

**PERBAIKAN DESAIN *TURNING RADIUS* MELALUI  
LENGAN *KNUCKLE* SISTEM KEMUDI *ACKERMANN*  
PADA KENDARAAN HEMAT ENERGI TIGA RODA  
FATAHILLAH UNJ**



**AHMAD JAUHARY**

**5315116433**

Skripsi Ini Ditulis Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Dalam Mendapatkan  
Gelar Sarjana Pendidikan

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA**

**2017**

HALAMAN PENGESAHAN

NAMA DOSEN

Drs. Sirojuddin, M.T.  
NIP. 196010271990031003  
(Dosen Pembimbing I)

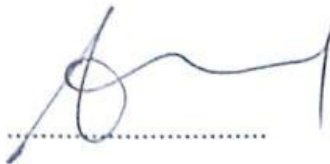
TANDA TANGAN

  
.....

TANGGAL

2/08/17  
.....


Ahmad Kholil, S.T., M.T.  
NIP. 197908312005011001  
(Dosen Pembimbing II)

  
.....

30/08/2017.  
.....

PENGESAHAN PANITIA UJIAN SKRIPSI

Dr. Riza Wirawan, M.T.  
NIP. 197804112005011003  
(Ketua Penguji)

  
.....

28/8 2017  
.....

I Wayan Sugita, S.T., M.T.  
NIP. 197911142012121001  
(Sekretaris Penguji)

  
.....

29/8 2017  
.....

Triyono, S.T., M.Eng.  
NIP. 197508162009121001  
(Dosen Ahli)

  
.....

28/8 2017  
.....

Mengetahui,

Ketua Program Studi S1

Teknik Mesin - UNJ



  
Ahmad Kholil, S.T., M.T  
NIP. 197908312005011001

## HALAMAN PERNYATAAN

Nama : Ahmad Jauhary  
Nomor Registrasi : 5315116433  
Program studi : Pendidikan Teknik Mesin  
Jurusan : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Universitas : Universitas Negeri Jakarta

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa penulisan skripsi yang saya buat ini adalah benar hasil karya sendiri dan bukan salinan dari karya orang lain, kecuali beberapa kutipan yang telah disebutkan sumbernya.

Jakarta, Agustus 2017



Ahmad Jauhary

## KATA PENGANTAR

Puji Syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmatnya sehingga penulis berkesempatan untuk menyelesaikan penelitian berjudul “PERBAIKAN DESAIN LENGAN *KNUCKLE* SISTEM KEMUDI *ACKERMANN* UNTUK MEMPEROLEH *TURNING RADIUS* YANG BERPUSAT SATU TITIK PADA KENDARAAN HEMAT ENERGI TIGA RODA FATAHILLAH UNJ”. Penelitian ini tidak mungkin selesai tanpa bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak, oleh sebab itu dengan rasa hormat penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT, yang telah memberikan segala karunia-Nya dan kedua orang tua penulis yang selalu memberikan dukungan secara moril maupun materil.
2. Bapak Ahmad Kholil, S.T. M.T., selaku Ketua Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta.
3. Bapak Drs. Sirojuddin, M.T. selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak memberikan motivasi, saran, dan bimbingan kepada penulis.
4. Bapak. Ahmad Kholil S.T, M.T., selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing dan mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Dr. Riza Wirawan, S.T., M.T. selaku Pembimbing Akademik.
6. Keluarga Besar Bapak Alm. H. Ahmad Kazruny dan Hj. Siti Salmah yang selalu mendukung dan memberi semangat.
7. Alumni, rekan, dan keluarga Batavia Team yang selalu membantu dan memberi semangat
8. Teman teman seperjuangan mahasiswa Pendidikan Teknik Mesin, NR 2011 yang telah memberikan dukungan dan motivasi kepada penulis.
9. Dan seluruh pihak lain yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian serta dalam penyusunan skripsi ini, yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan, baik dalam sistematika penulisan maupun dalam isi materinya. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca, untuk penyempurnakan penulisan proposal ini dimasa yang akan datang.

Akhir kata, penulis berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Penulis berharap skripsi ini dapat berguna dan membawa manfaat bagi semua orang.

Jakarta, Juli 2017

Ahmad Jauhary

## ABSTRAK

**AHMAD JAUHARY**, Perbaikan Desain Turning Radius Melalui Lengan Knuckle Sistem Kemudi Ackermann pada Kendaraan Hemat Energi Tiga Roda Fatahillah UNJ., Skripsi, Jakarta : Agustus 2017.

Tujuan penelitian ini adalah untuk memperbaiki dan mendesain lengan *knuckle Ackermann* yang bertumpu pada pusat titik belok pada kendaraan mobil hemat energi Fatahillah, Universitas Negeri Jakarta.. Sehingga melalui penelitian ini sistem kemudi menjadi lebih ringan dan keausan tiap ban menjadi lebih merata.

Metode yang dilakukan dengan menimbang berat masing-masing roda dari kendaraan guna mendapatkan data-data yang akan digunakan dalam perhitungan. Kemudian perhitungan dan analisa dari gaya –gaya yang mempengaruhi kendaraan dapat dihitung menggunakan *Microsoft Excel*, penggambaran diagram benda bebas kendaraan menggunakan *AutoCAD*, dan penggambaran kendaraan dalam bentuk 3D menggunakan *Autodesk Inventor Professional 2015*. Perancangan sudut lengan *knuckle* berdasarkan regulasi teknis KMHE 2016 yaitu radius 6 meter. Kemudian mobil dilakukan pengujian lapangan untuk melihat apakah hasilnya sudah sesuai dengan desain atau belum

Hasil dari perbaikan desain tersebut diperoleh hasil *turning radius* dari beberapa *turning radius* yaitu, 5.5 meter, 6 meter, 7 meter dan 8 meter. Untuk hasil *turning radius* rata – rata 5,5 meter diperoleh hasil 5,53 meter, untuk radius 6 meter diperoleh hasil 5,95 meter, untuk radius 7 meter diperoleh hasil 6,87 meter dan untuk radius 8 meter diperoleh hasil 7,91 meter. Diharapkan desain dan rumus mencari sudut lengan *knuckle* sistem kemudi *Ackermann* bermanfaat pada event Kontes Mobil Hemat Energi.

Kata kunci : Perbaikan desain, lengan knuckle, sistem kemudi *ackermann*, kontes mobil hemat energi, mobil hemat energi Fatahillah

## **ABSTRACT**

**AHMAD JAUHARY**, *Improvement Design of Turning Radius Through Knuckle Arm Ackermann Steering Sysytem on Three Wheels Energy-Saving Vehicle Fatahillah UNJ., Skripsi, Jakarta : August 2017.*

*The purpose of this research is to improve and design the Ackermann knuckle arm which is centered on the turning point of Fatahillah energy-saving car, State University of Jakarta. So through this research the steering system becomes lighter and the aus of each tire becomes more distributed.*

*The method is by weighing the weight of each wheel of the vehicle to get the data that to be used in the calculation. Then the calculation and analysis of the influencing forces of the vehicle can be calculated using Microsoft Excel, the drawing of the vehicle free object diagram using AutoCAD, and the drawing of the vehicle in 3D using Autodesk Inventor Professional 2015. The design of knuckle angle is based on KMHE 2016 technical regulations that is 6 meters . Then the car tested to see whether the results are in accordance with the design or not*

*The results of these design improvements obtained turning radius results from several turning radius ie, 5.5 meters, 6 meters, 7 meters and 8 meters. For the results of turning the average radius 5.5 meters obtained results 5.53 meters, for a radius of 6 meters obtained results of 5.95 meters, for a radius of 7 meters obtained results 6.87 meters and for a radius of 8 meters obtained results of 7.91 meters . Expected designs and formulas looking for the knuckle angle of the steering wheel Ackermann useful in the event Energy-Saving Car Contest.*

*Keywords : Improvement design, knuckle arm, Ackermann steering system, Energy-Saving Car Contest, Energy-saving car Fatahillah*

## DAFTAR ISI

<b>COVER</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iv
<b>ABSTRAK</b> .....	vi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	viii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	x
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang . .....	1
1.2. Identifikasi Masalah .....	3
1.3. Pembatasan Masalah. ....	3
1.4. Perumusan Masalah.....	3
1.5. Tujuan Penelitian.....	3
1.6. Manfaat Penelitian.....	4
<b>BAB II. DASAR TEORI</b>	
2.1. Sistem Kemudi Kendaraan .....	5
2.2. Kendaraan Jenis <i>Tadpole/Reverse Trike</i> .....	6
2.3. Kendaraan Jenis <i>Prototype</i> .....	7
2.4. Kinematika Sistem Kemudi.....	8
2.4.1. Mekanisme Sistem Kemudi <i>Ackermann</i> .....	9
2.4.2 Analisa Sistem <i>Ackermann Geometry Steering</i> .....	11
2.4.3 Perancangan Sudut <i>Knuckle Arm</i> Kendaraan .....	12



2.5. Titik Berat Kendaraan .....	13
2.6. Teori Dasar Kendaraan.....	15
<b>BAB III. METODE PENELITIAN</b>	
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian .....	17
3.1.1. Tempat Pelaksanaan Penelitian .....	17
3.1.2. Waktu Penelitian .....	17
3.2. Alat dan Bahan Penelitian .....	17
3.2.1. Program Perancangan dan Desain .....	17
3.2.2. Alat Ukur.....	18
3.3. Diagram Alir Penelitian .....	19
3.4. Teknik Pengumpulan Data .....	21
3.4.1. Penimbangan Berat Total Kendaraan.....	21
3.4.2. Posisi Titik Berat Kendaraan Sumbu x .....	24
3.4.3. Posisi Titik Berat Kendaraan Sumbu y .....	25
3.4.4. Posisi Titik Berat Kendaraan Sumbu z .....	26
3.5. Analisa Desain Sistem Kemudi <i>Ackermann Geometry</i> .....	27
3.6. Pengujian Kendaraan.....	30
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN</b>	
4.1. Model Kendaraan .....	32
4.2. Hasil Pengukuran pada Kendaraan.....	33
4.3. Perancangan Sudut Lengan <i>Knuckle</i> Sistem Kemudi .....	34
4.3.1. Perbaikan Sudut Lengan <i>Knuckle</i> Sistem Kemudi.....	32
4.4. Perbaikan Desain <i>Knuckle</i> Sistem Kemudi .....	40
4.5. Hasil Perancangan Sudut Lengan <i>Knuckle</i> Sistem Kemudi.....	43
4.6. Hasil Pengujian <i>Turning Radius</i> Kendaraan .....	45

**BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1. Kesimpulan..... 51

5.2. Saran..... 52

**DAFTAR PUSTAKA ..... 53**

**LAMPIRAN 1..... 54**

**LAMPIRAN 2..... 56**

**LAMPIRAN 3..... 57**

**LAMPIRAN 4 ..... 59**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Jenis Kendaraan Roda Tiga <i>Reverse Trike</i> .....	7
Gambar 2.2	Kendaraan Jenis Prototipe .....	8
Gambar 2.3	Kinematika Belok Kendaraan .....	8
Gambar 2.4	<i>Free Body Diagram</i> Sistem Kemudi <i>Ackermann</i> .....	10
Gambar 2.5	<i>Proof Steering Dynamic</i> .....	11
Gambar 2.6	<i>Layout</i> Slalom dan Aren Akselerasi Kendaraan Pada Saat Inspeksi Kendaraan.....	12
Gambar 2.7	Penimbangan pada Poros Roda Depan dan Belakang .....	14
Gambar 2.8	Penimbangan Roda Depan dengan Roda Belakang Diangkat	14
Gambar 3.1	<i>Flowchart</i> Penelitian.....	19
Gambar 3.2	Menimbang Berat Roda Kiri Kendaraan .....	22
Gambar 3.3	Menimbang Berat Roda Kanan Kendaraan .....	22
Gambar 3.4	Menimbang Berat Roda Belakang Kendaraan .....	23
Gambar 3.5	Pandangan Atas Kendaraan Terhadap Ukuran Panjang dan Lebar Kendaraan.....	24
Gambar 3.6	Pandangan Depan Kendaraan Terhadap Posisi Titik Berat Sumbu x <i>Free Body Diagram</i> Kendaraan .....	25
Gambar 3.7	Pandangan Atas Kendaraan Terhadap Posisi Titik Berat Sumbu x dan Sumbu y .....	26
Gambar 3.8	Posisi Penimbangan Roda Belakang Untuk Mengetahui Sumbu z.....	26
Gambar 3.9	Penimbangan Mencari Titik Berat Terhadap Sumbu z.....	27
Gambar 3.10	<i>Free Body Diagram</i> Kendaraan Berbelok .....	28
Gambar 3.11	<i>Free Body Diagram</i> Kemudi <i>Ackermann</i> .....	28

Gambar 3.12	Trigonometri pada <i>Free Body Diagram</i> Kemudi <i>Ackermann</i> Ketika Lurus .....	29
Gambar 3.13	Trigonometri pada <i>Free Body Diagram</i> Kemudi <i>Ackermann</i> Ketika Berbelok di Sudut Luar .....	29
Gambar 3.14	Trigonometri pada <i>Free Body Diagram</i> Kemudi <i>Ackermann</i> Ketika Berbelok di Sudut Dalam .....	30
Gambar 3.15	Alat – Alat Pengujian Kendaraan .....	31
Gambar 3.16	Skema Pengujian Belok Kendaraan.....	31
Gambar 4.1.	<i>Freebody Diagram</i> dari Kendaraan 3 Roda.....	32
Gambar 4.2	Letak Titik Berat Kendaraan dengan Pengemudi .....	33
Gambar 4.3.	Diagram Bebas Kendaraan Saat Berbelok.....	34
Gambar 4.4.	Perbandingan Sudut Belok pada Radius 5.5, 6, 7 dan 8 Meter .....	35
Gambar 4.5	Perbandingan Sudut Belok Luar dan Dalam <i>Knuckle</i> Roda	35
Gambar 4.6	Grafik Perbandingan Nilai Sudut Belok Dalam dan Luar Kendaraan.....	37
Gambar 4.7	Grafik Perbandingan Nilai Sudut Lengan <i>Knuckle</i> Sistem Kemudi Kendaraan dalam Satuan Derajat.....	40
Gambar 4.8	Desain 3 Dimensi <i>Knuckle</i> Kendaraan Hemat Energi .....	41
Gambar 4.9	Desain 2 Dimensi Diagram Bebas Sasis Kendaraan Hemat Energi.....	41
Gambar 4.10	Diagram Bebas Sasis Kendaraan dengan Kemudi Berbelok Radius 6 Meter dan Dengan Model <i>Leading Link</i> .....	42
Gambar 4.11	Desain 2 Dimensi <i>Knuckle Pitman Arm</i> Kanan.....	42
Gambar 4.12	Desain 2 Dimensi <i>Knuckle Pitman Arm</i> Kiri.....	42
Gambar 4.13	Pengelasan Lengan <i>Pitman</i> ke <i>Knuckle</i> Roda .....	43
Gambar 4.14	Proses <i>Assembly</i> Komponen <i>Spindle Arm</i> , <i>Spindle Cradle</i> ,	

	<i>Knuckle</i> dan Roda .....	43
Gambar 4.15	Hasil Desain Perancangan Perbaikan Lengan <i>Knuckle</i> Sistem Kemudi Kendaraan Hemat Energi.....	44
Gambar 4.16	<i>Layout</i> Slalom pada Inspeksi Kontes Mobil Hemat Energi.	45
Gambar 4.17	<i>Layout</i> pada Inspeksi Kontes Mobil Hemat Energi.....	45
Gambar 4.18	Pengujian <i>Turning Radius</i> Kendaraan .....	46
Gambar 4.19	Pengukuran Hasil Pengujian <i>Turning Radius</i> Kendaraan ...	46
Gambar 4.20	Pengujian <i>Outer Turning Radius Radius</i> Kendaraan.....	47
Gambar 4.21	Diagram Bebas Kendaraan Berbelok.....	47
Gambar 4.22	Pengujian Selisih Sudut belok Terhadap Pusat Belok.....	49
Gambar 4.23	Diagram Bebas Selisih Sudut Belok Terhadap Pusat Belok	49

**DAFTAR TABEL**

Tabel 4.1	Hasil Pengukuran Sudut Belok Luar dan Dalam pada Variabel Radius Belok di Program <i>AutoCad</i> .....	36
Tabel 4.2	Hasil Perhitungan Sudut Belok Luar dan Dalam pada Variabel Radius Belok.....	39
Tabel 4.3	Hasil Pengujian <i>Turning Radius</i> Kendaraan.....	47
Tabel 4.4	Hasil Pengujian Selisih Sudut Belok terhadap Pusat Belok	48

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Sistem kemudi pada kendaraan termasuk bagian yang sangat penting. Ada berbagai model sistem kemudi yang umum saat ini, yaitu *pitman arm steering*, *bell crank steering*, *rack and pinion*, dan model *recirculating ball*. Model *pitman arm steering* dan *bell crank steering* banyak digunakan pada kendaraan sederhana, ringan dan biaya yang tidak mahal.

Pada tahun 2012 hingga sekarang, telah diadakan beberapa lomba kontes mobil hemat energi. Karena itu, setiap kampus berlomba – lomba untuk membuat mobil hemat energi yang bertujuan untuk mendapatkan riset yang tepat untuk kedepannya. Mobil hemat energi yang dibangun oleh mahasiswa dibuat pertimbangan aspek bobot kendaraan yang ringan, *handling* yang mumpuni dan efisiensi mesin.

Semua kendaraan yang dibuat oleh peserta harus melewati beberapa tahap inspeksi sebagai persyaratan mengikuti lomba, jika mobil yang inspeksi tidak memenuhi standar yang diberlakukan oleh shell maka mobil tersebut tidak akan diijinkan mobil akan diinspeksi harus sesuai dengan regulasi yang telah diberikan, seperti dimensi, kekuatan as, radius putar, pengereman, sabuk pengaman, akses kendaraan, dan alat penunjang keselamatan pengendara. Pengujian radius belok merupakan salah satu pengujian yang diadakan untuk mendukung *handling* mobil hemat energi dalam melakukan *race* di lintasan. Tujuan dilaksanakan pengujian radius

belok untuk memastikan bahwa kendaraan hemat energi tersebut sudah sesuai lebar dan tikungan lintasan.

Universitas Negeri Jakarta sebagai salah satu perguruan tinggi negeri terbesar di Jakarta ikut berpartisipasi dalam perlombaan Kontes Mobil Hemat Energi, yang dimulai pada tahun 2013 diselenggarakan di Surabaya sampai pada tahun 2016 di Jogjakarta. Dalam perlombaan ini team dari Universitas Negeri Jakarta ditantang untuk mendesain *prototype* kendaraan hemat energi dengan tiga roda yang berbahan bakar bensin dengan kadar oktan 95. Sistem kemudi untuk kendaraan hemat energi tersebut menggunakan prinsip Ackermann yang menyatakan bahwa pusat belok dan garis lurus dari poros roda belakang bertemu pada satu titik.

## 1.2. Identifikasi Masalah

Berdasarkan dari penjabaran latar belakang masalah diatas, maka dapat diidentifikasi masalah – masalah sebagai berikut :

- 1) Bagaimanakah desain sistem kemudi kendaraan hemat energi yang sesuai dengan prinsip Ackermann ?
- 2) Apakah perancangan sistem kemudi kendaraan hemat energi menghasilkan sudut belok yang baik sesuai dengan perhitungan ?
- 3) Berapakah besar sudut lengan *knuckle* Ackermann yang sesuai untuk radius belok 6 meter ?
- 4) Berapakah sudut belok dalam dan luar mobil hemat energi untuk radius belok 6 meter ?



### 1.3. Pembatasan Masalah

Untuk memudahkan penelitian dan tidak terjadi pelebaran masalah maka penulis membatasi masalah sebagai berikut :

- 1) Perancangan sistem kemudi pada kendaraan menggunakan cara kerja sistem kemudi *pitman arm steering* dengan model *leading link*
- 2) Perhitungan sudut Ackermann untuk radius belok 6 meter pada kecepatan yang sangat rendah
- 3) Perhitungan sudut belok dalam dan luar mobil hemat energi untuk radius belok 6 meter

### 1.4. Perumusan masalah

Dilihat dari identifikasi dan pembatasan masalah, maka peneliti memberi judul dalam penelitian ini adalah “Perbaikan Desain *Turning Radius* Melalui Lengan *Knuckle* Sistem Kemudi *Ackermann* Pada Kendaraan Hemat energi Tiga Roda Fatahillah UNJ”.

### 1.5. Tujuan Penelitian

Tujuan utama penelitian ini adalah:

- 1) Untuk memperbaiki titik radius belok kendaraan.
- 2) Untuk memperbaiki desain sistem kemudi dari kendaraan prototipe.
- 3) Untuk mendapatkan sudut belok tiap roda yang ideal pada radius belok tertentu.

## **1.6. Manfaat Penelitian**

Hasil penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi masyarakat pada umumnya, antara lain :

- 1) Bagi penulis, proses dan hasil penelitian merupakan pengetahuan yang sangat bermanfaat untuk berpikir secara ilmiah, lebih memahami tidak hanya berdasarkan teori tetapi juga hasil selama penelitian.
- 2) Bagi masyarakat, hasil penelitian diharapkan dapat bermanfaat untuk mengetahui cara membuat sistem kemudi sederhana serta terjangkau.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Sistem Kemudi Kendaraan**

Sistem kemudi suatu kendaraan dimaksudkan untuk mengendalikan arah gerakan kendaraan. Suatu sistem kemudi dikatakan ideal untuk suatu kendaraan jika ia mempunyai sifat – sifat :

1. Dapat digunakan sebagai pengendali arah kendaraan untuk segala kondisi, segala jenis belokan, dan segala kecepatan.
2. Dapat menjamin serta menjaga stabilitas arah kendaraan pada segala jenis gerakan belok dan pada segala kecepatan
3. Tidak membutuhkan tenaga yang besar dari pengemudi untuk menggerakkan roda kemudi dalam mengendalikan arah gerak kendaraan
4. Tidak membahayakan pengemudi jika terjadi kecelakaan pada kendaraan.

Sistem kemudi yang dipakai pada kendaraan jika ditinjau dari tenaga yang digunakan untuk membelokkan roda kemudi, dapat dibedakan menjadi:

##### *1) Manual Steering*

Pada kemudi ini, semua tenaga yang dibutuhkan untuk membelokkan roda datang dari lingkaran kemudi yang diputar oleh tenaga dari pengemudi

## 2) *Power Steering*

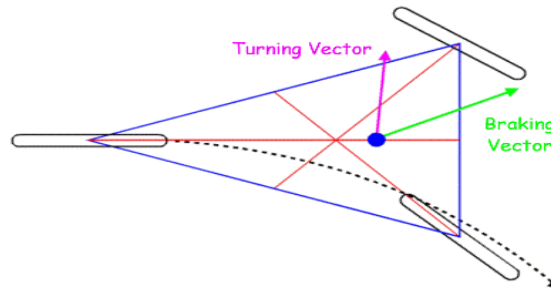
Pada sistem kemudi ini tenaga untuk membelokkan datang dari tenaga hidrolik atau elektrik, tidak datang dari tenaga pengemudi. Putaran lingkaran kemudi oleh pengemudi hanya merupakan sinyal bagi sistem tenaga bagi sistem kemudi.

Ditinjau dari jumlah roda yang berbelok saat lingkaran kemudi diputar, sistem kemudi dapat dibedakan menjadi :

- a) Sistem kemudi 2 roda, yaitu sistem kemudi yang hanya menggunakan belokan 2 roda (umumnya roda depan) untuk mengendalikan arah gerakan kendaraan.
- b) Sistem kemudi 4 roda, yaitu sistem kemudi yang menggunakan belokan keempat roda untuk mengendalikan arah gerakan. Belokan roda depan berfungsi sebagai pemberi arah sedangkan belokan roda belakang berfungsi sebagai pengendali arah dari gerakan roda.

## **2.2. Kendaraan Jenis *Tadpole/Reverse Trike***

Kendaraan transportasi saat ini telah banyak dikembangkan menurut jenis dan fungsinya. Beberapa pengembang ternama seperti BMW, Volkswagen, Peugeot, maupun Mazda Automobile telah mengembangkan dan memasarkan banyak varian kendaraan roda tiga. *Tadpole/Reverse Trike* merupakan jenis desain kendaraan roda tiga yang memiliki 2 roda didepan dan 1 roda dibelakang. Konfigurasi *Reverse Trike* ditunjukkan pada gambar berikut

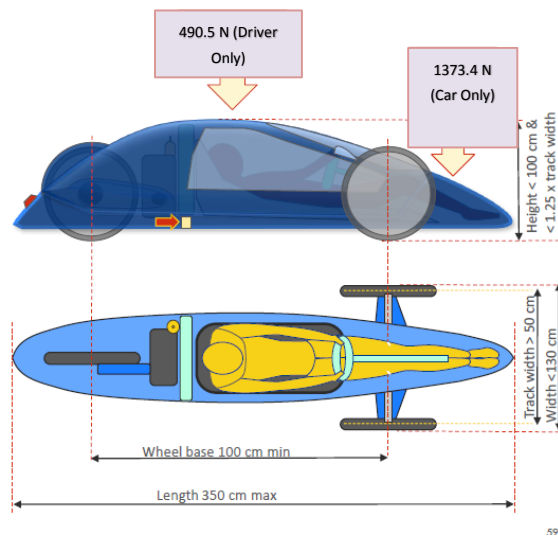


**Gambar 2.1. Jenis Kendaraan Roda Tiga *Reverse Trike* (Thomas, 2007)**

Kelebihan *Reverse Trike* adalah desainnya yang menyerupai tetesan air (*Teardrop*), lebar dan distribusi beban menumpu pada bodi depan kendaraan. Kondisi ini memudahkan aliran aerodinamik mengalir melewati bodi kendaraan, dan Posisi CG pada *Reverse Trike* terletak lebih depan, sehingga *Reverse Trike* memiliki *traction*, *turning*, dan *braking* yang lebih stabil. (George, 2009)

### 2.3. Kendaraan Jenis *Prototype*

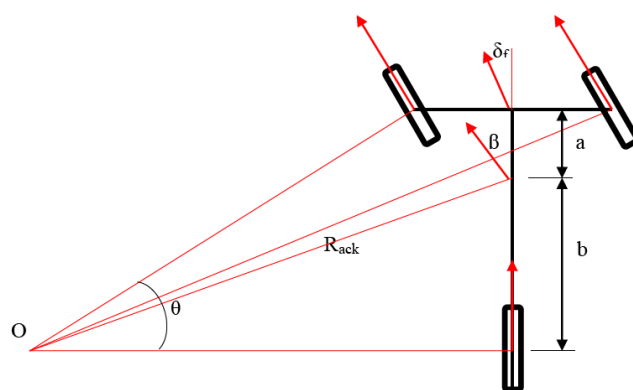
Adalah kendaraan yang menuntut bentuk paling aerodinamis dan paling hemat bahan bakar dengan jumlah roda sebanyak 3 buah. Hampir menyerupai kendaraan jenis *Reverse Trike* kendaraan ini menggunakan 2 buah roda depan sebagai pengarah kendaraan, dan roda belakang sebagai penggerak utama. Terutama untuk kendaraan dalam perlombaan *Shell Eco-Marathon*, mempunyai tinggi maksimal 100 sentimeter, lebar maksimal 130 sentimeter, panjang maksimal 350 sentimeter, berat maksimal tanpa pengemudi 140 kilogram, trackwidth kendaraan minimal 50 cm , diukur antara titik-titik tengah di mana ban terluar menyentuh tanah (Koch, 2016: 20).



**Gambar 2.2. Kendaraan Jenis Prototipe**

#### 2.4. Kinematika Sistem Kemudi

Berdasarkan sistem kemudi roda depan pada kendaraan yang membelokkan roda kearah kiri seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3. Ketika kendaraan bergerak secara perlahan, terdapat kondisi ideal antara roda bagian dalam dan luar yang menyebabkan roda – roda tersebut untuk berbelok secara bebas atau tergelincir. Kondisi ini disebut dengan kondisi *Ackermann*.



**Gambar 2.3 Kinematika Belok Kendaraan Tiga Roda**

Keterangan :

- O = Pusat sumbu putar
- $R_{ack}$  = Radius belok *Ackerman*
- $\theta$  = Sudut belok ideal
- $\beta$  = Sudut *Side Slip* kendaraan
- $\delta_f$  = Sudut *Steer* rata – rata roda depan

Untuk kondisi ideal (secara geometris dan pendekatan) besarnya radius belok dapat dihitung menggunakan persamaan

$$R_{ack} = \frac{a+b}{\delta_f} 57.29 \dots\dots\dots(2.1)$$

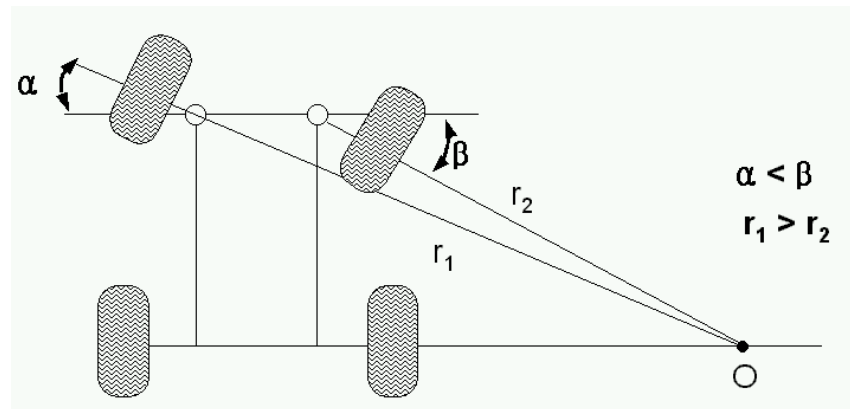
Dimana :

- $R_{ack}$  = Radius panjang *Ackerman* (derajat)
- a, b = Panjang *Wheelbase* (m)
- $\delta_f$  = Sudut belok (derajat)

#### 2.4.1. Mekanisme Sistem Kemudi *Ackermann*

*Ackermann Steering Geometry* adalah pengaturan geometris hubungan di kemudi mobil atau kendaraan lain yang dirancang untuk memecahkan masalah roda di bagian dalam dan luar saat kendaraan berbelok. Hal ini ditemukan oleh pembuat kereta asal Jerman, Georg Lankensperger di Munich pada tahun 1817, kemudian dipatenkan oleh agennya di Inggris, Rudolph Ackermann (1764-1834) pada tahun 1818 untuk kereta kuda.

Jika sudut kemudi kiri dan kanan adalah sama, maka akan mempunyai radius belokan yang sama, tapi tiap roda akan berbelok dengan pusat yang berbeda. Belokan yang halus akan memungkinkan karena adanya slip samping dari roda. Hasilnya, meskipun tekanan udara pada masing – masing roda sama, roda akan jalan tidak semestinya.



**Gambar 2.4 Free Body Diagram Sistem Kemudi Ackermann 4 Roda**

Untuk alasan tersebut roda depan pada sisi bagian dalam harus diarahkan dengan sudut yang lebih tajam dibandingkan roda depan bagian luar. Hal ini disebut dengan efek Ackermann. (Anonim, 2005:23). Tujuan dari *Ackermann Geometry* adalah untuk menghindari ban tergelicir ke samping ketika mengikuti jalan di sekitar kurva. Dan solusi geometris untuk ini adalah semua roda dikonfigurasi agar poros roda diatur sebagai jari – jari lingkaran dengan titik pusat umum di satu titik.

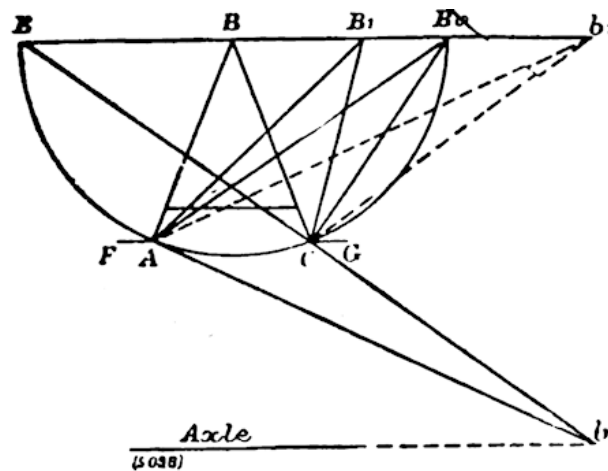
Mobil modern tidak menggunakan *Ackermann Geometry* murni, sebagian karena mengabaikan efek dinamis dan efek



pemenuhan, tetapi prinsipnya adalah untuk manuver kecepatan rendah. Beberapa mobil balap menggunakan *Ackermann Geometry* terbalik untuk mengkompensasi perbedaan besar dalam sudut slip antara ban depan bagian dalam dan luar saat menikung dengan kecepatan tinggi. Dalam pengaplikasian geometri *Ackermann*, ada beberapa sistem yang mendukung geometri tersebut. Diantaranya *Trapezoidal Steering Mechanism*, *Rack and Pinion*, *Bell Crank Steering*, dll.

#### 2.4.2. Analisa sistem *Ackerman Geometry Steering*.

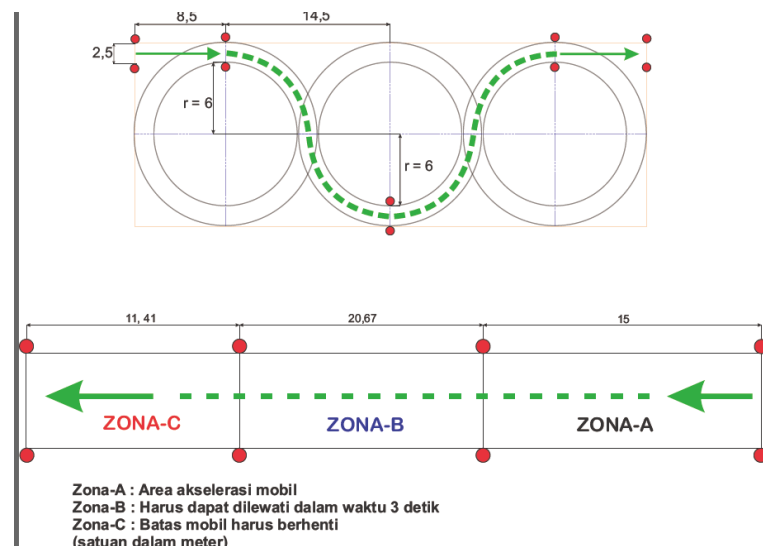
Dalam membuat sudut stir yang berkaitan dengan prinsip geometri *Ackermann*, beberapa teori sudah ada diantaranya menurut diagram *Jeantaud*. Dari diagram ini menggunakan prinsip mudah dengan menarik sumbu dari kedua roda depan ke pusat poros roda belakang. Namun diagram tersebut kurang sempurna untuk beberapa sudut belok sehingga dibuat rumus menggunakan persamaan Trigonometri yang disebut sebagai *Enhanced Jeantaud Diagram*.



Gambar 2.5 *Proof Steering Dynamic* (Nehmo Serghyev, 2004)

### 2.4.3. Perancangan Sudut *Knuckle Arm* Kendaraan

Dalam membuat sudut belok yang ideal pada kendaraan maka dibutuhkan sudut lengan *Knuckle* yang cocok untuk suatu sudut belok. Menurut regulasi teknis Kontes Mobil Hemat Energi 2016 pasal 38 tentang radius putar, disebutkan bahwa radius belok kendaraan sekurang – kurangnya 6 meter agar bisa menikung pada lintasan dan dapat digunakan untuk mendahului kendaraan lain dengan aman. (Anonim, 2016: 33). Maka merujuk dari regulasi teknis tersebut desain sudut *knuckle* sistem kemudi harus dapat mendukung radius putar 6 meter. Hal ini didesain untuk mengakomodir driver dalam melakukan handling yang baik di lintasan.



**Gambar 2.6 Layout Slalom dan Area Akselerasi Kendaraan Pada Saat Inspeksi Kendaraan**

## 2.5. Titik Berat Kendaraan

Posisi titik berat memegang peranan penting dalam analisa dinamika kendaraan, ada beberapa cara untuk mengukur posisi titik berat. Salah satu cara yaitu dengan memakai peralatan yang cukup sederhana, yaitu timbangan dan dongkrak. Posisi titik berat terhadap poros depan (a) dan terhadap poros belakang (b) serta tinggi titik berat dari permukaan jalan (h). Pengukuran (a) dan (b) dilakukan dengan menimbang bagian depan dan bagian belakang kendaraan pada posisi horizontal, seperti ditunjukkan pada gambar 2.6. Jika pada saat menimbang poros depan didapat hasil penimbangan  $W_f$  dan penimbangan poros belakang didapat hasil  $W_r$ , maka berat total kendaraan didapat:

$$W_t = W_f + W_r = W \dots\dots\dots(2.10)$$

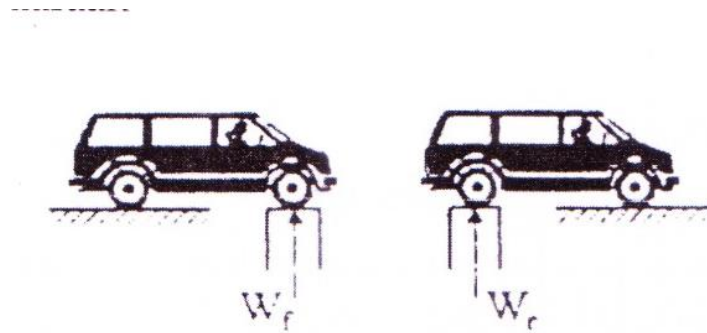
Dengan memakai hasil penimbangan tersebut dan menerapkan konsep statika maka didapat:

$$a = \frac{(a+b)W_r}{W_f+W_r} \dots\dots\dots(2.11)$$

$$b = \frac{(a+b)W_f}{W_f+W_r} \dots\dots\dots(2.12)$$

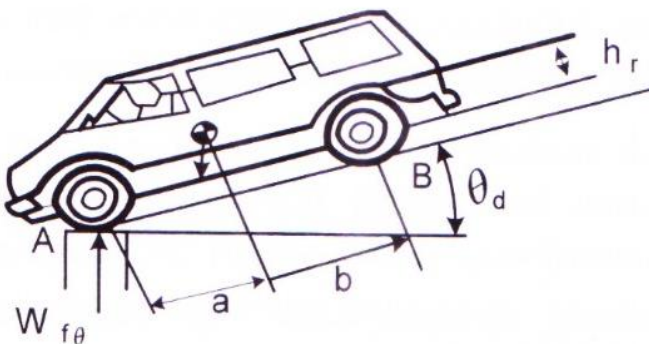
Dimana:

$a + b = L$  adalah wheelbase yaitu jarak antara poros depan/belakang kendaraan



**Gambar 2.7. Penimbangan pada Poros Roda Depan dan Belakang (Sutantra, 2010:88)**

Setelah jarak dari pusat berat terhadap poros depan (a) dan jarak pusat berat terhadap poros belakang (b) didapat maka kemudian dapat dicari tinggi titik pusat berat dari kendaraan. Untuk mencari tinggi pusat berat kendaraan, pada roda depan atau roda belakang dapat ditopang dengan timbangan dan roda yang lain didongkrak hingga membentuk sudut ( $\theta$ ) seperti pada gambar 2.7. Jika dimungkinkan pada saat mendongkrak, suspensi kendaraan dikunci supaya sudut ( $\theta$ ) tidak begitu besar, sehingga bodi kendaraan tidak menukik.



**Gambar 2.8. Penimbangan Roda Depan dengan Roda Belakang diangkat (Sutantra, 2010: 88)**

Mengacu pada gambar 2.7 dan dengan mengambil momen dari titik B maka didapat:

$$h_r = \frac{[W_{f\theta}(a+b) - W \cdot b]}{W \tan(\theta_d)} \dots\dots\dots (2.13)$$

Tinggi titik pusat kendaraan kemudian dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$h = r + h_r = r + \frac{[W_{f\theta}(a+b) - W \cdot b]}{W \tan(\theta_d)} \dots\dots\dots (2.14)$$

dimana:

$W_{f\theta}$  = hasil penimbangan roda depan

$r$  = Jari-jari roda depan

Jika timbangan yang dipakai sekaligus dapat menaikan roda belakang dan dipasang langsung menopang roda belakang, dimana  $W_{f\theta}$  adalah hasil penimbangan roda belakang maka dengan mengambil momen di titik A didapat

$$h_r = \frac{[W \cdot a - (a+b) \cdot W_{r\theta}]}{W \tan(\theta_d)} \dots\dots\dots (2.15)$$

$$h = r + \frac{[W \cdot a - (a+b) \cdot W_{r\theta}]}{W \tan(\theta_d)} \dots\dots\dots (2.16)$$

## 2.6. Teori dasar perancangan

Perancangan adalah salah satu proses dimana pembuatan benda yang terlahir dari sebuah ide yang dimiliki perancang. Perancangan merupakan pengaplikasian berbagai macam teknik dan prinsip untuk tujuan pendefinisian secara rinci suatu perangkat, proses atau sistem sehingga dapat direalisasikan dalam suatu bentuk fisik.

Perancangan mempunyai arti menuangkan ide ke dalam suatu gambar atau media apapun sebagai ilustrasi benda yang ingin dibuat, segala bentuk benda jika ingin dibuat secara sempurna haruslah melalui tahap perancangan yang matang. Perancangan menggabungkan antara ide

dengan berbagai kemungkinan seperti material yang digunakan, konstruksi yang akan dibuat, proses produksi yang akan dilakukan dan fungsi dari benda tersebut.

Kegunaan perancangan juga harus memperhitungkan bentuk, warna, tekstur dari suatu benda agar benda terbentuk sempurna dan juga meminimalisir kesalahan yang terjadi. Perancang harus memilih bahan yang sesuai untuk benda yang akan dibuat sesuai dengan apa yang dia kehendaki. Sisi positif dari perancangan ini adalah ide atau inovasi yang tidak terbatas dari perancang, perancang bisa membuat model benda baru, atau mengatur ulang benda baru, atau menyempurnakan benda yang sudah ada menjadi benda baru yang lebih berdaya guna

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Tempat dan Waktu Penelitian**

Berikut adalah tempat dan waktu penelitian :

##### **3.1.1. Tempat Pelaksanaan Penelitian.**

- a) Perhitungan, analisa, dan perbaikan desain kendaraan di laboratorium perancangan Teknik Mesin Universitas Negeri Jakarta.
- b) Pengumpulan data-data yang dibutuhkan dalam perhitungan, analisa, dan perbaikan desain kendaraan di Gedung C Universitas Negeri Jakarta.

##### **3.1.2. Waktu Penelitian.**

Waktu Penelitian dimulai dari bulan Januari 2016 sampai dengan bulan Agustus 2017.

#### **3.2. Alat dan Bahan Penelitian.**

Berikut beberapa instrumen yang digunakan dalam penelitian :

##### **3.2.1. Program Perancangan dan Desain**

- a) *AutoCAD*

Menggambarkan rancangan dalam suatu media 2 dimensi. Serta dapat menentukan ukuran yang dibutuhkan dalam penelitian.

**b) Autodesk Inventor Profesional 2014**

Digunakan untuk menggambarkan rancangan dalam suatu media 3 dimensi. Serta dapat menentukan ukuran yang dibutuhkan dalam penelitian.

**3.2.2. Alat Ukur**

**a) Timbangan Digital**

Digunakan untuk mengukur berat dari masing – masing roda. Kegunaan mengukur berat berat dari masing – masing roda adalah untuk mengetahui bobot rasio antara berat bagian depan dan belakang yang nantinya untuk diketahui letak titik pusat berat kendaraan di sumbu X.

**b) Alat Ukur Panjang**

Digunakan untuk mengukur panjang keseluruhan dari desain mobil yang diperlukan. Desain mobil harus mengikuti syarat yang terdapat pada peraturan Kontes Mobil Hemat Energi. Dan juga diperlukan untuk mengukur radius putar kendaraan saat pengujian.

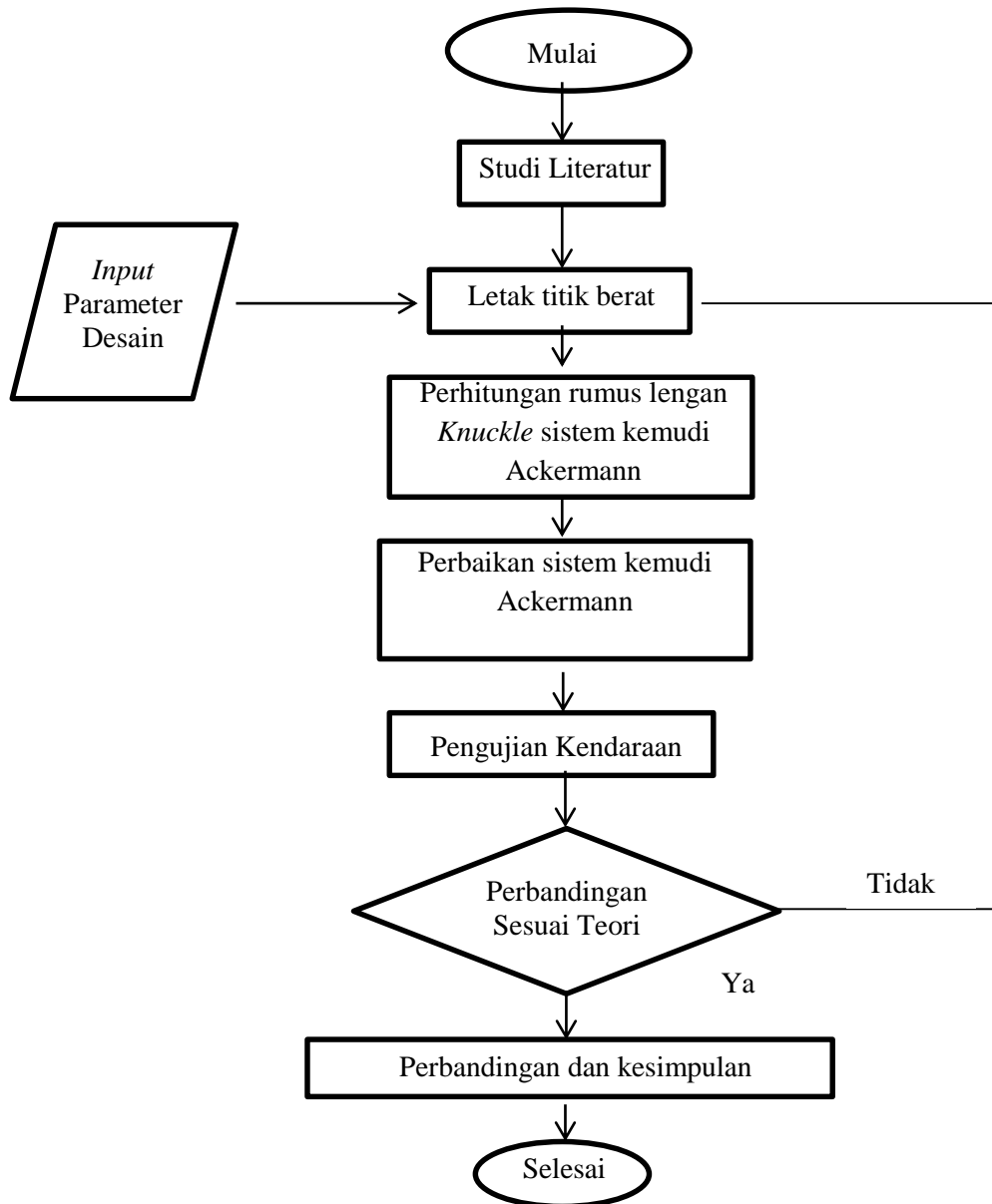
**c) Busur Derajat**

Sudut lengan pada *knuckle* mobil hemat energi mempunyai sudut tertentu. Sehingga diperlukan busur derajat dalam rancang bangun kemiringan lengan *knuckle* yang sesuai dengan prinsip sistem kemudi Ackermann.



### 3.3. Diagram Alir Penelitian.

Penelitian yang dilakukan sebagaimana diilustrasikan diagram alir penelitian pada gambar berikut



**Gambar 3.1 Flow Chart Penelitian**

Diagram alir penelitian dalam Gambar 3.1 dapat dijelaskan sebagai berikut:

**1) Studi literatur**

Pada tahap ini mempelajari penelitian sebelumnya tentang perilaku dan pemodelan dinamika kendaraan. Serta membuat skematik yang sesuai dan akurat dari suatu kendaraan. Beberapa penelitian sebelumnya yang memiliki hubungan yang kuat dengan topik yang diusulkan dan dikaji berulang-ulang untuk mendapatkan pemahaman dan pendalaman materi.

**2) Letak titik berat**

Letak titik berat dilakukan dengan cara mengukur berat poros bagian depan dan belakang kendaraan serta jarak *wheelbase* ( $L$ ). Data yang didapat kemudian diolah menggunakan rumus matematis sehingga mendapatkan letak titik berat kendaraan. Yang kemudian menjadi patokan untuk menentukan radius putar yang diperlukan.

**3) Perhitungan rumus sudut lengan *knuckle* sistem kemudi Ackermann**

Sistem kemudi Ackermann membutuhkan sudut lengan tertentu untuk mencapai sudut belok sempurna pada radius putar tertentu. Data yang diperlukan adalah menentukan sudut kemudi dalam dan luar. Kemudian menentukan rumus trigonometri untuk menentukan sudut lengan *Knuckle* sistem kemudi Ackermann.

#### 4) **Desain kemudi *Ackermann Geometry***

Desain kemudi menggunakan prinsip geometri *Ackermann* dimulai dengan menentukan sudut belok ke kiri menggunakan *software Autocad*. Sedangkan nilai dari data b digunakan untuk menentukan radius belok sedangkan data C untuk menentukan sudut lengan *knuckle*. Data yang didapat akan menjadi bahan untuk desain kemudi mobil *prototype* tiga roda.

#### 5) **Analisis Data**

Dari data-data yang sudah dijelaskan diatas maka akan dianalisis untuk memperoleh hasil akhir dari desain yang akan digunakan untuk memperoleh laju belok kendaraan yang lebih baik.

#### 6) **Pembahasan dan kesimpulan**

Tahap terakhir yang dilakukan yaitu pengambilan kesimpulan dari analisis data. Pengambilan kesimpulan didasarkan pada nilai *Centre of Gravity* yang kemudian dapat digunakan sebagai masukan terhadap rancangan kendaraan *prototype* yang lebih stabil.

### 3.4. **Teknik Pengumpulan data**

#### 3.4.1. **Penimbangan berat total kendaraan**

Dalam menganalisis berat kendaraan, dapat dilakukan dengan mengukur berat total dari kendaraan sebagai berikut; Timbangan diletakan di roda kiri kendaraan, dengan roda kanan dan roda belakang ditumpu agar posisi kendaraan sejajar. Metode ini dilakukan untuk mengetahui berat kendaraan bagian depan kiri.



**Gambar 3.2. Menimbang Berat Roda Kiri Kendaraan**

Setelah selesai dengan roda kiri, timbangan diletakan di roda kanan kendaraan, dengan roda kiri dan roda belakang ditumpu agar posisi kendaraan sejajar. Metode ini dilakukan untuk mengetahui berat kendaraan bagian depan kanan.



**Gambar 3.3. Menimbang Berat Roda Kanan Kendaraan**

Setelah selesai dengan roda kiri, timbangan diletakan di roda belakang kendaraan, dengan roda kiri dan roda kanan ditumpu agar posisi kendaraan sejajar. Metode ini dilakukan untuk mengetahui berat kendaraan bagian belakang kendaraan.



**Gambar 3.4. Menimbang Berat Roda Belakang Kendaraan**

Dari metode di atas, dapat diketahui berat total kendaraan dengan rumus :

- $Wt = Wf_R + Wf_L + Wr$  .....(3.1)

Dimana ;

$Wf_L$  = Berat roda kiri

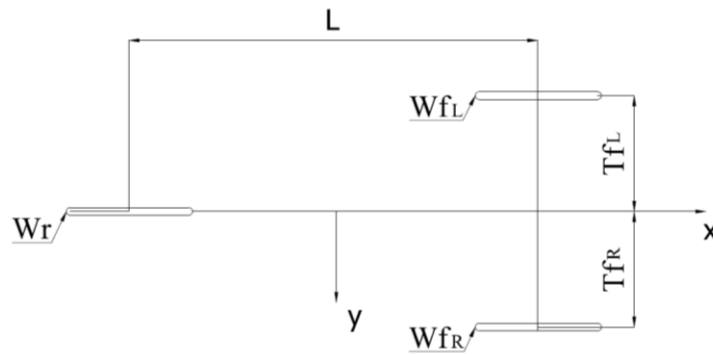
$Wf_R$  = Berat roda kanan

$Wr$  = Berat roda belakang

Dan juga dapat menentukan posisi *Center of Gravity* sumbu x, dan sumbu y, hal yang sama juga dapat dilakukan jika ingin mengetahui berat total kendaraan dengan driver.

### 3.4.2. Posisi Titik Berat Kendaraan Sumbu x

Dalam menganalisis posisi titik berat sumbu x, dapat dilakukan dengan cara mengukur panjang *wheelbase*, berat poros depan dan belakang. Kemudian dibuat sketsa panjang *wheelbase* dan lebar *trackwidth* menggunakan program *AutoCAD*.



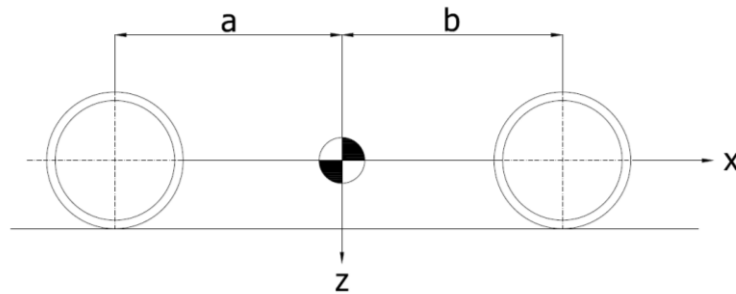
**Gambar 3.5 Pandangan Atas Kendaraan Terhadap Ukuran Panjang dan Lebar Kendaraan**

Kemudian menggunakan rumus untuk menentukan letak titik berat dari poros depan (a) dan jarak dari poros roda belakang (b) sebagai berikut;

$$\bullet \quad a = \frac{l \cdot W_r}{W_f + W_r} \dots\dots\dots(3.2)$$

$$\bullet \quad b = \frac{l \cdot W_f}{W_f + W_r} \dots\dots\dots(3.3)$$

Maka letak titik berat kendaraan sumbu x sebagai berikut;



**Gambar 3.6. Pandangan Depan Kendaraan Terhadap Posisi Titik Berat Sumbu x *Free Body Diagram* kendaraan.**

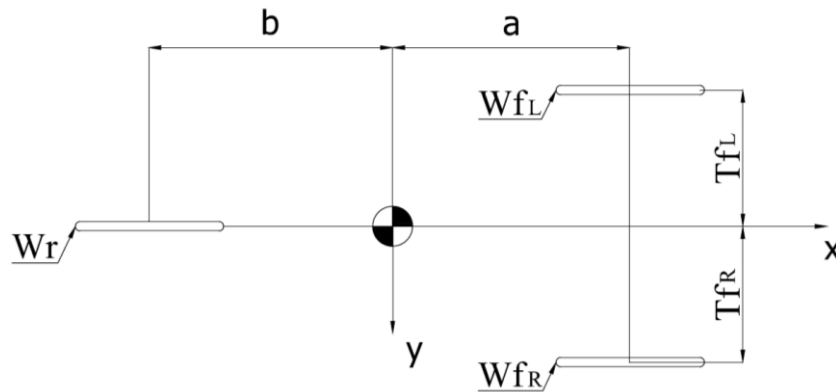
**3.4.3. Posisi Titik Berat Kendaraan Sumbu y**

Hal sama juga dapat dilakukan dalam menganalisis posisi titik berat sumbu y, dengan cara mengukur panjang *trackwidth*, berat roda kiri dan roda kanan bagian depan. Kemudian dibuat sketsa lebar *trackwidth* menggunakan program *AutoCAD*. Menggunakan rumus untuk menentukan letak titik berat dari roda depan kiri ( $Tf_L$ ) dan jarak dari roda depan kanan ( $Tf_R$ ) sebagai berikut;

- $Tf_L = \frac{Tf \cdot W_{fR}}{W_{fR} + W_{fL}} \dots\dots\dots(3.4)$

- $Tf_R = \frac{Tf \cdot W_{fL}}{W_{fR} + W_{fL}} \dots\dots\dots(3.5)$

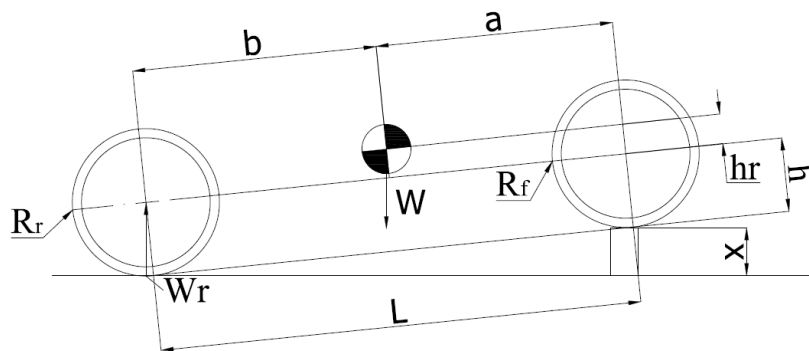
Dengan menggabungkan hasil data pada sub bab 3.4.2 maka didapat



**Gambar 3.7. Pandangan Atas Kendaraan Terhadap Posisi Titik Berat Sumbu x dan Sumbu y**

**3.4.4. Posisi Titik Berat Kendaraan Sumbu z**

Untuk mencari tinggi pusat berat kendaraan, pada roda belakang ditopang dengan timbangan dan roda depan didongkrak hingga membentuk sudut ( $\theta$ ).



**Gambar 3.8. Posisi Penimbangan Roda Belakang Untuk Mengetahui Sumbu z**

- $\sum M = 0$  .....(3.6)
- $W(h_r \cdot \sin\theta + (L - b) \cdot \cos\theta) - W_{r\theta} \cdot L \cdot \cos\theta$  .....(3.7)
- $W \cdot (L - b) \cdot \cos\theta - W_{r\theta} \cdot L \cdot \cos\theta = W \cdot h_r \cdot \sin\theta$  .....(3.8)
- $h_r = \frac{W \cdot a \cdot \cos\theta - W_{r\theta} \cdot L \cdot \cos\theta}{W \cdot \sin\theta}$  .....(3.9)
- $h_r = \frac{W \cdot a - W_{r\theta} \cdot L}{W \cdot \tan\theta}$  .....(3.10)
- $h = h_r + r$  .....(3.11)



Dimana:

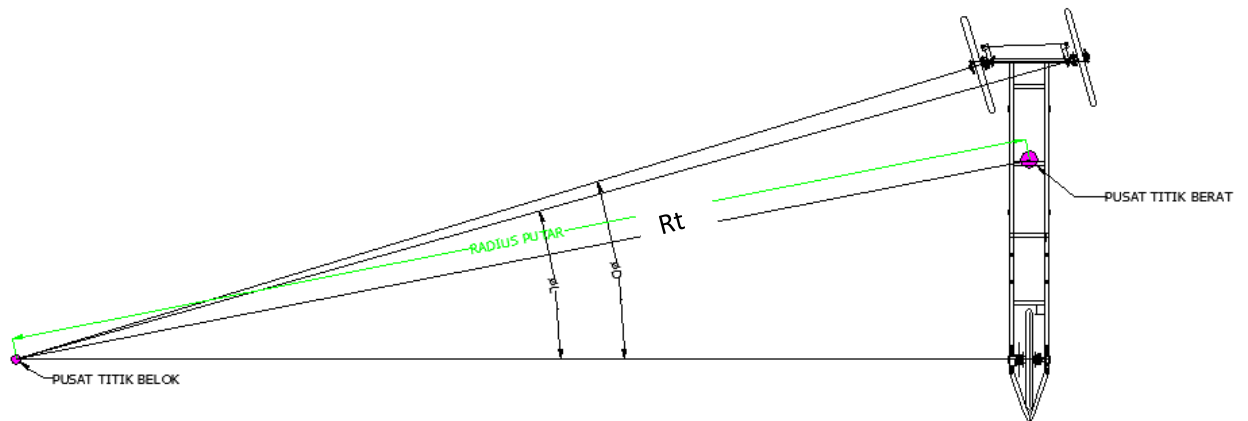
$$\bullet \theta = \text{Sin}^{-1} \left( \frac{x}{L} \right) \dots\dots\dots (3.12)$$



**Gambar 3.9 Penimbangan Mencari Titik Berat Terhadap Sumbu Z**

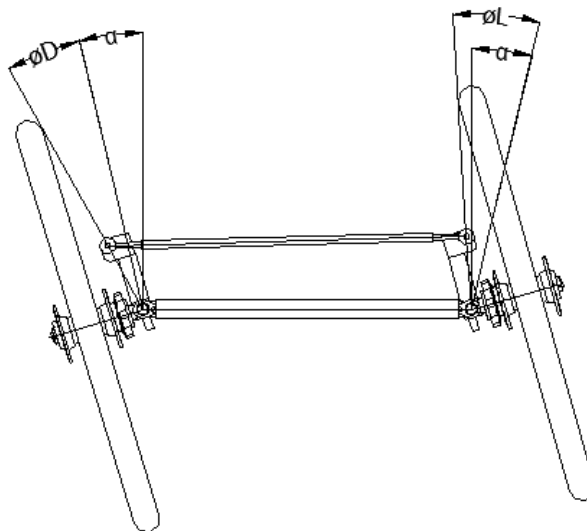
### 3.5. Analisa Desain Sistem Kemudi *Ackermann Geometry*

Untuk mengetahui sudut kemudi *Ackermann Geometry*, dapat disimulasikan dengan program *AutoCAD*. Dimulai dengan mengukur panjang sumbu roda kendaraan, jarak pijak tanah roda depan dan menarik sumbu ke radius yang diinginkan mengikuti peraturan dari perlombaan *Shell Eco Marathon*. Penarikan sumbu ke pusat radius ditarik dari pusat titik berat sumbu X ke pusat radius. Kemudian dilakukan pengukuran sudut dengan program *AutoCAD*.



**Gambar 3.10. Free Body Diagram Kendaraan Berbelok**

Setelah mengetahui sudut dalam ( $\theta_D$ ) dan sudut luar ( $\theta_L$ ) melalui program *AutoCAD*, maka untuk mengetahui sudut *Ackermann* dengan menggunakan tipe *Trapezoidal Steering Mechanism* menggunakan persamaan berikut :



**Gambar 3.11. Free Body Diagram Kemudi Ackermann**

- $\sin (\alpha + \theta_D) + \sin (\alpha - \theta_L) = 2 \sin \alpha \dots\dots\dots(3.4)$

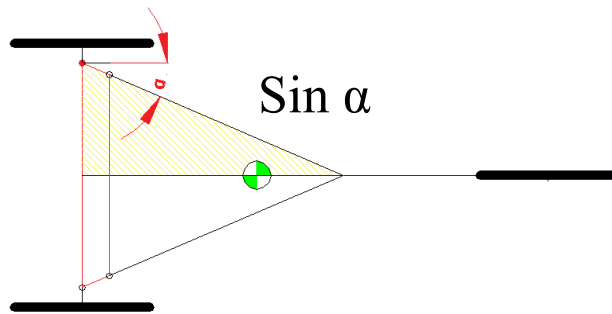
Dimana :

$\alpha$  = Sudut *Ackermann*

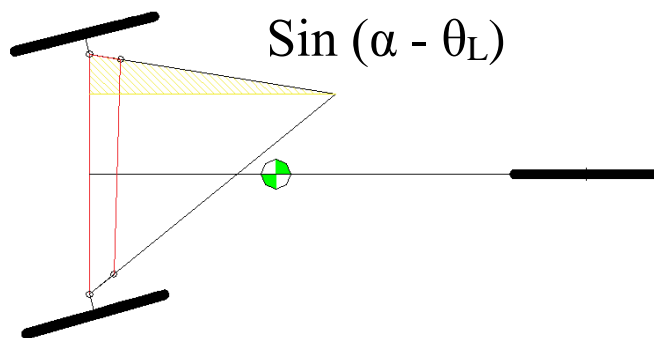
$\theta_D$  = Sudut dalam

$\theta_L$  = Sudut luar

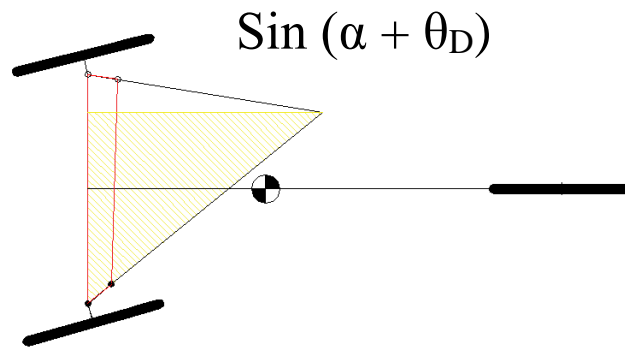
Menggunakan simulasi di program *AutoCAD*, diketahui hanya sudut dalam ( $\theta_D$ ) dan sudut luar ( $\theta_L$ ) maka untuk mengetahui sudut *Ackermann* ( $\alpha$ ) dapat dirumuskan sebagai berikut :



**Gambar 3.12. Trigonometri pada *Free Body Diagram* Kemudi *Ackermann* Ketika Lurus**



**Gambar 3.13. Trigonometri pada *Free Body Diagram* Kemudi *Ackermann* Ketika Berbelok di Sudut Luar**



**Gambar 3.14. Trigonometri pada *Free Body Diagram* Kemudi *Ackermann* Ketika Berbelok di Sudut Dalam**

Maka :

- $\sin(\alpha + \theta_D) + \sin(\alpha - \theta_L) = 2 \sin \alpha \dots\dots\dots(3.5)$

- $(\sin \alpha \cos \theta_D + \cos \alpha \sin \theta_L) + (\sin \alpha \cos \theta_L - \cos \alpha \sin \theta_D) = 2 \sin \alpha \dots\dots(3.6)$

- $\sin \alpha (\cos \theta_D + \cos \theta_L) + \cos \alpha (\sin \theta_D - \sin \theta_L) = 2 \sin \alpha \dots\dots\dots(3.7)$

- $\frac{\sin \alpha (\cos \theta_D + \cos \theta_L) + \cos \alpha (\sin \theta_D - \sin \theta_L)}{\sin \alpha} = 2 \dots\dots\dots(3.8)$

- $\cos \theta_D + \cos \theta_L + \cot \alpha (\sin \theta_D - \sin \theta_L) = 2 \dots\dots\dots(3.9)$

- $\cot \alpha (\sin \theta_D - \sin \theta_L) = 2 - (\cos \theta_D + \cos \theta_L) \dots\dots\dots(3.10)$

- $\cot \alpha \frac{2 - (\cos \theta_D + \cos \theta_L)}{\sin \theta_D - \sin \theta_L} \dots\dots\dots(3.11)$

- $\alpha = \text{arccot} \left[ \frac{2 - (\cos \theta_D + \cos \theta_L)}{\sin \theta_D - \sin \theta_L} \right] \dots\dots\dots(3.12)$

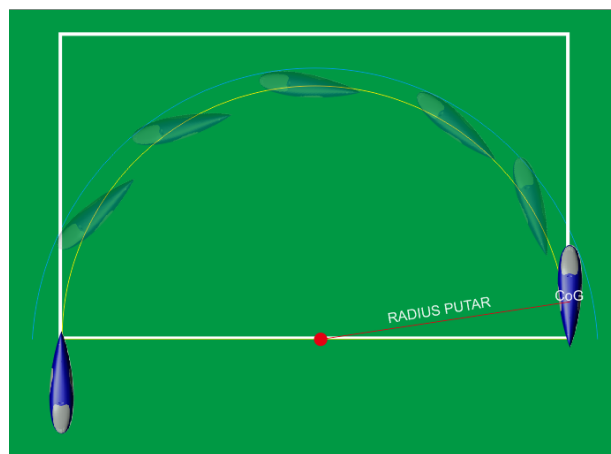
### 3.6. Pengujian Kendaraan

Pengujian kendaraan menggunakan lintasan belok U sebagai lintasan yang dilewati kendaraan uji. Alat uji yang digunakan berupa kendaraan uji, alat ukur panjang, kamera, tali, serta lintasan uji.



**Gambar 3.15 Alat – Alat Pengujian Kendaraan**

Pengujian dimulai dengan mempersiapkan lintasan uji. Kemudian sudut roda dibelokkan sesuai desain di AutoCad. Kendaraan dijalankan dan diukur radius beloknya pada saat U turn 180 derajat. Kemudian diulangi hingga tiga kali sehingga mendapatkan perbandingan tiap radius belok.pada saat pengujian menggunakan desain untuk radius belok ideal 6 meter namun tetap diuji pada radius belok yang berbeda beda untuk mengetahui seberapa panjang selisih dari titik pusat belok. Radius putar yang diujikan adalah untuk radius 5,5 meter, 6 meter, 7 meter, serta 8 meter.



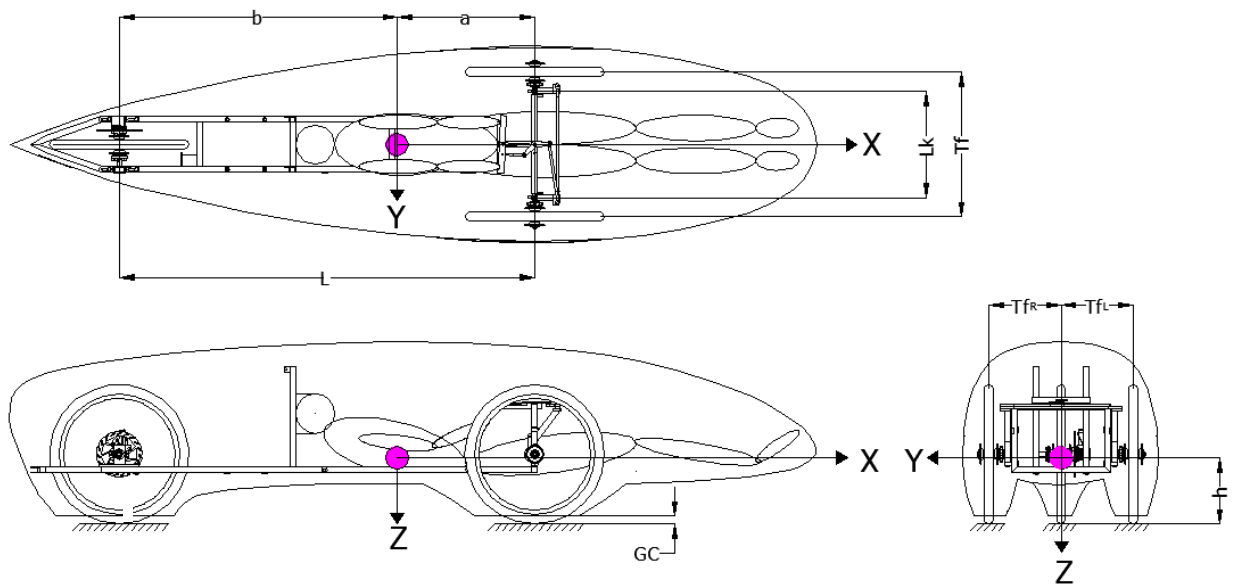
**Gambar 3.16. Skema Pengujian Belok Kendaraan**

## BAB IV HASIL PENELITIAN

### 4.1 Model Kendaraan

Model kendaraan yang digunakan digambar pada aplikasi *Autodesk Inventor 2015*, model rangka dibentuk dalam 3 dimensi, untuk mensimulasikan letak perpindahan *center of gravity* secara nyata dari setiap perbaikan desain. Serta kendaraan nyata digunakan untuk mendapatkan data-data input *Autodesk Inventor*. Model yang digunakan dalam penelitian dengan pemberat pengemudi berada di tengah kendaraan.

Merupakan data awal dari kendaraan yang akan dijadikan acuan pada saat penelitian, serta di analisa kestabilan pada kendaraan tersebut.



**Gambar 4.1. Freebody Diagram dari Kendaraan 3 Roda.**

## 4.2 Hasil Pengukuran pada Kendaraan

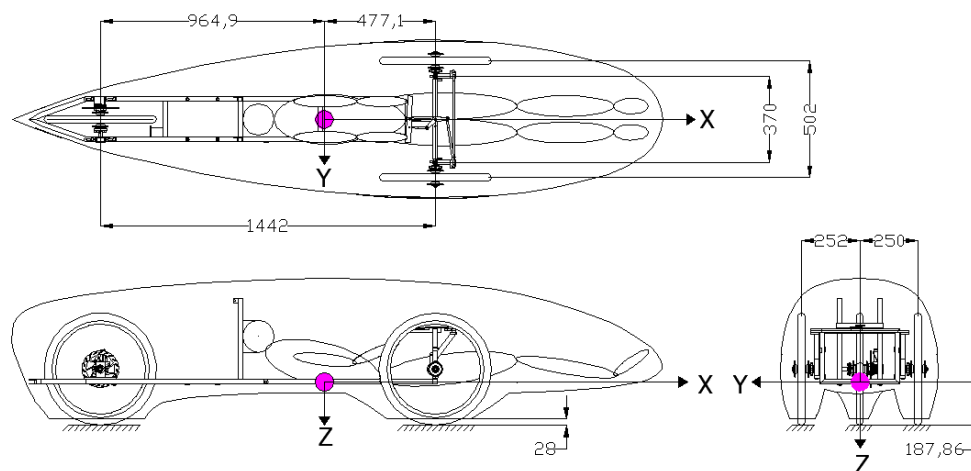
Setelah melakukan serangkaian pengukuran pada kendaraan, maka

didapat data – data hasil pengukuran sebagai berikut :

**Tabel 4.1. Hasil Pengukuran Kendaraan dengan Pengemudi Serta Letak Pemberat di Bagian Tengah Kendaraan**

Spesifikasi Kendaraan				
Beban Depan Kiri Kendaraan ( $W_{fL}$ )	35,8	kg	351,2	N
Beban Depan Kanan Kendaraan ( $W_{fR}$ )	36,2	kg	355,12	N
Beban Total Depan Kendaraan ( $W_{ft}$ )	72	kg	706,32	N
Beban Belakang kendaraan ( $W_r$ )	35,6	kg	349,24	N
Beban Kendaraan Total ( $W_t$ )	107,6	kg	1055,56	N
Beban Kosong Kendaraan ( $W$ )	57.1	kg	560,16	N
Beban Sudut Kendaraan ( $W_{r\theta}$ )	36	kg	353,16	N
Panjang Wheelbase (L)	1442	mm	1,442	m
Jarak <i>kingpin to kingpin</i> ( $L_k$ )	370	mm	0,37	m
Diameter Roda (D)	485	mm	0,485	m
Lebar track depan (Tf)	502	mm	0,502	m
<i>Ground Clearance</i> (GC)	28	mm	0,028	m
Berat pengemudi ( $W_d$ )	50,5	kg	495,41	N
Letak CG dari poros roda depan (a)	477,1	mm	0,4771	m
Letak CG dari poros roda belakang (b)	964,9	mm	0,9649	m
Letak CG dari roda kiri ( $T_{fL}$ )	249,6	mm	0,2496	m
Letak CG dari roda kanan ( $T_{fR}$ )	252,4	mm	0,2524	m
Letak CG dari tanah (h)	186,78	mm	0,18678	m

### 4.2.1. Letak Titik Berat Kendaraan



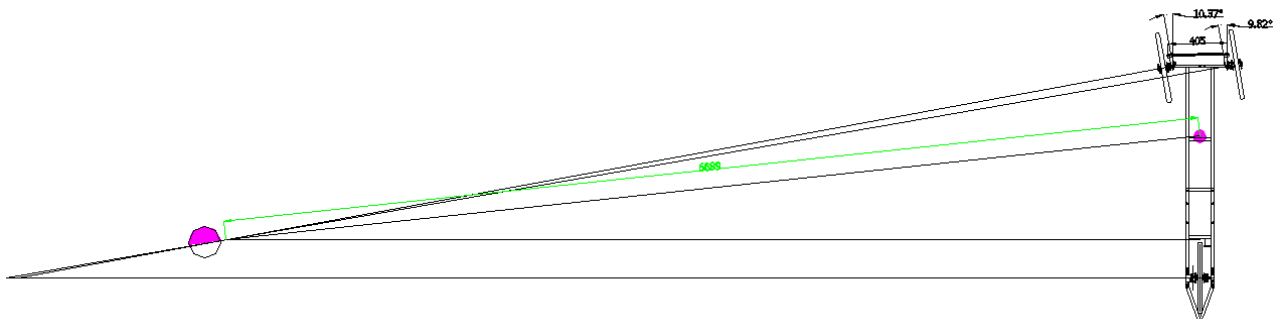
**Gambar 4.2. Letak Titik Berat Kendaraan dengan Pengemudi**

Hasil perhitungan diatas dijadikan acuan awal dalam perbaikan desain terhadap sudut belok kendaraan.

### 4.3 Perancangan Sudut Lengan *Knuckle* Sistem Kemudi

Dalam menentukan sudut lengan *knuckle* sistem kemudi, maka diperlukan rancangan 2 dimensi untuk menentukan sudut dari lengan *knuckle*. Namun sebelum itu, harus diketahui *layout* dari lintasan yang dipergunakan pada Kontes Mobil Hemat Energi 2016 dan juga regulasi teknik pada perlombaan tersebut.

Desain awal kendaraan hemat energi mempunyai sudut belok dalam  $10,37^0$  dan sudut luar  $9,82^0$  serta sudut lengan *knuckle* sebesar  $12,25^0$ . Sistem tersebut tidak menghasilkan sudut belok ideal dan tidak menghasilkan sudut belok yang berpusat pada pusat belok.



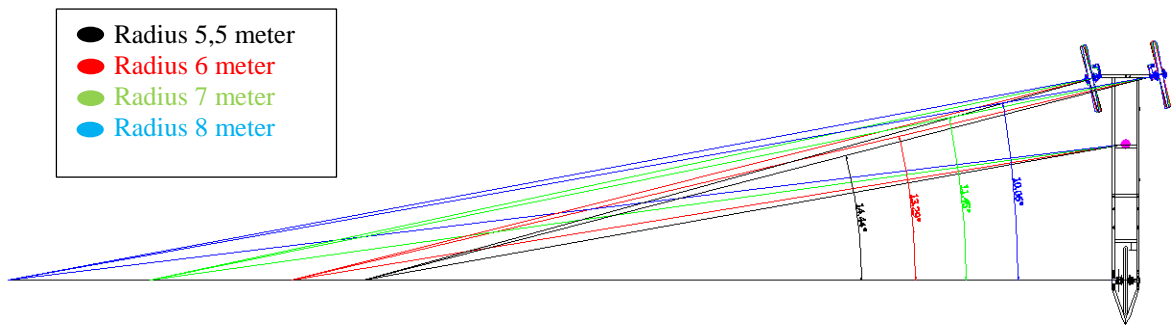
#### 4.3.1. Perbaikan Sudut Lengan *Knuckle* Sistem Kemudi

##### 1. Desain 2 dimensi

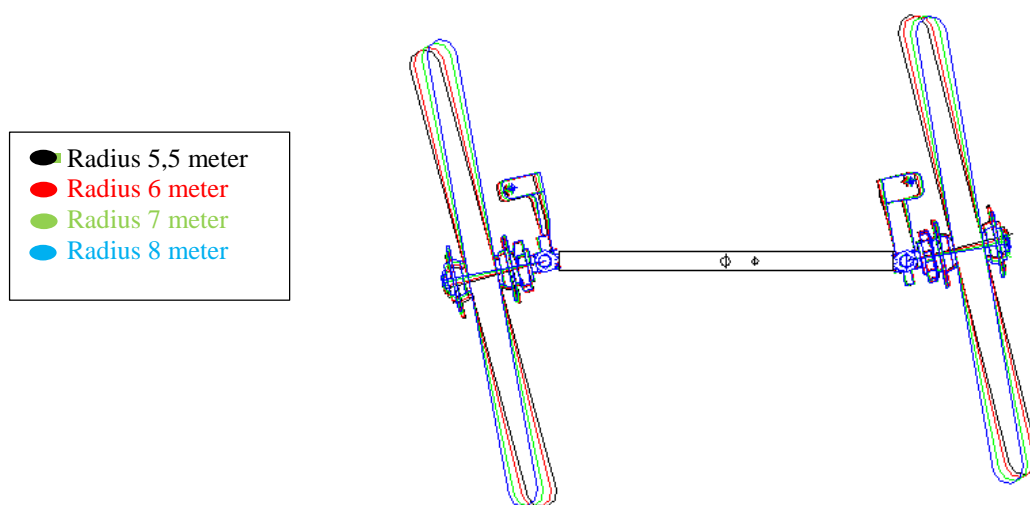
Setelah mengetahui radius putar yang diperlukan, maka dibutuhkan desain 2 dimensi untuk menentukan sudut dalam dan sudut luar belok kendaraan yang sesuai dengan prinsip Ackermann. Program yang digunakan adalah *AutoCad*. Sedangkan titik berat kendaraan digunakan untuk menentukan



pusat radius belok. Garis sudut belok dalam ditarik dari pusat belok ke kingpin bagian dalam, sedangkan garis sudut belok luar ditarik dari pusat belok ke kingpin bagian luar. Sedangkan tes pengujian menggunakan arah putar ke kiri terhadap mobil.



**Gambar 4.4 Perbandingan Sudut Belok pada Radius 5.5, 6, 7 dan 8 meter**



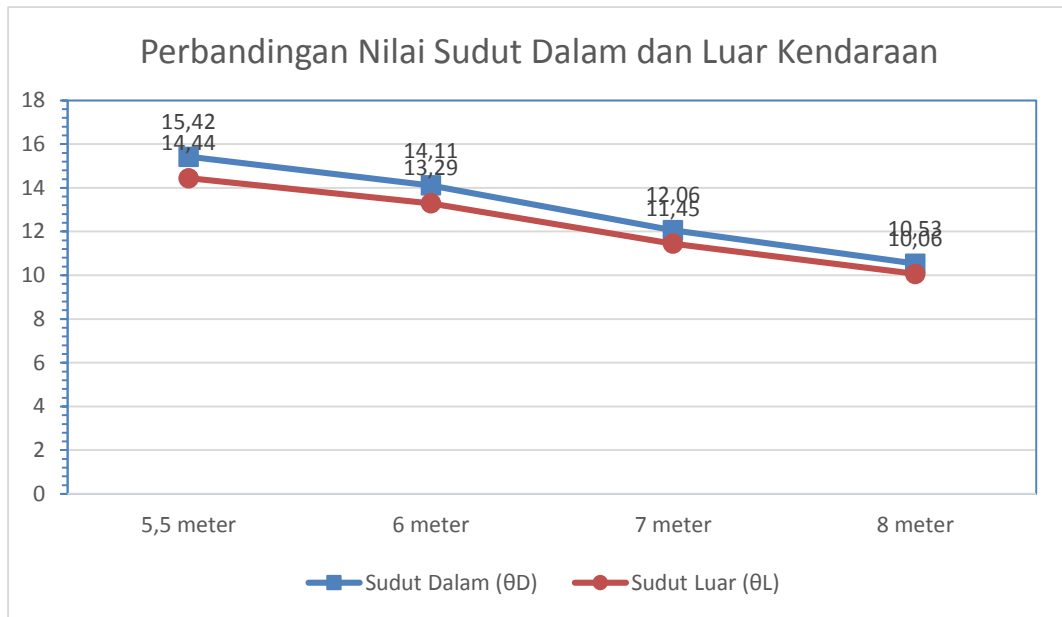
**Gambar 4.5 Perbandingan Sudut Belok Luar dan Dalam *Knuckle* Roda**

**Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Sudut Belok Luar dan Dalam pada Variabel Radius Belok di Program *AutoCad***

Radius	Sudut Dalam ( $\theta_D$ )	Sudut Luar ( $\theta_L$ )
5,5 meter	15,42 <sup>0</sup>	14,44 <sup>0</sup>
6 meter	14,11 <sup>0</sup>	13,29 <sup>0</sup>
7 meter	12,06 <sup>0</sup>	11,45 <sup>0</sup>
8 meter	10,53 <sup>0</sup>	10,06 <sup>0</sup>

Dari tabel diatas kita dapat diambil kesimpulan bahwa

- Semakin besar radius belok kendaraan, maka semakin kecil sudut belok roda dan sebaliknya
- Besaran sudut tiap roda berbeda pada tiap radius belok kendaraan
- Nilai sudut belok terbesar yaitu pada sudut belok dalam radius 5,5 meter di nilai sudut 15,42<sup>0</sup>
- Nilai sudut belok terbesar yaitu pada sudut belok luar radius 8 meter di nilai sudut 10,06<sup>0</sup>



**Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Nilai Sudut Belok Dalam dan Luar Kendaraan**

## 2. Perhitungan sudut lengan *knuckle*

Setelah diketahui sudut dalam dan luar dengan program *AutoCad*, maka langkah selanjutnya adalah menghitung besaran sudut lengan *knuckle* dengan persamaan trigonometri.

Memasukkan data yang didapat untuk radius **5,5 meter** :

- $\alpha = \operatorname{arccot} \left[ \frac{2 - (\cos 15,42 + \cos 14,44)}{\sin 15,42 - \sin 14,44} \right]$
- $\alpha = \operatorname{arccot} \left[ \frac{2 - (0,9640026489 + 0,9684093068)}{0,265892634 - 0,2493660251} \right]$
- $\alpha = \operatorname{arccot} \left[ \frac{2 - 1,9324119557}{0,0165266089} \right]$
- $\alpha = \operatorname{arccot} \left[ \frac{0,0675880443}{0,0165266089} \right]$
- $\alpha = \operatorname{arccot} 4,089649891817794$
- $\alpha = 13,740337^{\circ}$  ( disederhanakan menjadi  $13,74^{\circ}$  )

memasukkan data yang didapat untuk radius **6 meter** :

- $\alpha = \operatorname{arccot} \left[ \frac{2 - (\cos 14.11 + \cos 13.29)}{\sin 14.11 - \sin 13.29} \right]$
- $\alpha = \operatorname{arccot} \left[ \frac{2 - (0.9698294816 + 0.9732190092)}{0.2437842826 - 0.2298798819} \right]$
- $\alpha = \operatorname{arccot} \left[ \frac{2 - 1.9430484908}{0.0139044008} \right]$
- $\alpha = \operatorname{arccot} \left[ \frac{0.0569515092}{0.0139044007} \right]$
- $\alpha = \operatorname{arccot} 4.095933598921670$
- $\alpha = 13.720054^0$  ( disederhanakan menjadi  $13.72^0$ )

memasukkan data yang didapat untuk radius **7 meter** :

- $\alpha = \operatorname{arccot} \left[ \frac{2 - (\cos 12.06 + \cos 11.45)}{\sin 12.06 - \sin 11.45} \right]$
- $\alpha = \operatorname{arccot} \left[ \frac{2 - (0.9779293398 + 0.9800983128)}{0.2089358904 - 0.1985127129} \right]$
- $\alpha = \operatorname{arccot} \left[ \frac{2 - 1.9580276526}{0.01040087614} \right]$
- $\alpha = \operatorname{arccot} \left[ \frac{0.0419723474}{0.01040087614} \right]$
- $\alpha = \operatorname{arccot} 4.035462670166938$
- $\alpha = 13.917711^0$  ( disederhanakan menjadi  $13.92^0$ )

memasukkan data yang didapat untuk radius **8 meter** :

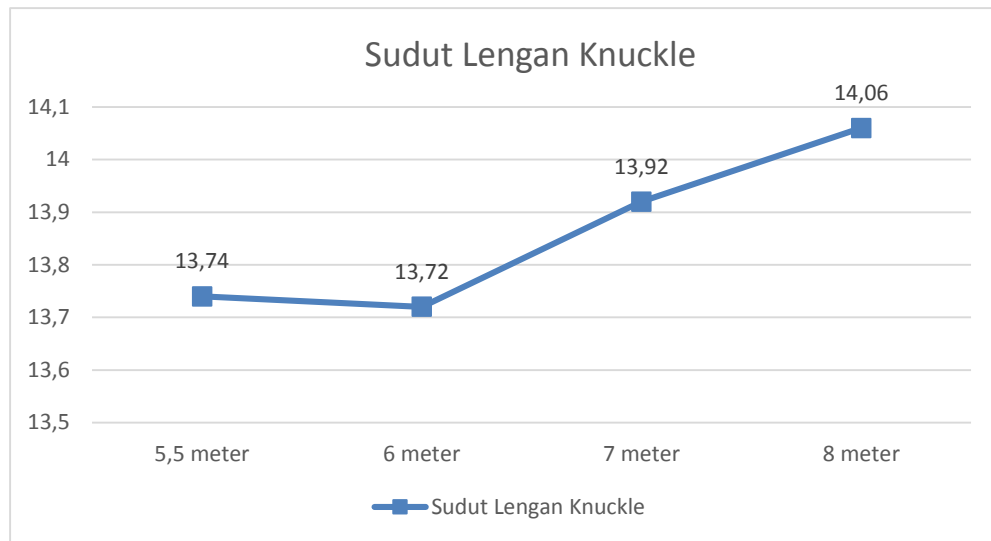
- $\alpha = \operatorname{arccot} \left[ \frac{2 - (\cos 10,53 + \cos 10,06)}{\sin 10,53 - \sin 10,06} \right]$
- $\alpha = \operatorname{arccot} \left[ \frac{2 - (0,9831593544 + 0,9846253691)}{0,1827503315 - 0,1746793705} \right]$
- $\alpha = \operatorname{arccot} \left[ \frac{2 - 1,9677847236}{0,008070961} \right]$
- $\alpha = \operatorname{arccot} \left[ \frac{0,0322152764}{0,008070961} \right]$
- $\alpha = \operatorname{arccot} 3,991504406972106$
- $\alpha = 14,064934^0$  ( disederhanakan menjadi  $14,06^0$ )

**Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Sudut Belok Luar dan Dalam pada Variabel Radius Belok**

Radius belok	Sudut lengan <i>knuckle</i>
5,5 meter	$13,74^0$
6 meter	$13,72^0$
7 meter	$13,92^0$
8 meter	$14,06^0$

Kesimpulan :

- Sudut lengan suatu stir hanya menghasilkan sudut ideal pada satu macam radius putar saja
- Tiap besaran radius belok, maka sudut lengan yang dibutuhkan juga berbeda



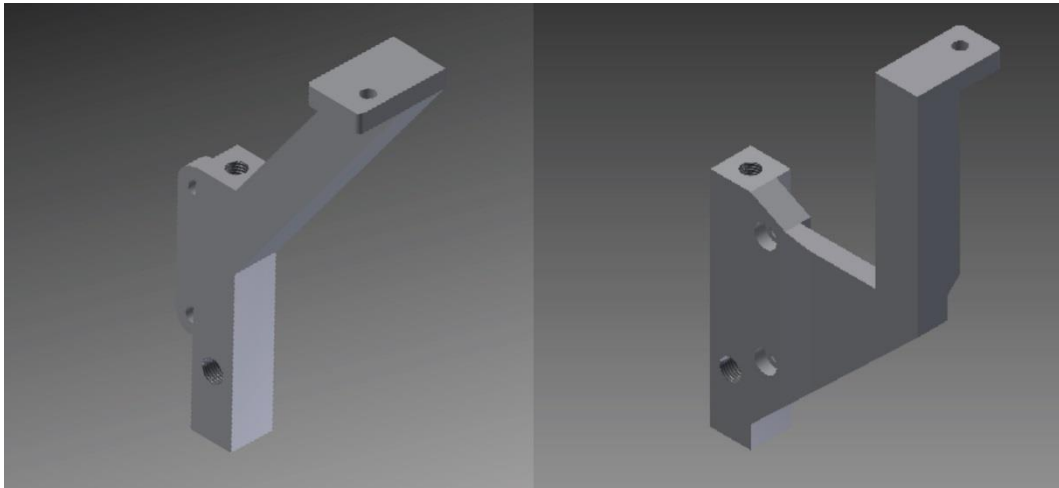
**Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Nilai Sudut Lengan *Knuckle* Sistem Kemudi Kendaraan Dalam Satuan Derajat**

#### 4.4 Perbaikan Desain *Knuckle* Sistem Kemudi

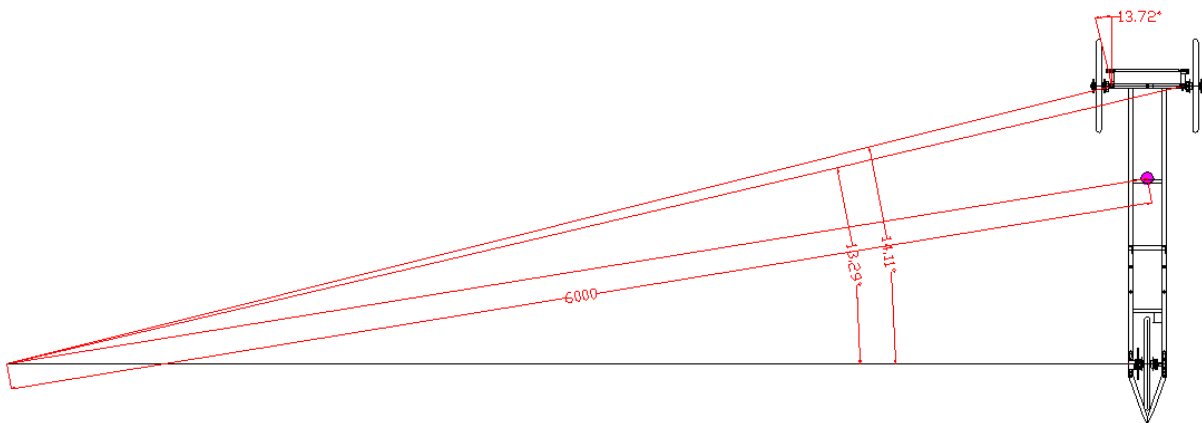
Perbaikan sudut lengan *knuckle* terlebih dahulu melalui proses desain yang diproses di program *AutoCad*. Desain tersebut terlebih melalui perhitungan untuk mengetahui sudut lengan *knuckle*. Sudut lengan *knuckle* nantinya akan berdampak pada pengendalian kendaraan mobil hemat energi. Secara desain umum kendaraan hemat energi memiliki tiga roda dengan format *reverse trike* yaitu 2 buah bagian depan dan 1 roda di belakang.

Proses desain *knuckle* menggunakan program Autodesk Autocad untuk pengolahan desain 2 dimensi dan program Autodesk Inventor Professional untuk pengolahan desain 3 dimensi. Desain 2 dimensi membantu untuk penentuan sudut dan juga dalam proses pembuatan *knuckle* tersebut. Adapun radius belok kendaraan manakah yang akan dijadikan patokan untuk pembuatan desain lengan *knuckle*, maka diperlukan peraturan teknis yang diterbitkan oleh panitia Kontes Mobil Hemat Energi 2016. Akhirnya radius belok 6 meter yang akan menjadi acuan pembuatan desain

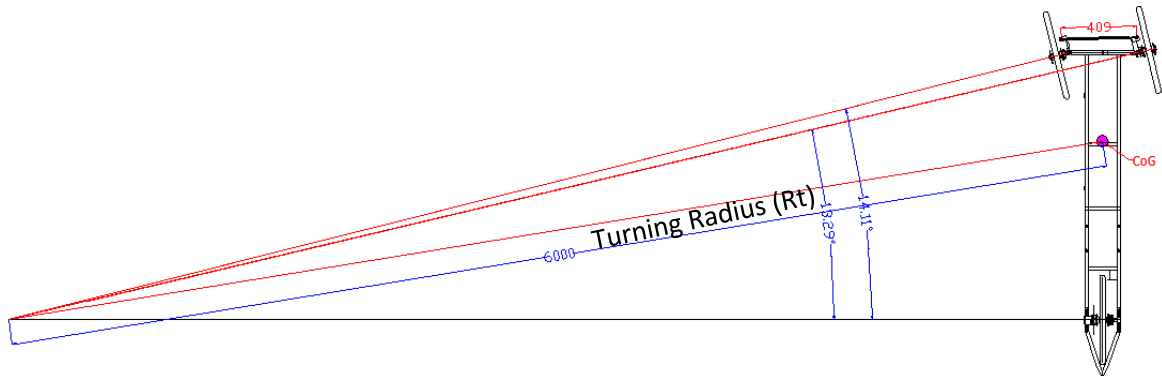
mengingat nilai radius tersebut merupakan radius minimum. Desain *knuckle* menggunakan format *leading link* yaitu posisi *tierod* berada didepan sumbu roda depan.



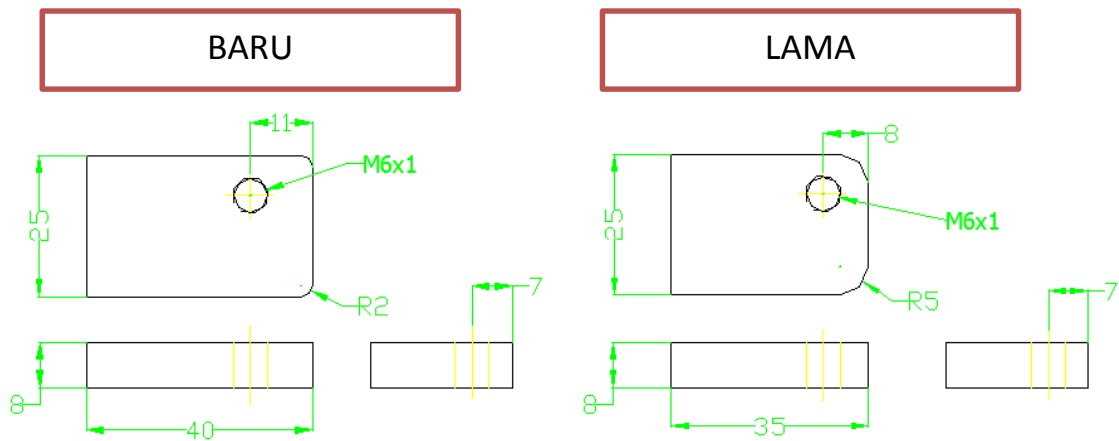
**Gambar 4.8 Desain 3 Dimensi *Knuckle* Kendaraan Hemat Energi**



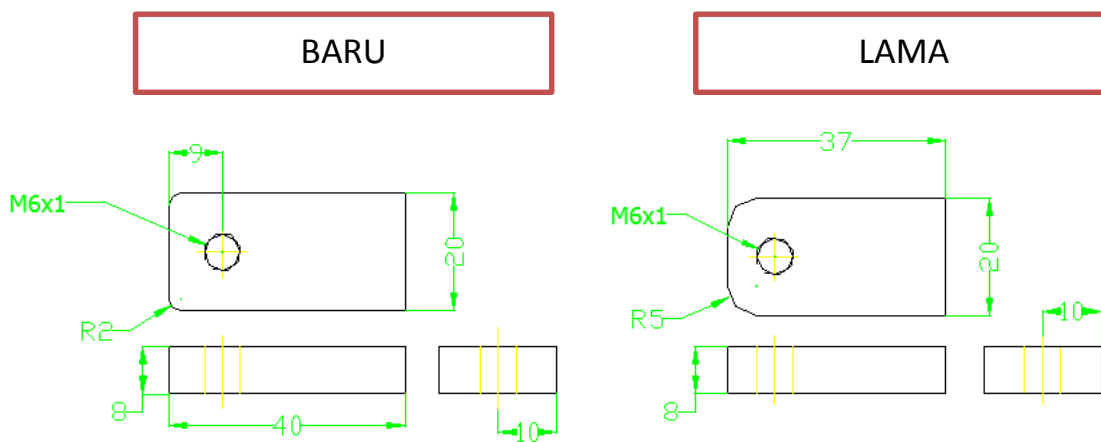
**Gambar 4.9 Desain 2 Dimensi Diagram Bebas Sasis Kendaraan Hemat Energi**



**Gambar 4.10 Diagram Bebas Sasis Kendaraan dengan Kemudi Berbelok Radius 6 Meter**



**Gambar 4.11 Desain 2 dimensi *Knuckle Pitman Arm* kanan**



**Gambar 4.12 Desain 2 dimensi *knuckle pitman arm* kiri**



#### 4.5 Hasil Perancangan Sudut Lengan *Knuckle* Sistem Kemudi

Komponen – komponen perbaikan sistem kemudi yang sudah didesain maka dibuat bendanya. Perbaikan komponen yang dimaksud adalah lengan *knuckle* yang mengalami perubahan bentuk ataupun sudutnya. Pembuatan komponen tersebut mencakup pemotongan benda kerja dan pengelasan ke *knuckle*. Maka hasilnya adalah sebagai berikut :



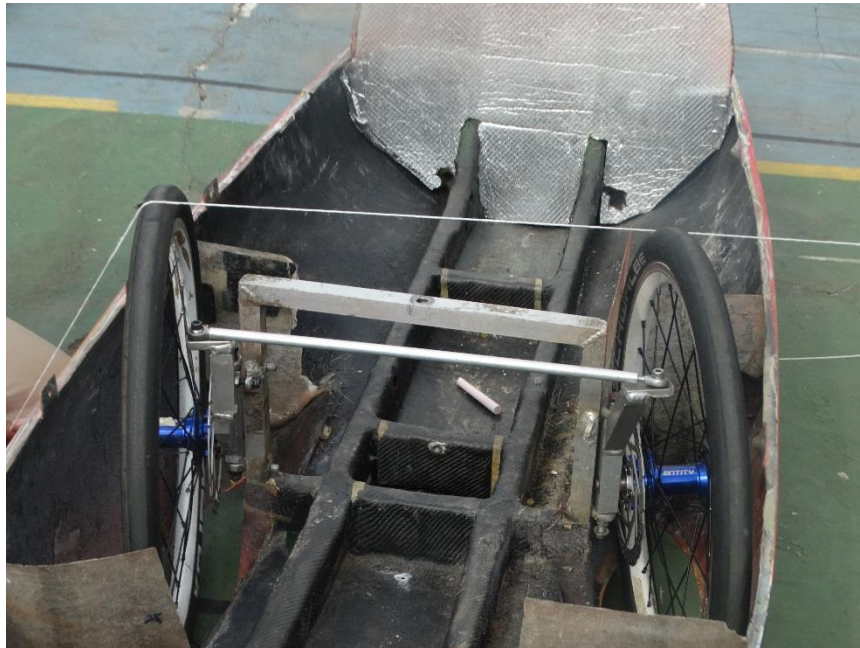
**Gambar 4.13** Pengelasan Lengan Pitman ke *Knuckle* Roda



**Gambar 4.14** Proses *Assembly* Komponen *Spindle Arm*, *Spindle Cradle*, *Knuckle* dan Roda.

Gambar 4.13 merupakan proses *assembly* komponen *spindle arm*, *spindle cradle*, *knuckle* dan roda. Pemasangan *spindle arm* dibaut pada bagian samping

*spindle cradle* kemudian dipasangkan dengan *knuckle* yang dibaut di bagian atas dan bawah.



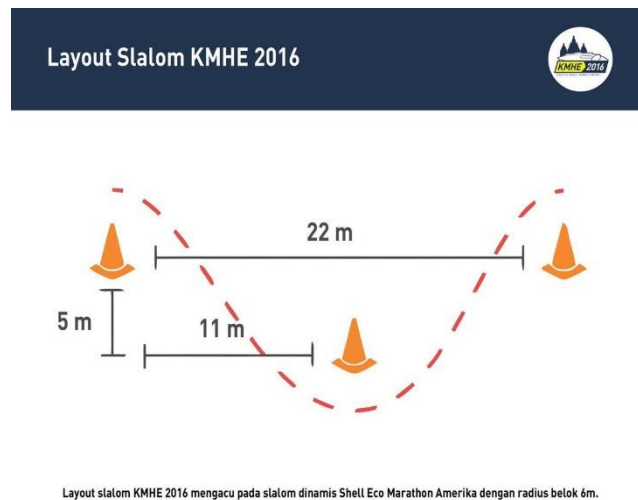
**Gambar 4.15 Hasil Desain Perancangan Perbaikan Lengan *Knuckle* Sistem Kemudi Kendaraan Hemat Energi**

Gambar diatas merupakan hasil desain perancangan sistem kemudi. Komponen – komponen hasil desain sistem kemudi kemudian dirancang dan menghasilkan sebuah sistem kemudi. Cara kerja sistem kemudi ini yaitu putaran dari stir kemudi diteruskan *steering coulumn* yang menggerakkan dudukan *steering coulounn* dan *tierod* menuju lengan *knuckle* untuk menggerakakan roda ke kiri atau ke kanan.

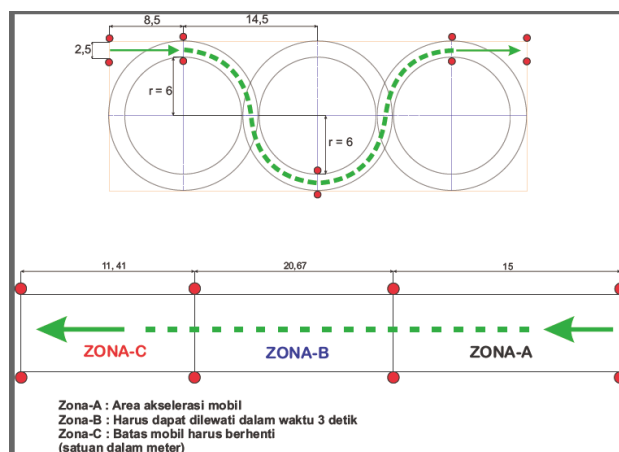
Sudut belok roda bagian dalam untuk radius belok 6 meter sebesar dan sudut belok roda bagian luar sebesar. Hal ini berarti kendaraan memiliki sudut belok yang berbeda antara roda kanan dan kiri sehingga kendaraan dapat belok dengan halus.

#### 4.6 Hasil Pengujian *Turning Radius* Kendaraan

Kendaraan mobil hemat energi merupakan kendaraan khusus kompetisi yang didesain untuk kepentingan perlombaan. Hasil desain *knuckle* merujuk pada regulasi teknis Kontes Mobil Hemat Energi yang merupakan kontes kendaraan hemat energi antar universitas. Maka desain kemudi didesain untuk dapat melakukan sudut belok ideal pada radius 6 meter dan memiliki sudut *ackermann*  $13,72^{\circ}$  dari titik *kingpin*.



Gambar 4.16 *Layout Slalom* pada Inpeksi Kontes Mobil Hemat Energi



Gambar 4.17 *Layout* pada Inpeksi Kontes Mobil Hemat Energi



**Gambar 4.18 Pengujian *Turning Radius* Kendaraan**

Pengujian kendaraan meliputi radius 5,5 meter, 6 meter, 7 meter dan 8 meter. Selain pengujian radius putar juga pengujian selisih jarak dari titik pusat belok terhadap desain kemudi radius 6 meter. Pengujian kendaraan dilakukan di lapangan UPT Perpustakaan dengan disaksikan dosen pembimbing.

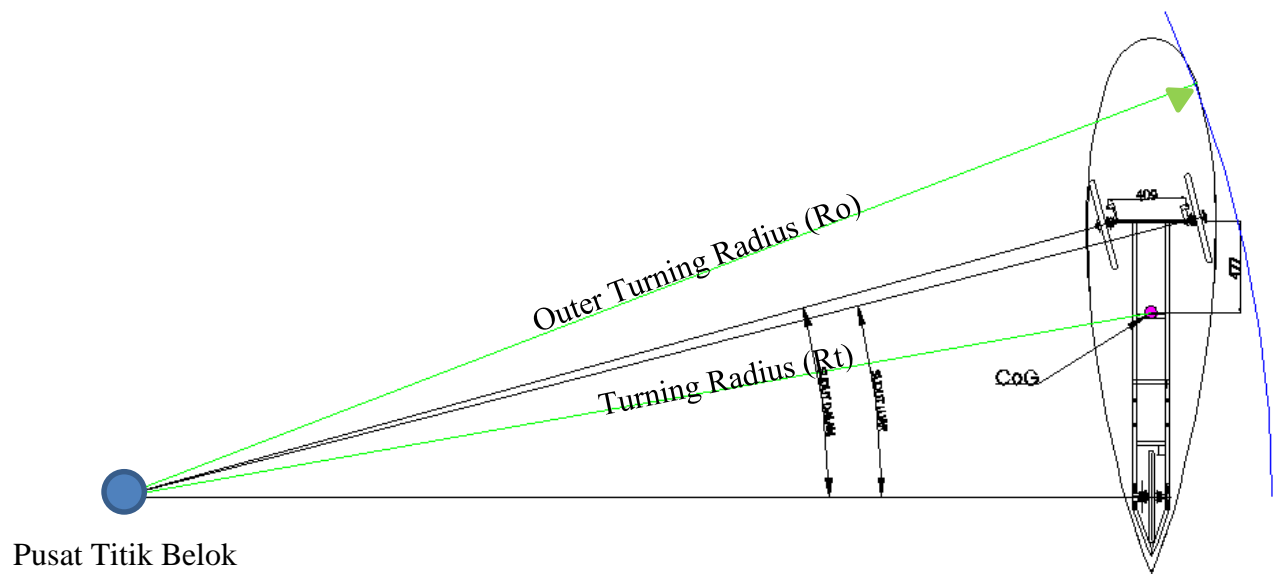


**Gambar 4.19 Pengukuran Hasil Pengujian *Turning Radius* Kendaraan**





**Gambar 4.20** Pengujian *Outer Turning Radius* Kendaraan



**Gambar 4.21** Diagram Bebas Kendaraan Berbelok

Tabel 4.3 Hasil Pengujian *Turning Radius* Kendaraan

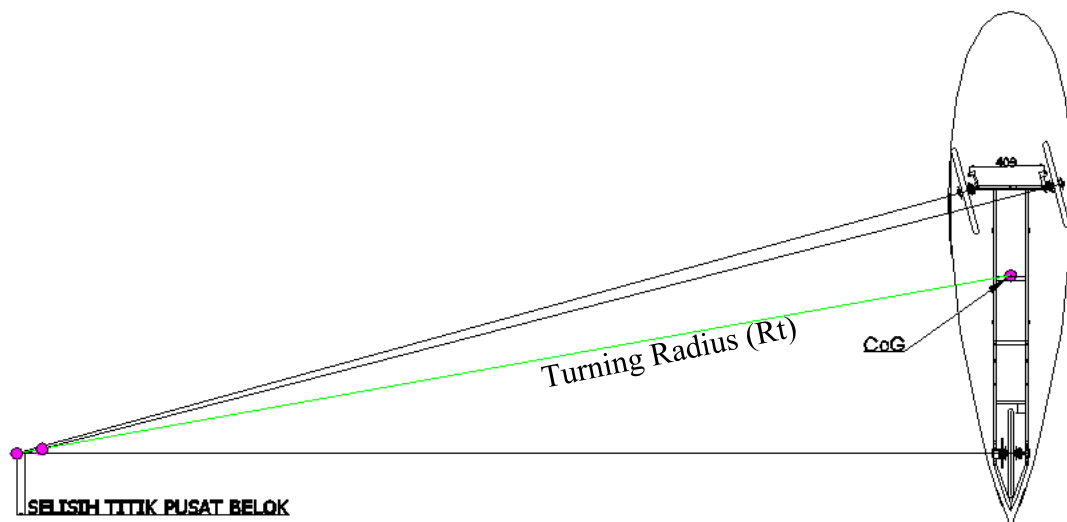
No	Turning Radius ( $R_t$ ) (m)	Hasil Pengujian (m)	Selisih (m)	Outer Turning Radius ( $R_o$ ) (m)	Hasil Pengujian (m)	Selisih (m)
1	5,5	5,59	0,09	6,059	6,149	0,09
		5,50	0		6,059	0
		5,51	0,01		6,069	0,01
	Rata - Rata	<b>5,53</b>	<b>0,033</b>	Rata - Rata	<b>6,092</b>	<b>0,033</b>
2	6	5,9	0,1	6,559	6,459	0,1
		5,96	0,04		6,519	0,04
		6,0	0		6,559	0
	Rata - Rata	<b>5,95</b>	<b>0,046</b>	Rata - Rata	<b>6,512</b>	<b>0,046</b>
3	7	6,8	0,2	7,559	7,359	0,2
		6,84	0,16		7,399	0,16
		6,98	0,02		7,539	0,02
	Rata - Rata	<b>6,87</b>	<b>0,126</b>	Rata - Rata	<b>7,432</b>	<b>0,126</b>
4	8	8,09	0,09	8,559	8,649	0,09
		7,80	0,2		8,359	0,2
		7,85	0,15		8,409	0,15
	Rata - Rata	<b>7,91</b>	<b>0,146</b>	Rata - Rata	<b>8,472</b>	<b>0,146</b>

Kesimpulan :

- Perbedaan sudut derajat belok yang sangat sensitif, hal ini ditunjukkan oleh perbedaan yang cukup besar ketika pengujian kendaraan
- Radius putar terkecil yaitu pada radius 5,5 meter
- Radius putar terbesar yaitu pada radius 8,09 meter
- Selisih rata – rata radius terkecil yaitu 0,33 meter pada radius belok 5,5 meter
- Selisih rata – rata radius terbesar yaitu 0,146 meter pada radius belok 8 meter



**Gambar 4.22 Pengujian Selisih Sudut Belok terhadap Pusat Belok**



**Gambar 4.23. Diagram Bebas Selisih Sudut Belok Terhadap Pusat Belok**

**Tabel 4.4 Hasil Pengujian Selisih Sudut Belok terhadap Pusat Belok**

No	Radius Putar ( $R_t$ ) (cm)	Selisih Terhadap Pusat Belok (cm)		Selisih (cm)
		Pengujian	Desain	
1	550	-7,5	-4,3	3,2
2	600	1	0	1
3	700	2	0,3	0,7
4	800	8	3,6	4,4

Kesimpulan :

- Pengujian di lapangan mempunyai nilai selisih lebih besar dari desain
- Selisih terbesar antara pengujian dan desain adalah 4,4 cm pada radius belok 8 meter
- Selisih terkecil antara pengujian dan desain adalah 1 cm pada radius belok 6 meter



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan analisis dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Hasil pengujian menunjukkan hasil selisih pusat titik belok dengan sudut belok untuk radius 5,5 meter adalah 7,5 cm, radius 6 meter adalah 1 cm, radius 7 meter adalah 2 cm dan radius 8 meter adalah 8 cm. Dihasilkan oleh sudut lengan *knuckle Ackermann* dengan nilai sudut  $13,72^{\circ}$ . Radius belok 6 meter disesuaikan dengan regulasi minimum belok yang terdapat pada regulasi teknis Kontes Mobil Hemat Energi 2016.
- 2) Perbaikan desain (*design improvement*) yang telah dilakukan dapat memperoleh sudut belok pada satu titik. Maka sudut lengan *knuckle* untuk radius putar 6 meter adalah  $13,72^{\circ}$ . Radius putar 6 meter merujuk pada regulasi teknis Kontes Mobil Hemat Energi 2016.
- 3) Sudut belok dalam kendaraan untuk radius belok 5,5 meter adalah  $15,42^{\circ}$  dan sudut belok luar adalah  $14,44^{\circ}$ . Untuk radius belok 6 meter untuk sudut dalam adalah  $14,11^{\circ}$  dan sudut luar adalah  $13,29^{\circ}$ . Untuk radius belok 7 meter sudut dalam adalah  $12,06^{\circ}$  dan sudut luar adalah  $11,45^{\circ}$ . Untuk radius belok 8 meter sudut dalam adalah  $10,53^{\circ}$  dan sudut luar adalah  $10,06^{\circ}$ . Sedang hasil pengujian untuk radius 5,5 meter sudut dalam adalah  $15,33^{\circ}$  dan sudut luar adalah  $14,37^{\circ}$ . Untuk

radius belok 6 meter untuk sudut dalam adalah  $14,23^{\circ}$  dan sudut luar adalah  $13,40^{\circ}$ . Untuk radius belok 7 meter sudut dalam adalah  $12,30^{\circ}$  dan sudut luar adalah  $11,66^{\circ}$ . Untuk radius belok 8 meter sudut dalam adalah  $10,66^{\circ}$  dan sudut luar adalah  $10,18^{\circ}$ . Dihasilkan oleh sudut *Ackermann* dengan nilai sudut  $13,72^{\circ}$  yang merupakan menghasilkan radius belok 6 meter disesuaikan dengan regulasi minimum belok yang terdapat pada regulasi teknis Kontes Mobil Hemat Energi 2016.

## 5.2 Saran

- a. Diperlukan perhitungan sudut slip roda pada kenyataannya untuk melihat pengaruhnya terhadap perilaku *understeer* dan *oversteer* dari kendaraan
- b. Diperlukan perhitungan bagi anggota Batavia Team yang memakai jenis kendaraan jenis *trike* tiga roda untuk mengetahui *layout* sirkuit yang digunakan dan memprediksi radius putar yang diperlukan ketika perlombaan berlangsung dan tidak berpatok pada regulasi teknis perlombaan semata. Sehingga membuat desain kemudi yang ideal untuk radius belok tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA

- Eulistyetio, <http://elib.unikom.ac.id/files/disk1/306/jbptunikompp-gdl-eulisyetio-15298-2-babii.pdf> diakses pada tanggal 03 Juli 2016, pukul 20.28 WIB.
- [FT] Fakultas Teknik. 2015. *Buku Panduan Penyusunan Skripsi dan Non Skripsi*. Jakarta: Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta.
- George, Patrick E., How Three-Wheel Cars Work, <http://auto.howstuffworks.com/three-wheel-car.htm> diakses pada tanggal 2 Juli 2016 pukul 22.15 WIB.
- Gillespie, Thomas D. 1992. *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. Warendale: Society of Otomotif Engineers Inc.
- Hidayat, Nur dkk. *Autodesk Inventor Mastering 3D Mechanical Design*. Bandung: Informatika, 2011.
- Regulasi Teknis Kontes Mobil Hemat Energi 2016*, 2016.
- Sergheyev, Nehmo. 2012. *Ackermann Steering Need Geometric Explanation*. <http://mathforum.org/kb/thread.jspa?threadID=2337599> diakses pada tanggal 19 Januari 2017 pukul 16.40 WIB
- Step 2 Toyota Wheel Alignment and ECS*, 2005
- Sutantra, I Nyoman. 2010. *Teknologi Otomotif*. Ed ke-2. Surabaya: Guna Widya.
- Thomas, Henry. 2007. *Jet Trike an Open Design*. <http://www.jetrike.com/tadpole-or-delta.html> diakses pada tanggal 2 Juli 2016 pukul 22.15 WIB.



Building  
Future  
Leaders

# KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA

FAKULTAS TEKNIK

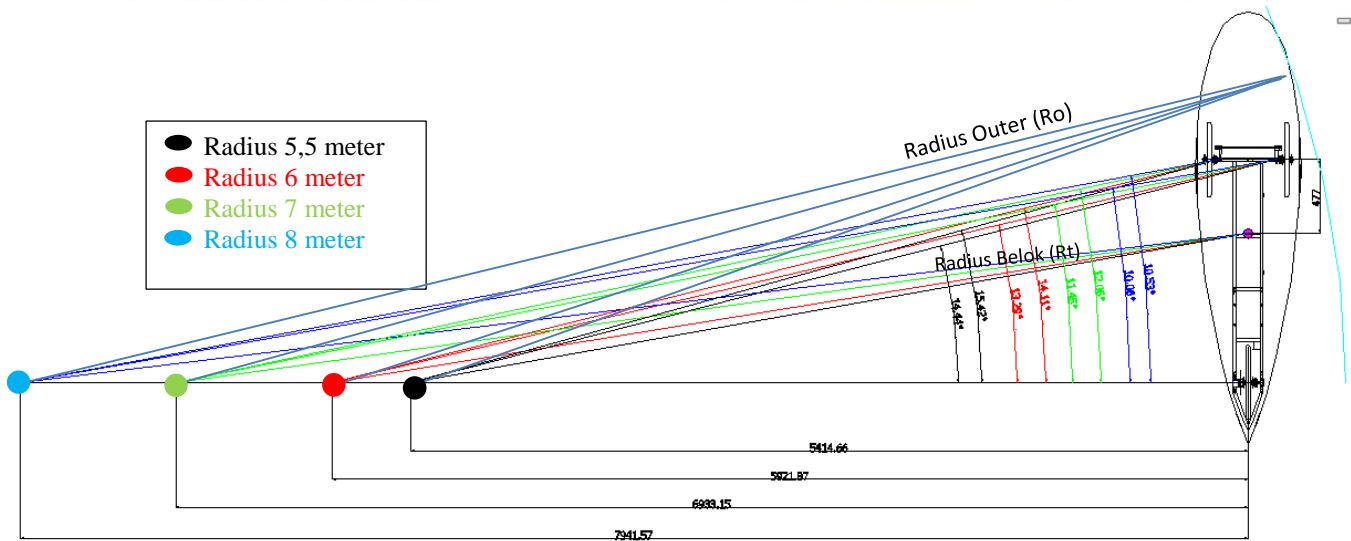
Gedung L Kampus Universitas Negeri Jakarta: Jl. Rawamangun Muka Jakarta Timur 13220

Telp. (62-21) 4890046, ext.213, 4751523, 47864808, Faximile : (62-21) 4751523

Website: <http://ft.unj.ac.id> email: [ft@unj.ac.id](mailto:ft@unj.ac.id)



Certificate ID11/01792



No	Turning Radius (R <sub>t</sub> ) (m)	Hasil Pengujian (m)	Selisih (m)	Outer Turning Radius (R <sub>o</sub> ) (m)	Hasil Pengujian (m)	Selisih (m)
1	5,5	5,59	0,09	6,059	6,149	0,09
		5,50	0		6,059	0
		5,51	0,01		6,069	0,01
	Rata - Rata	<b>5,53</b>	<b>0,033</b>	Rata - Rata	<b>6,092</b>	<b>0,033</b>
2	6	5,9	0,1	6,559	6,459	0,1
		5,96	0,04		6,519	0,04
		6,0	0		6,559	0
	Rata - Rata	<b>5,95</b>	<b>0,046</b>	Rata - Rata	<b>6,512</b>	<b>0,046</b>
3	7	6,8	0,2	7,559	7,359	0,2
		6,84	0,16		7,399	0,16
		6,98	0,02		7,539	0,02
	Rata - Rata	<b>6,87</b>	<b>0,126</b>	Rata - Rata	<b>7,432</b>	<b>0,126</b>
4	8	8,09	0,09	8,559	8,649	0,09
		7,80	0,2		8,359	0,2
		7,85	0,15		8,409	0,15
	Rata - Rata	<b>7,91</b>	<b>0,146</b>	Rata - Rata	<b>8,472</b>	<b>0,146</b>

Jakarta, 2 Agustus 2017

Mahasiswa Penguji

Disaksikan oleh  
Dosen Pembimbing

Drs. Sirojuddin, MT  
NIP: 196010271990031003

Ahmad Jauhary  
NIM. 5315116433



Building  
Future  
Leaders

# KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA

FAKULTAS TEKNIK

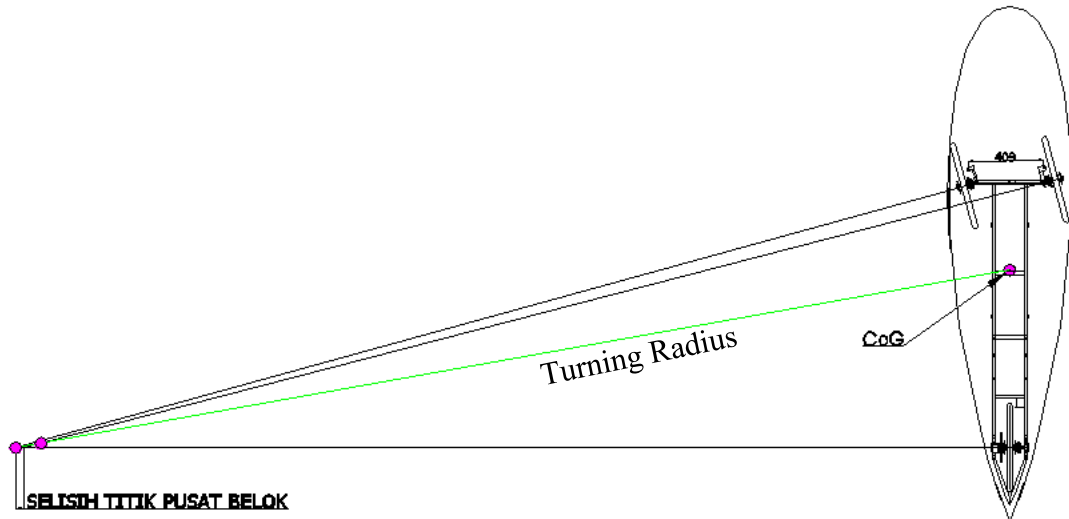
Gedung L Kampus Universitas Negeri Jakarta: Jl. Rawamangun Muka Jakarta Timur 13220

Telp. (62-21) 4890046, ext.213, 4751523, 47864808, Faximile : (62-21) 4751523

Website: <http://ft.unj.ac.id> email: [ft@unj.ac.id](mailto:ft@unj.ac.id)



Certificate ID1/01792



## HASIL PENGUJIAN SELISIH SUDUT BELOK TERHADAP PUSAT BELOK

No	Radius Putar (cm)	Selisih Terhadap Pusat Belok (cm)		Selisih (cm)
		Pengujian	Desain	
1	550	-7,5	-4,3	3,2
2	600	1	0	1
3	700	2	0,3	0,7
4	800	8	3,6	4,4

Jakarta, 2 Agustus 2017

Disaksikan oleh  
Dosen Pembimbing

Mahasiswa Penguji

Drs. Sirojuddin, MT  
NIP: 196010271990031003

Ahmad Jauhary  
NIM. 5315116433



### Lampiran 3.

#### 1. Perhitungan letak titik berat terhadap sumbu x, y, dan z tanpa pengemudi.

##### a) Perhitungan titik berat kendaraan sumbu x

Perhitungan letak titik berat kendaraan dari poros roda depan (a)

- $a = \frac{L \cdot W_r}{W_f + W_r}$
- $a = \frac{1442 \cdot 349,24}{706,32 + 349,24}$
- $a = \frac{503604,08}{1055,56}$
- $a = 477,096 \text{ mm}$

Perhitungan letak titik berat dari poros roda belakang (b)

- $b = \frac{L \cdot W_f}{W_f + W_r}$
- $b = \frac{1442 \cdot 706,32}{1055,56}$
- $b = \frac{1018513,44}{1055,56}$
- $b = 964,9 \text{ mm}$

##### b) Perhitungan letak titik berat kendaraan terhadap sumbu y

Perhitungan letak titik berat kendaraan dari roda kiri depan ( $T_{fL}$ )

- $T_{fL} = \frac{T_f \cdot W_{fL}}{W_{fL} + W_{fR}}$
- $T_{fL} = \frac{502 \cdot 351,2}{706,32}$
- $T_{fL} = \frac{176302,4}{706,32}$
- $T_{fL} = 249,6 \text{ mm}$

Perhitungan letak titik berat kendaraan dari roda kanan depan ( $T_{fR}$ )

- $T_{fR} = \frac{T_f \cdot W_{fR}}{W_{fL} + W_{fR}}$

- $T_{fR} = \frac{502.355,12}{706,32}$
- $T_{fii} = \frac{178270,24}{706,32}$
- $T_{fii} = 252,4 \text{ mm}$

**c) Perhitungan letak titik berat kendaraan terhadap sumbu z**

Perhitungan letak titik berat kendaraan dari permukaan tanah (h)

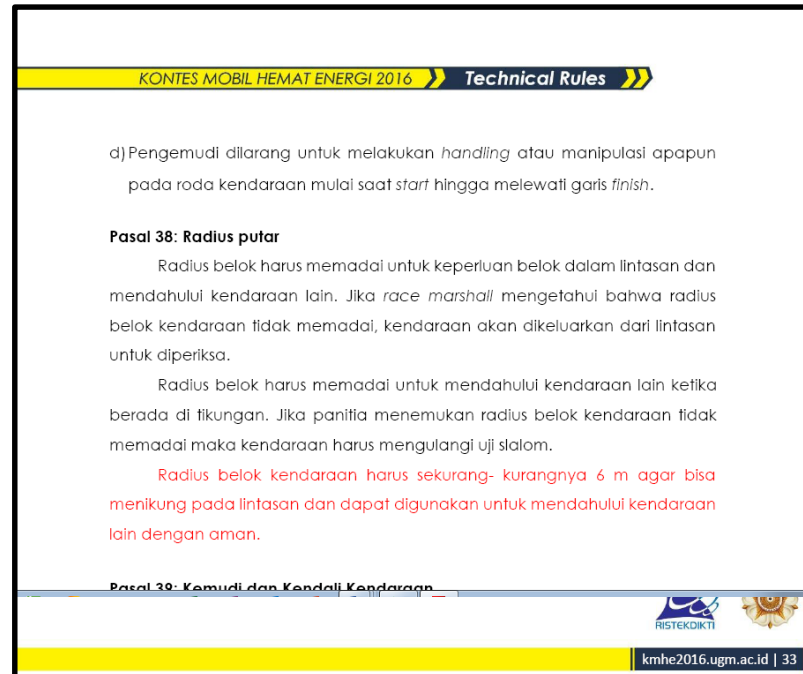
- $\theta = \text{Sin}^{-1} \left( \frac{x}{L} \right)$
- $\theta = \text{Sin}^{-1} \left( \frac{140}{1442} \right)$
- $\theta = 5,56 \longrightarrow 5,5$
- $\sum M = 0$
- $W(h_r \cdot \sin\theta + (L - b) \cdot \cos\theta) - W_{r\theta} \cdot L \cdot \cos\theta$
- $W \cdot (L - b) \cdot \cos\theta - W_{r\theta} \cdot L \cdot \cos\theta = W \cdot h_r \cdot \sin\theta$
- $h_r = \frac{W \cdot a \cdot \cos\theta - W_{r\theta} \cdot L \cdot \cos\theta}{W \cdot \sin\theta}$
- $h_r = \frac{W \cdot a - W_{r\theta} \cdot L}{W \cdot \tan\theta}$
- $h_r = \frac{(1055,56 \cdot 477,1) - (353,16 \cdot 1442)}{(1055,56 \cdot \tan 5,5)}$
- $h_r = \frac{-5694,04}{101,33}$
- $h_r = -55,74 \text{ mm}$

Letak tinggi titik berat dari permukaan tanah

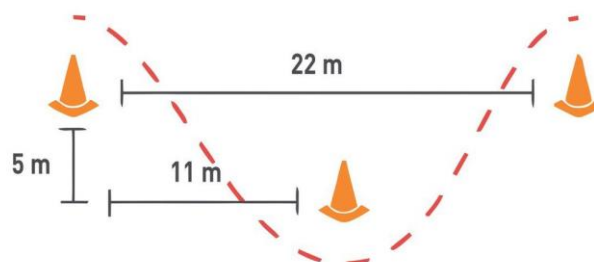
- $h = h_r + r$
- $h = -55,74 + 242,5$
- $h = 186,76 \text{ mm}$



## Lampiran 4.



### Peraturan Teknis Tentang Radius Putar Pada Kompetisi Kntes Mobil Hemat Energi 2016, Yogyakarta.



Layout slalom KMHE 2016 mengacu pada slalom dinamis Shell Eco Marathon Amerika dengan radius belok 6m.

### Layout Slalom pada Inspeksi Kendaraan Kontes Mobil Hemat Energi 2016

## RIWAYAT HIDUP



**Ahmad Jauhary** lahir di DKI Jakarta, pada tanggal 3 Januari 1991. Putra bungsu dari 5 bersaudara pasangan H. Ahmad Kazruny dan Hj. Siti Salmah. Bertempat tinggal di Jl. Mampang Prapatan 4/B, No. 8 Jakarta Selatan.

Menempuh pendidikan di MI Al- Khairiyah Jakarta Selatan, Pondok Modern Darussalam Gontor, Ponorogo, dan Universitas Negeri Jakarta (UNJ) pada Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik (FT). Pengalaman di organisasi diantaranya, Staff Pendidikan dan Teknologi BEMJ Teknik Mesin UNJ 2011/2012. *Chassis and Body Division* sekaligus Manajer Tim Mobil Listrik Batavia Electra, Batavia Team UNJ pada tahun 2013 – 2014. Pada tahun 2013 sampai 2014 setiap tahun selalu mengikuti ajang *Shell Eco Marathon Asia* di Manila, Filipina dan *Indonesia Energy Marathon Challenge* di Surabaya, mewakili Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Jakarta.