishbone* [8].



Gambar 2.21 Sudut *tilting* pada kendaraan motor(δ) [14].

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan dari perancangan dan analisa sistem kemudi *Narrow Tilting Vehicle* pada tugas akhir kali ini antara lain:

1. Didapatkan rancangan sistem kemudi *narrow tilting vehicle* dengan variasi *trackwidth* yang optimal yaitu pada *trackwidth* 1000 mm dan panjang *upper arm* sebesar 457.5 mm.
2. Perubahan panjang *knuckle* mempengaruhi sudut belok kendaraan. Dimana semakin panjang *knuckle* membuat rasio sudut belok kendaraan menjadi semakin menjauhi prinsip *Ackerman*. Dihadirkan perilaku belok yang paling mendekati prinsip *Ackerman* pada *trackwidth* 1000 mm dengan panjang *knuckle* 134 mm.
3. Perubahan panjang *hub steering* memberikan perubahan terhadap kesesuaian perilaku belok yang dihadirkan terhadap prinsip *Ackerman*. Dihadirkan perilaku belok dengan variasi panjang *hub steering* yang paling mendekati prinsip *Ackerman* pada panjang *knuckle* 134 mm sebesar 139,64 mm. Semakin panjang *hub steering* semakin menjauhi prinsip belok *Ackerman*.
4. Perubahan panjang *upper arm* mempengaruhi besar sudut *camber* pada roda. Dihadirkan panjang *upper arm* sebesar 457.5 mm dengan *sudut camber* $\pm 0,6^\circ$ yang sesuai dengan teori. Semakin panjang *upper arm* semakin kecil sudut *camber* yang dihadirkan.

5.2. Saran

Saran yang bisa diajukan setelah pengerjaan tugas akhir kali ini adalah:

1. Perlu dilakukan simulasi dan analisa pada kondisi yang lebih *detail* ketika kendaraan berbelok sekaligus memperhitungkan sudut *tilting*

2. Perancangan sistem kemudi sebaiknya dilakukan bersamaan dengan perancangan komponen kendaraan agar menghasilkan perancangan yang semakin optimal.

Daftar Pustaka

- [1] Asimow, I.Morris. (1963). *Introduction to Design*. New Jersey: Prentice-Hall.
- [2] Atasharazm,Reza. (2015). *Topology Based Optimization of Suspension and Steering Mechanisms of Automobiles*, PhD thesis, University of Waterloo, Ontario, Canada.
- [3] *BRP Patent*. 2 April 2016. <http://www.brp.com/en-ca/company/history>.
- [4] Dixon, John C. (2009). *Suspension Geometry and Computation*. United Kingdom : J.Wiley.
- [5] *General MotorLean Machine*. 2 April 2016. <http://www.3wheelers.com/gmlean.html>.
- [6] *History of Daihatsu Motor Company*. 27 April 2016. <http://www.daihatsu.lk/>.
- [7] Jazar, Reza N. (2009). *Vehicle Dynamics: Theory and Applications*. New York: Springer.
- [8] Lajqi, Shpetim., Pehan, Stanislav. (2013). *Design of Independent Suspension Mechanism for a Terrain Vehicle with Four Wheels Drive and Four Wheels Steering*. *International Journal of Engineering*, ISSN 1584-2665
- [9] Liang, Jihui., Xin, Lili. (2012). *Simulation Analysis and Optimization Design of Fron Suspension Base on ADAMS*. *MECHANIKA* ISSN 1392-1207, Vol.18, No.3, 337-340.
- [10] Milliken,F. William & Milliken, L.Douglas.(1995). *Race Car Vehicle Dynamics*. Warrendale: SAE.
- [11] Patodi,Palash., Saxena, Vinay. & Rathore ,Yogesh. (2014). *Review on Tadpole Design*. *IJRAME* 2321-3051, Vol.2, No. 3, 122-128.
- [12] *Perkembangan Jumlah Kendaraan bermotor*. 5 April 2016.<http://www.bps.go.id/linkTabelStatIs/view/id/1413>.
- [13] S, -J. Park and J, -H. Sohn. (2011). *Effects of Camber Angle Control of Front Suspension on Vehicle Dynamic Behaviours*. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 26, 307-313.
- [14]*Tilting Wheel Vehicled*. 2 April 2016. <http://www.google.ch>.

/patents/US895940.

[15] *Toyota Global Site.* 2 April 2016. <http://www.toyota-global.com/showroom/>.

BIODATA PENULIS



Idestrian Adzanta dilahirkan di Jakarta, 19 Desember 1993 anak yang terlahir dari orangtua terbaik bernama Muslichin Muksin dan Dwisasi Saptowati. Riwayat pendidikan penulis diawali di SDN Sokanegara 1 pada tahun 2000-2006. Penulis melanjutkan pendidikannya di SMPN 8 Purwokerto pada tahun 2006-2009 kemudian melanjutkan pendidikannya di SMAN 1 Purwokerto pada tahun 2009-2012. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan jenjang S-1 Jurusan Teknik Mesin di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya pada tahun 2012-2016.

Penulis aktif dalam kegiatan akademik maupun organisasi selama perkuliahan. Dalam kegiatan akademik penulis pernah mendapatkan penghargaan *M-Award* dengan peningkatan prestasi terbaik. Dalam organisasi kemahasiswaan, penulis aktif menjadi staff internal Mesin Music Club dan staff Kesma BEM ITS pada tahun 2013-2014. Dilanjutkan menjadi staff ahli eksternal Mesin Music Club dan Dirjen Pelayanan Kesma BEM ITS pada tahun 2014-2015. Selain itu, penulis pernah menjadi koordinator dalam beberapa acara baik di dalam lingkup jurusan maupun institut. Penulis memiliki hobi *traveling*, bermain musik dan olahraga futsal.

Motto hidup penulis “sebaik-baiknya manusia adalah yang bermanfaat bagi orang lain” menjadikan penulis lebih menghargai orang lain. Untuk semua informasi dan masukan terkait tugas akhir ini dapat menghubungi penulis melalui email idestrian@yahoo.co.id.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)