

TUGAS AKHIR – TM 091486

## **ANALISA PERILAKU GERAK BELOK MOBIL LISTRIK ITS 1**

PRADANA SETIA BUDI LAKSANA  
NRP. 21110100113

Dosen Pembimbing  
**Dr.Eng.Unggul Wasiwitono,ST.,M.Eng.Sc**

Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2014



FINAL PROJECT – TM 091486

**ANALYSIS OF TURNING MOTION BEHAVIOR ELECTRIC  
CAR ITS 1**

PRADANA SETIA BUDI LAKSANA  
NRP. 21110100113

Adviser Lecturer

**Dr.Eng.Unggul Wasiwitono,ST.,M.Eng.Sc**

Mechanical Engineering Department  
Industrial Engineering Faculty  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2014

# ANALISA PERILAKU GERAK BELOK MOBIL LISTRIK ITS 1

**Nama** : Pradana Setia Budi Laksana  
**NRP** : 2110100113  
**Jurusan** : Teknik Mesin  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Eng. Unggul Wasiwitono, ST., M.  
Eng. Sc

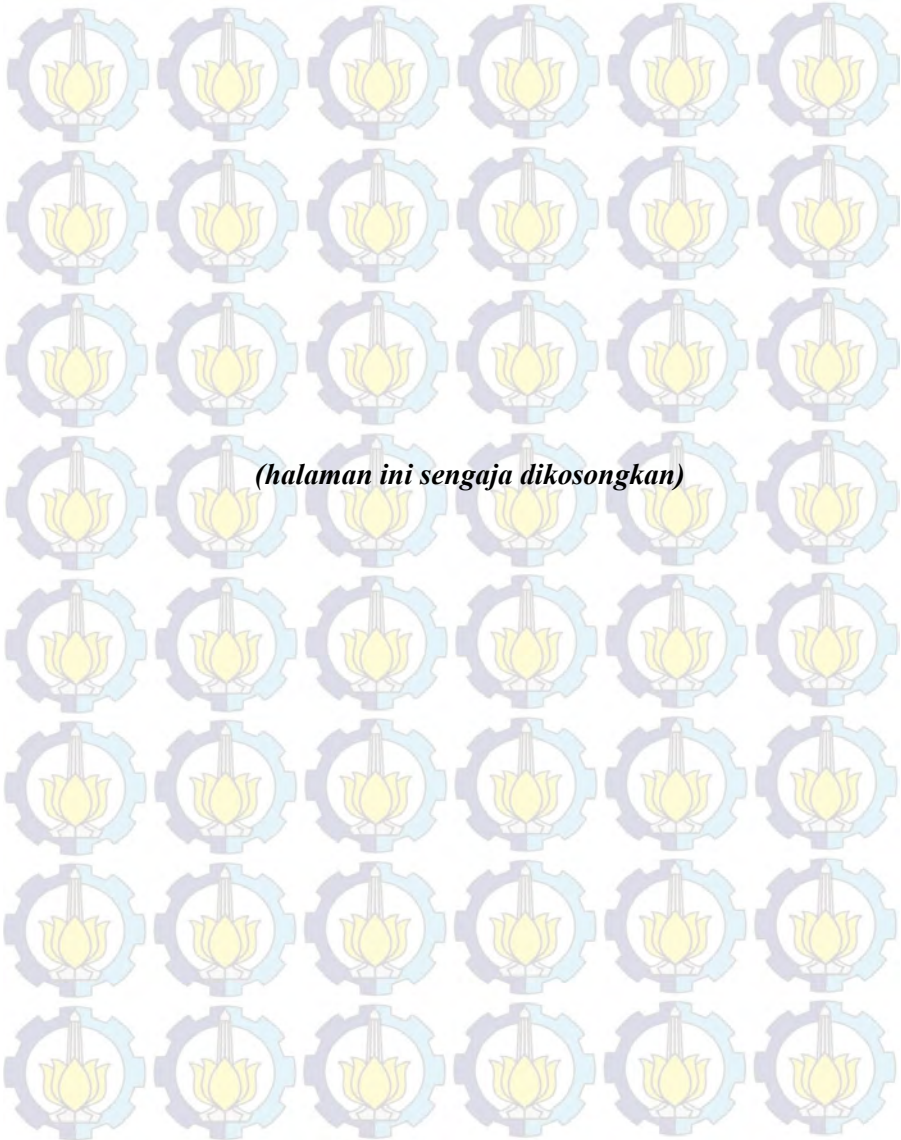
## ABSTRAK

Di era modern ini, transportasi memberikan peranan yang sangat penting bagi kehidupan sehari-hari manusia. Mobil merupakan alat transportasi yang sering digunakan di Indonesia. mobil Listrik diciptakan untuk menjawab krisis energi yang disebabkan semakin berkurangnya cadangan bahan bakar fosil di dunia. Selain dari sisi bahan bakar yang terbarukan, stabilitas kendaraan yang optimal harus diperhatikan. Stabilitas ini menentukan perilaku kendaraan saat berbelok.

Pada Tugas Akhir ini dilakukan analisa kestabilan arah kendaraan berdasarkan variasi posisi titik berat. Posisi titik berat ini ditentukan dari layout kendaraan. Kemudian dianalisa dari ketiga posisi titik berat berdasarkan nilai *understeer index* (Kus) terendah. Setelah dipilih rancangan posisi titik berat yang paling optimal, selanjutnya dianalisa dengan variasi kecepatan. Analisa kestabilan arah dilakukan pada kecepatan 20 km/jam sampai 80 km/jam dengan sudut belok ( $\delta_f$ )  $0,01^0$  sampai  $30^0$ .

Dari analisa ini akan didapatkan perilaku belok dari seluruh layout kendaraan yang memiliki posisi titik berat yang berbeda. Selain itu, didapatkan grafik  $V$  VS  $\delta_f$ ,  $F$  VS  $\delta_f$  dan  $Kus$  VS  $\delta_f$ , yang menunjukkan karakteristik kestabilan arah kendaraan.

**Kata kunci** : *Acceleration, Electric Vehicle, Stability, Efficiency, Understeer Index, Oversteer dan Understeer*



## ANALYSIS OF TURNING MOTION BEHAVIOR ELECTRIC CAR ITS 1

Name : Pradana Setia Budi Laksana  
NRP : 2110 100 113  
Department : Mechanical Engineering FTI-ITS  
Advisor Lecture : Dr. Eng. Unggul Wasiwitono, ST., M.  
Eng. Sc

### ABSTRACT

In this modern era, transportation provide a very important role for human daily life. Car is a means of transportation that is often used in Indonesia. Electric cars are created to address the energy crisis caused by the reduction in fossil fuel reserves in the world. Apart from the renewable fuel, stabilitas optimal vehicle must be considered. This determines the behavior of the vehicle stability when turning.

In this final project the direction of vehicle stability analysis based on variations in the position of the center of gravity. The position of the center of gravity is determined from the layout of the vehicle. Then analyzed on the third position of the center of gravity based on the value of understeer index ( $K_{us}$ ) the lowest. Having selected the design positions the center of gravity is the most optimal, then analyzed by velocity variations. Stability analysis is done at a speed direction at 20 km / h to 80 km / h with a turn angle ( $\delta_f$ ) 0,010 to 300.

Obtained from this analysis will turn the behavior of the entire layout of the vehicle which has a different center of gravity position. In addition, the graphs obtained  $\delta_f$  V VS, F VS VS  $\delta_f$  and  $\delta_f$   $K_{us}$ , which shows the direction of the vehicle stability characteristics.

**Key word :** *Acceleration, Electric Vehicle, Stability, Efficiency, Understeer Index, Oversteer dan Understeer*





**ANALISA PERILAKU GERAK BELOK MOBIL LISTRIK  
ITS 1**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Desain  
Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**PRADANA SETIA BUDI LAKSANA**  
**Nrp. 2110 100 113**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr.Eng.Unggul Wasiwitono,ST.,M.Eng.Sc  
(197805102001121001)

.....  
(Pembimbing)

2. Ir. Yusuf Kaelani,M.Sc  
(196511031990021001)

.....  
(Penguji I)

3. Alief Wikarta, ST, MSc.Eng, PhD  
(198202102006041002)

.....  
(Penguji H)

4. Yohanes, ST., MSc  
(198006272012121003)

.....  
(Penguji III)

**SURABAYA**  
**Juli , 2014**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga Tugas Akhir yang saya kerjakan dapat saya selesaikan dengan baik.

Laporan Tugas Akhir ini saya susun sesuai dengan bidang studi saya Desain dengan judul Analisa Perilaku Gerak Belok Mobil Listrik ITS 1. Saya juga tidak lupa mengucapkan terima kasih kepada.

1. Ir. Bambang Pramujati, M.Eng,Sc,PhD., selaku Kepala Jurusan Teknik Mesin FTI ITS
2. Dr.Eng.Unggul Wasiwitono,ST.,M.Eng.Sc.,selaku dosen pembimbing Tugas Akhir
3. Dr. Ir. Suharto, DEA, selaku dosen wali
4. Prof.Ir.I.Nyoman Sutantra, MSc.,PhD, selaku dosen penguji 1 Seminar
5. Alief Wikarta, ST, MSc.Eng, PhD.selaku dosen penguji 2 Tugas Akhir
6. Ir. Yusuf Kaelani, M.Sc., selaku dosen penguji 3 Sidang Tugas Akhir
7. Yohannes, ST, selaku dosen penguji Seminar Tugas Akhir.
8. Ir. Yunarko Triwinarno, MT., selaku dosen penguji Seminar Tugas Akhir
9. Dr. Wiwiek Hendrowati,ST.MT., selaku Kasie Proposal dan Tugas Akhir
10. Kedua orang tua penulis yang telah memberikan motivasi
11. Semua pihak yang telah membantu atas terselesaikannya laporan Tugas Akhir ini.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu mata kuliah wajib yang harus ditempuh oleh mahasiswa Teknik Mesin FTI-ITS agar memenuhi syarat kelulusan. Kami menyadari laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu saya mengharapkan kritik dan saran demi kesempurnaan laporan



Tugas Akhir saya. Semoga laporan Tugas Akhir yang saya buat dapat bermanfaat.

Surabaya, Juli 2014  
Penyusun



## DAFTAR ISI

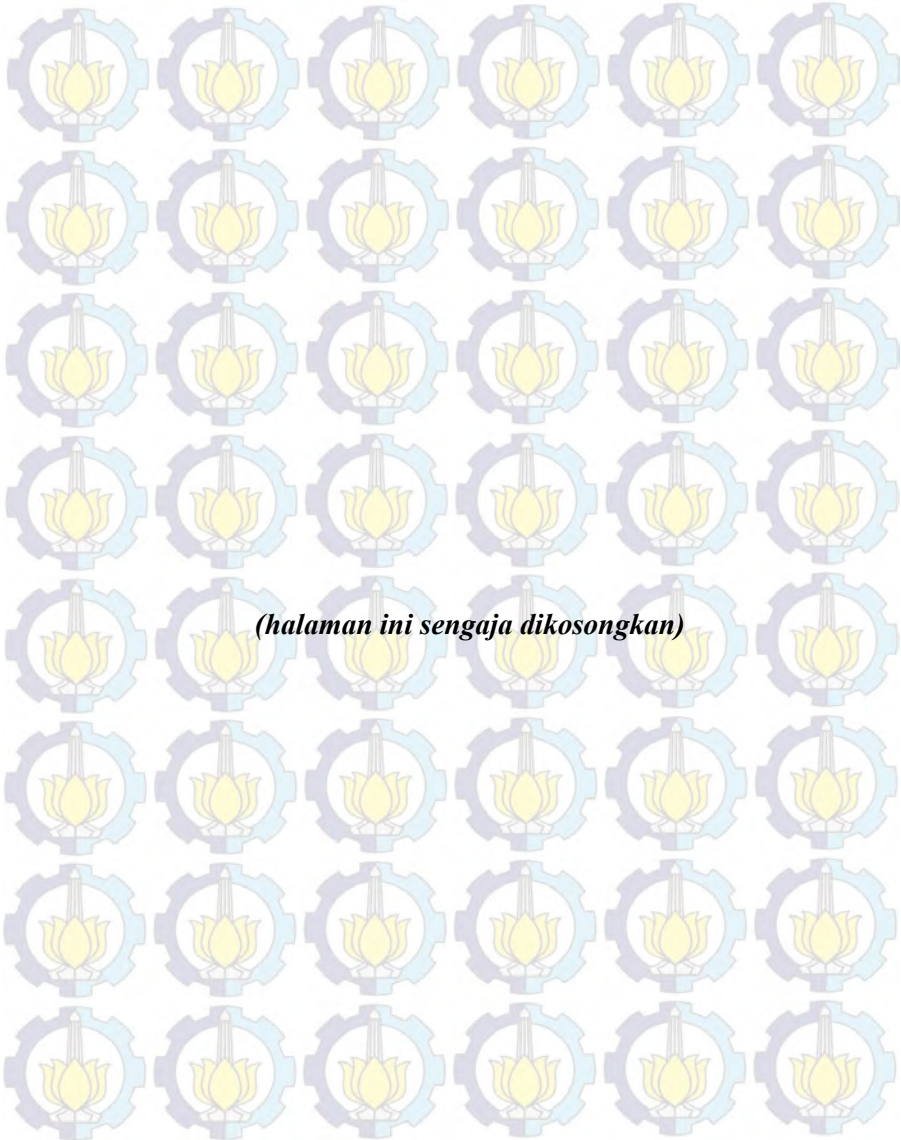
<b>HALAMAN JUDUL</b>	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>ABSTRAK</b> .....	iv
<b>ABSTRACT</b> .....	vi
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	viii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xvi
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	1
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	2
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1. Perkembangan Mobil listrik.....	5
2.1.1. Sejarah Mobil listrik.....	7
2.2. Dasar Teori Analisa Stabilitas.....	7
2.2.1. <i>Center of Gravity</i> .....	9
2.3. Perilaku Belok Kendaraan.....	9
2.3.1. Perilaku kendaraan belok kondisi ideal/ ackerman.....	11
2.3.2. Perilaku kendaraan belok kondisi nyata....	14
2.4. Perumusan gaya-gaya dari kendaraan belok... 2.4.1. Jalan datar .....	14
2.5. Analisa <i>Skid</i> .....	23
2.5.2. Analisa Roda Depan Skid.....	24
2.5.3. Analisa Roda Belakang Skid.....	25
2.6. Analisa Guling .....	25
2.6.1. Analisa Roda Depan Guling.....	26
2.6.2. Analisa Roda Belakang Guling.....	26

2.7. Faktor-Faktor yang Berpengaruh Terhadap Sudut Slip.....	27
2.7.1. Sudut-sudut Roda .....	29
2.8. <i>Understeer index</i> dan kecepatan karakteristik .....	31
<b>BAB II METODOLOGI.....</b>	<b>33</b>
3.1. Prosedur Penelitian .....	33
3.2. <i>Flowchart</i> .....	34
3.2.1. Kestabilan arah pada lintasan melingkar dengan R konstan.....	34
3.3. Prosedur Perhitungan .....	35
3.3.1. Analisa stabilitas arah pada lintasan melingkar dengan radius konstan.....	35
<b>BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN..</b>	<b>37</b>
4.1. Data dan spesifikasi kendaraan.....	37
4.2. Analisa dan kestabilan arah.....	44
4.2.1. Contoh perhitungan stabilitas.....	44
2.1.1. Perhitungan Pusat titik berat.....	44
2.1.2. Menghitung radius ackerman ( $R_{ack}$ ) dan sudut slip ( $\beta$ ).....	45
2.1.3. Mencari gaya sentrifugal ( $F_c$ ).....	46
2.1.4. Gaya hambat angin (drag force).....	47
2.1.5. Menghitung gaya gesekan pada roda depan dan belakang ( $F_{gf}$ dan $F_{gr}$ ).....	47
2.1.6. Gaya normal ( $F_z$ ).....	48
2.1.8. Gaya lateral ( $F_y$ ).....	50
2.1.9 Gaya longitudinal ( $F_x$ ).....	51
2.1.10. Menghitung sudut slip ( $\alpha$ ).....	52
2.1.11 Menghitung radius belok nyata ( $R_n$ )....	56
2.1.12. Menghitung understeer index ( $K_{us}$ )....	56
4.2.2. Analisa skid dan roda terangkat.....	57
2.2.1. Analisa roda depan skid.....	57
2.2.2. Analisa roda belakang skid.....	57
2.2.3 Kecepatan kritis saat skid.....	58
2.2.4 kecepatan kritis saat guling.....	59
4.2.3. USER INTERFACE GUI-MATLAB Stabilitas	



Mobil Listrik ITS 1.....	59
4.3. Pembahasan grafik.....	61
4.3.1. Pembahasan Grafik Variasi Layout terhadap 61 Perilaku Gerak Belok Kendaraan....	61
4.3.2. Pembahasan Grafik Perubahan Kemiringan Suspensi Terhadap Perilaku Gerak Belok	64
4.3.3. Pembahasan Grafik Analisa Skid.....	67
3.3.1. Pembahasan Grafik Analisa Skid pada Layout 1 pada $V=40$ km/jm.....	67
3.3.2. Pembahasan Grafik Analisa Skid pada Layout 2 pada $V=40$ km/jm.....	69
3.3.3. Pembahasan Grafik Analisa Skid pada Layout 3 pada $V=40$ km/jm.....	71
3.3.4. Pembahasan Grafik Analisa Skid pada Layout 4 pada $V=40$ km/jm.....	73
4.3.4. Pembahasan Grafik Analisa Guling .....	75
3.4.1. Pembahasan Grafik Analisa guling pada $V = 40$ km/jm.....	75
4.3.5 Pembahasan Grafik Kecepatan Kritis.....	79
3.5.1 Pembahasan Grafik Kecepatan Kritis saat Skid	79
3.5.2 Pembahasan Grafik Kecepatan Kritis saat Guling	82
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>85</b>
5.1. Kesimpulan.....	85
5.2. saran.....	85
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>87</b>
<b>LAMPIRAN</b>	





## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Harga rata-rata hambatan rolling untuk beberapa jenis ban dan kondisi jalan.....	24
Tabel 4.1. Rancangan spesifikasi Mobil Listrik ITS 1..	39
Tabel 4.2 Variasi Rancangan Posisi Titik Berat.....	43
Tabel 4.3 Variasi kemiringan suspensi.....	45



*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>Thomas Edison</i> dan sebuah mobil listrik tahun 1913	6
Gambar 2.2	<i>Tesla Roadster</i> yang dijual di AS dan Eropa memiliki jarak tempuh sekitar 245 mil sekali pengisian baterainya	7
Gambar 2.3	Diagram Badan Bebas kendaraan	8
Gambar 2.4	Kinematika kendaraan belok tanpa sudut slip	10
Gambar 2.5	Kinematika kendaraan belok dengan sudut slip	11
Gambar 2.6	Kendaraan mengalami <i>oversteer</i>	13
Gambar 2.7	Kendaraan mengalami <i>understeer</i>	14
Gambar 2.8	Gaya-gaya dan momen pada kendaraan	15
Gambar 2.9	Pengaruh gaya sentrifugal pada momen rolling terhadap roda belakang	17
Gambar 2.10	Pengaruh gaya sentrifugal pada momen rolling terhadap roda depan	19
Gambar 2.11	Pengaruh gaya sentrifugal pada gerakan pitching	21
Gambar 2.12	Gaya pada arah- x dan arah-y	22
Gambar 2.13	Analisa guling kendaraan	26
Gambar 2.14	Sudut slip akibat deformasi ban	29
Gambar 2.15	Camber	30
Gambar 2.16	Caster	31
Gambar 2.17	Toe	32
Gambar 3.1	Flowchart perhitungan kestabilan arah lintasan melingkar dengan R konstan	37
Gambar 4.1	Desain Mobil Listrik ITS 1	39
Gambar 4.2	Posisi <i>center of gravity</i> pada <i>layout</i> 1	41
Gambar 4.3	Posisi <i>center of gravity</i> pada <i>layout</i> 2	41
Gambar 4.4	Posisi <i>center of gravity</i> pada <i>layout</i> 3	42
Gambar 4.5	Posisi <i>center of gravity</i> pada <i>layout</i> 4	42
Gambar 4.6	Kemiringan sudut 1	44



Gambar 4.7. Kemiringan sudut 2.....	44
Gambar 4.8 Kemiringan sudut 3.....	45
Gambar 4.9 GUI-MATLAB Stabilitas Mobil Listrik ITS 1..	61
Gambar 4.10. Grafik nilai Kus pada masing-masing layout..	64
Gambar 4.11 Grafik nilai Kus dengan perbedaan kemiringan suspensi depan.....	67
Gambar 4.12 Grafik gaya gesek dan gaya sentrifugal pada layout 1.....	69
Gambar 4.13 Grafik gaya gesek dan gaya sentrifugal pada layout 2.....	71
Gambar 4.14 Grafik gaya gesek dan gaya sentrifugal pada layout 3.....	73
Gambar 4.15 Grafik gaya gesek dan gaya sentrifugal pada layout 4.....	75
Gambar 4.16 Grafik gaya normal setiap roda pada masing-masing layout.....	78
Gambar 4.17 Grafik kecepatan kritis saat skid pada masing- masing layout.....	82
Gambar 4.18 Grafik kecepatan kritis saat guling pada masing- masing layout.....	85

## DAFTAR NOTASI

### NOTASI

### PENJELASAN

O pusat sumbu putar sesaat

Rack radius belok *ackerman* (ideal)

$\Theta_i$  sudut belok ideal

$\beta$  sudut slip kendaraan

$\delta_f$  sudut steer rata-rata roda depan

$\theta_n$  sudut belok nyata

$R_n$  radius belok nyata

$\alpha_f$  sudut slip rata-rata ban roda depan

$\alpha_r$  sudut slip rata-rata roda belakang

O pusat belok nyata

$F_d$  gaya hambat angin/*drag force*

$\rho$  *density* udara

$C_d$  kecepatan relatif angin terhadap kendaraan

$A_f$  luas bidang frontal kendaraan

Cd koefisien gaya hambat

K Konstruksi Ban

$F_x$  Gaya Longitudinal

$F_y$  Gaya Lateral

$F_z$  Gaya Normal

P Tekanan Ban

A Keausan Ban

$F_c$  Gaya Sentrifugal

$\alpha_{rg}$  sudut slip ban radial gundul



*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Dari zaman dahulu, transportasi merupakan bidang terpenting yang mendukung semua segi kehidupan. dimana pada zaman dahulu manusia berpindah tempat dengan berjalan kaki kemudian setelah itu manusia menggunakan hewan sebagai alat transportasi benda maupun manusia itu sendiri. saat ini cara tersebut sudah mulai ditinggalkan karena mengingat cara-cara tersebut membutuhkan energi yang sangat besar. sehingga mulai diciptakan mesin sebagai penggerak utamanya. sehingga muncul di era ini yang dikenal dengan sepeda motor, mobil, pesawat, dan lain-lain. Terciptanya alat-alat transportasi ini dikarenakan semakin beragamnya kebutuhan masyarakat akan tempat dan waktu yang sangat terbatas. Di Indonesia sendiri kendaraan yang paling populer saat ini adalah kendaraan roda empat atau mobil. alat transportasi ini sangat diminati di Indonesia karena adat istiadat masyarakat itu sendiri yang rasa kekeluargaannya sangat kental sehingga jika satu orang akan berekreasi biasanya akan mengajak seluruh keluarganya ikut serta sehingga diperlukan kendaraan yg mampu membawa seluruh anggota keluarga tersebut.

Institut Teknologi Sepuluh Nopember merupakan salah satu perguruan tinggi negeri yang ditunjuk untuk mengembangkan kendaraan nasional dengan bahan bakar yang ramah lingkungan. Jurusan Teknik Mesin ITS merupakan salah satu jurusan yang ikut terlibat di dalam pengembangan ini pada bagian pembuatan rangka utama kendaraan.

Pada rangka utama yang telah dibuat terdapat beberapa kelemahan salah satunya yaitu dimana *groud clearance* dari kendaraan tersebut sangat kecil sehingga akan



membahayakan bila digunakan pada jalanan yang memiliki karakteristik tidak rata dan bergelombang yang dapat menyebabkan kerusakan pada baterai yang diletakkan di dasar rangka utama. Selain itu belum ditentukannya posisi peletakan baterai yang dapat memberikan stabilitas yang paling baik pada saat kendaraan berbelok.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Kestabilan adalah hal yang sangat penting dalam setiap kendaraan. Pada tugas akhir ini dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh dari kemiringan sudut suspensi depan dan belakang terhadap kenaikan ketinggian *ground clearance*.
2. Bagaimana perilaku belok kendaraan untuk berbagai *layout* dari kendaraan Mobil Listrik ITS 1
3. Bagaimana ketahanan terhadap guling (*rollover*) untuk berbagai *layout* dari kendaraan Mobil Listrik ITS 1

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari tugas akhir ini adalah:

1. Menganalisa pengaruh dari kemiringan sudut suspension depan dan belakang terhadap kenaikan ketinggian *ground clearance*.
2. Menganalisa perilaku belok kendaraan untuk berbagai *layout* dari kendaraan Mobil Listrik ITS 1
3. Menganalisa ketahanan kendaraan terhadap guling (*rollover*) untuk berbagai *layout* dari kendaraan Mobil Listrik ITS 1

## 1.4 Batasan Masalah

Agar penulisan tugas akhir ini terarah, maka perlu diberikan beberapa batasan masalah, yaitu:

1. Kendaraan yang dirancang adalah mobil listrik nasional (MOLINA ITS) dengan 4 penumpang masing-masing 100 kg
2. Spesifikasi dimensi kendaraan antara lain sebagai berikut:
  - a. Wheelbase : 2450 mm
  - b. Track width : 1475 mm
  - c. Panjang kendaraan : 3800 mm
  - d. Lebar kendaraan : 1700 mm
  - e. Tinggi kendaraan : 1510 mm
  - f. Berat kosong : 1000 kg
  - g. Diameter roda : 496 mm
  - h. Kapasitas penumpang : 4 orang
  - i. Kapasitas muat maks : 500 kg
3. Kendaraan berpengerak depan
4. Analisis dilakukan dengan kecepatan 20 – 80 Km/jam
5. Pengaruh gaya samping dan gaya angkat akibat angin diabaikan
6. Kendaraan berjalan di jalan aspal, jalan yang dilalui datar (tidak ada kemiringan) dan tidak bergelombang (halus/rata)
7. kondisi adhesi antara ban dan jalan linier
8. Rangka kendaraan dianggap *rigid body*.
9. 4 Layout kendaraan yang digunakan dalam analisa gerak belok.
10. 3 kemiringan sudut yang digunakan untuk mengetahui pengaruhnya dengan perilaku belok

## 1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Menawarkan sebuah konstruksi kendaraan roda empat bertenaga listrik agar bisa dikembangkan di Indonesia.
2. Hasil penelitian pada tugas akhir ini dapat dijadikan referensi untuk membuat mobil yang lebih baik, demi menciptakan alat transportasi yang aman dan nyaman
3. Sebagai media penelitian dan pengembangan ilmu pengetahuan dalam dunia otomotif



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Perkembangan Mobil Listrik**

Mobil listrik adalah mobil yang digerakkan dengan motor listrik, menggunakan energy listrik yang disimpan dalam baterai atau tempat penyimpanan energi lainnya. Mobil listrik sangat populer pada akhir abad ke-19 dan awal abad ke-20, tapi kemudian popularitasnya meredup karena teknologi mesin pembakaran dalam yang semakin maju dan harga kendaraan berbahan bakar bensin yang semakin murah. Krisis energy pada tahun 1970-an dan 1980-an pernah membangkitkan sedikit minat pada mobil-mobil listrik, tapi baru pada 2000-an lah para produsen kendaraan baru menaruh perhatian yang serius pada kendaraan listrik. Hal ini disebabkan karena harga minyak yang melambung tinggi pada tahun 2000-an serta banyak masyarakat dunia yang sudah sadar akan buruknya dampak emisi gas rumah kaca.[1]

##### **2.1.1. Sejarah Mobil Listrik**

Dimulai pada tahun 1896 untuk mengatasi masalah infrastruktur pengisian yang kurang, sebuah jasa pelayanan penggantian baterai dimulai oleh perusahaan *Hartford Electric Light Company* untuk truk listrik. Pemilik kendaraan membeli kendaraannya dari *General Electric Company (GVC)* tanpa baterai dan membeli baterainya di *Hartford Electric* dengan sistem baterai yang dapat diganti-ganti. Pemilik kendaraan akan dikenai biaya servis bulanan dan biaya perjalanan per milnya untuk biaya perawatan truknya. Jasa pelayanan ini tersedia pada tahun 1910 sampai 1924 dan menempuh total jarak sekitar 6 juta mil. Pada tahun 1917, sebuah perusahaan di Chicago menjalankan servis pelayanan serupa untuk pemilik mobil *Milburn Light*

*Electric* yang juga membeli kendaraannya tanpa baterainya. Salah satu dari Mobil listrik yang dikembangkan pada awal abad 20 terdapat pada gambar 2.1.

Pada tahun 1897, mobil listrik mulai dipakai sebagai kendaraan komersial di Amerika Serikat sebagai armada taksi listrik *New York City*, taksi ini dibuat oleh *Electric Carriage and Wagon Company Philadelphia*. Mobil-mobil listrik di Amerika Serikat diproduksi oleh *Anthony Electric, Baker, Columbia, Anderson, Fritchle, Studebaker, Riker, Milburn*, dan beberapa perusahaan lainnya di awal abad ke-20.



gambar 2.1. *Thomas Edison* dan sebuah mobil listrik tahun 1913 [1]

Krisis energi pada tahun 1970-an dan 1980-an menimbulkan kembalinya minat masyarakat akan mobil listrik. Pada awal 1990-an, *California Air Resources Board (CARB)* mulai menekan para pabrikan otomotif untuk mulai membuat mobil yang efisien dalam baqhan bakar, rendah emisi, dengan tujuan akhirnya adalah membuat kendaraan emisi nol seperti kendaraan listrik. Sebagai respons, beberapa pabrikan mencoba membuat mobil listrik mereka masing-masing, seperti *Chrysler TEVan*, truk pikap *Ford Ranger EV*, *GM EV1*, pikap *S10 EV*,

*hatchback Honda EV Plus, miniwagon Altra EV, dan Toyota RAV4 EV.*

Resesi ekonomi global pada akhir tahun 2000-an membuat banyak produsen otomotif dunia meninggalkan mobil-mobil *SUV* yang besar dan boros, dan beralih ke mobil-mobil kecil, hibrida, dan mobil listrik. Perusahaan otomotif asal California, *Tesla Motors*, seperti pada gambar 2.2. yang merupakan produk yang dari perusahaan ini. Pengembangan *Tesla Roadster* dimulai pada tahun 2004, dan kemudian diluncurkan ke publik pada tahun 2008. Sampai bulan Januari 2011, *Tesla* telah berhasil menjual 1.500 unit *Roadster* di 31 negara. [1]



Gambar 2.2. *Tesla Roadster* yang dijual di AS dan Eropa memiliki jarak tempuh sekitar 245 mil sekali pengisian baterainya. [1]

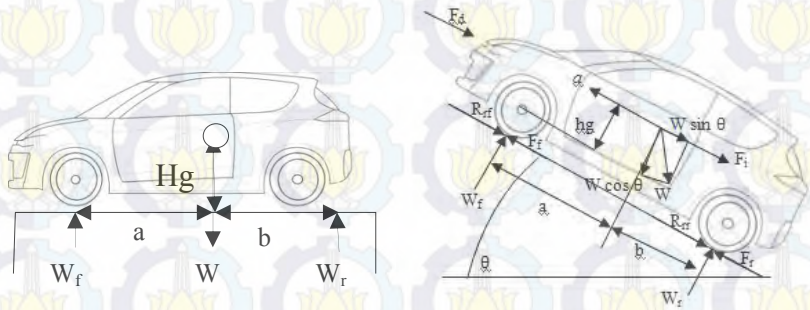
## **2.2. Dasar Teori Analisa Stabilitas**

### **2.2.1. Center of gravity**

Untuk mendapatkan titik berat dari kendaraan, bisa dilakukan dengan cara mengukur gaya reaksi yang terjadi pada roda depan atau roda belakang. Pengukuran dilakukan pada kondisi kendaraan benar-benar dalam posisi datar/ horizontal. Gaya reaksi pada roda depan ( $W_f$ ) dan gaya reaksi pada roda belakang ( $W_r$ ) apabila dijumlahkan akan sama dengan berat total dari kendaraan ( $W$ ). Nilai  $W_f$  dan  $W_r$  jika dijumlahkan akan nilai



$W$  ( $W = W_f + W_r$ ). Untuk menentukan semua itu diperlukan diagram bodi bebas seperti pada gambar 2.3



keterangan gambar

- a = jarak antara COG dengan poros depan
- b = jarak antara COG dengan poros belakang
- $a$  = percepatan kendaraan
- $W_f, W_r$  = gaya reaksi normal jalan pada roda depan dan belakang
- $W$  = berat total kendaraan
- $F_d$  = gaya hambat aerodinamik
- $R_{rf}, R_{rr}$  = gaya hambatan rolling pada roda depan dan belakang
- $F_f, F_r$  = gaya dorong pada roda depan dan belakang
- $F_i$  = gaya inerti kendaraan
- $\theta$  = kemiringan jalan
- hr = tinggi COG dari pusat sumbu roda

**gambar 2.3.** Diagram Badan Bebas kendaraan

Untuk mengukur jarak sumbu roda depan dengan pusat titik berat, dapat ditentukan dengan menggunakan prinsip mekanika teknik pada gambar 2.1. Dengan mengambil sumbu roda depan sebagai pusat momen, maka akan didapat persamaan sebagai berikut:

$$a = \frac{(a+b)W_r}{W_f+W_r} \quad (2.1)$$

Untuk mengukur jarak antara sumbu roda belakang dengan pusat titik berat, dapat dicari dengan mengambil sumbu roda depan sebagai pusat momen sehingga akan didapat persamaan sebagai berikut:

$$b = \frac{(a+b)W_f}{W_f + W_r} \quad (2.2)$$

Untuk mengukur jarak vertikal antara sumbu roda dengan pusat titik berat dapat dicari dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$hg = \frac{W'_f(a+b) - W.b}{W \tan \theta} \quad (2.3)$$

Dimana

$W'_f$  adalah hasil penimbangan roda depan

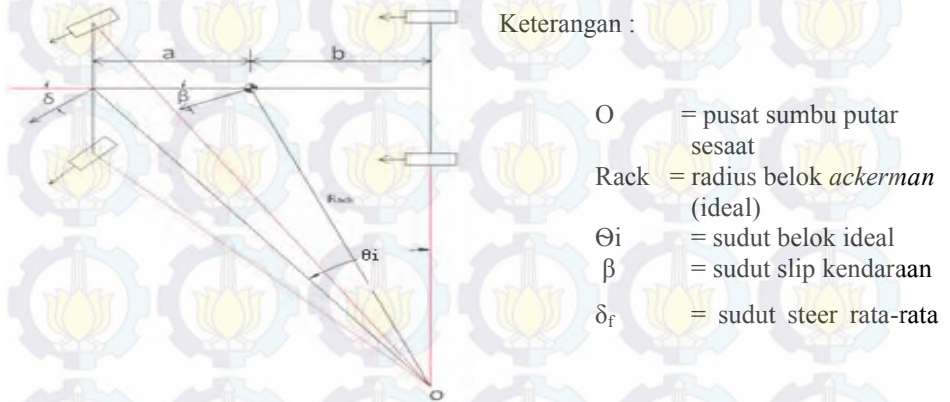
Perubahan posisi titik berat akan dilakukan jika kendaraan mengalami skid atau guling. Jika kendaraan mengalami skid pada roda belakang maka perlu mengeser posisi titik berat ke arah kiri atau ke depan. Dan jika kendaraan mengalami skid di depan maka hal yang perlu dilakukan mengeser posisi titik berat ke arah kanan atau belakang. Selain itu, jika kendaraan mengalami guling maka perlu dirubah ketinggian dari posisi titik berat.

## **2.3. Perilaku belok kendaraan**

### **2.3.1. Perilaku kendaraan belok kondisi ideal/ ackerman**

Stabilitas kendaraan dapat dinilai ketika kendaraan tersebut mengalami gerakan belok. Kondisi ideal kendaraan saat melakukan gerakan belok dikenal dengan nama kondisi *Ackerman*. Kondisi *Ackerman* adalah kondisi di mana pada saat

berbelok semua roda (ban) tidak terjadi sudut slip sehingga arah gerak roda sama dengan arah bidang putar dari roda. Secara sederhana, gerakan kendaraan saat berbelok tampak seperti gambar 2.4



**Gambar 2.4.** Kinematika kendaraan belok tanpa sudut slip [2]

Besarnya radius belok ideal (*ackerman*) secara sederhana dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan ;

$$R_{ack} = \frac{a+b}{\delta_f} \cdot 57,29 \quad (2.4)$$

Sudut *side slip* ( $\beta$ ) dapat dihitung secara sederhana dengan menggunakan persamaan trigonometri.

$$\beta = \text{arc. sin} \left( \frac{b}{R_{ack}} \right) \quad (2.5)$$

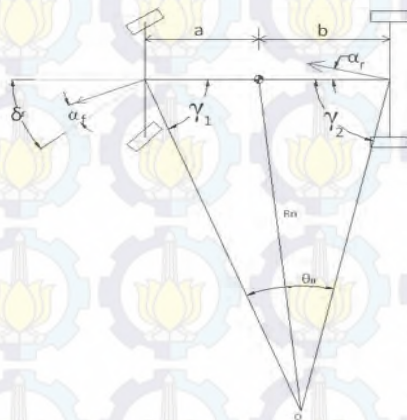


Dimana,

Rack adalah radius belok *ackerman* (ideal) (m),  $\Theta_i$  adalah sudut belok ideal (degree),  $\beta$  adalah sudut slip kendaraan (degree),  $\delta_f$  sudut steer rata-rata roda depan (degree).

### 2.3.2. Perilaku kendaraan belok kondisi nyata

Kondisi ideal bisa terjadi apabila saat berbelok gaya lateral yang dialami roda sangat kecil (tidak mampu membentuk sudut slip pada ban). Pada kondisi nyata, kondisi ideal bisa tercapai saat kendaraan melakukan parkir dengan kecepatan rendah (gaya sentrifugal rendah). Gerakan kendaraan saat berbelok secara sederhana dapat dilihat pada gambar 2.6.



keterangan:

$\theta_n$  = sudut belok nyata

$R_n$  = radius belok nyata

$\alpha_f$  = sudut slip rata-rata ban  
roda depan  $\left(\frac{\alpha_2 + \alpha_3}{2}\right)$

$\alpha_r$  = sudut slip rata-rata roda  
belakang  $\left(\frac{\alpha_1 + \alpha_4}{2}\right)$

O = pusat belok nyata

**Gambar 2.5.** Kinematika kendaraan belok dengan sudut slip[2]

Saat berbelok, ban pada roda akan dipengaruhi gaya lateral sehingga akan mengakibatkan sudut slip pada roda. Gaya sentrifugal merupakan fungsi massa, kecepatan, dan radius. Semakin besar massa dan kecepatan kendaraan, maka sudut slip

kendaraan akan semakin besar dan semakin tajam tikungan yang dilewati akan membuat sudut slip roda menjadi semakin besar pula.

$$R_n = \frac{a+b}{\delta_f + \alpha_r - \alpha_f} 57,29 \quad (2.6)$$

Dimana

$\alpha_f$  adalah sudut slip rata-rata ban roda depan  $\left(\frac{\alpha_2 + \alpha_3}{2}\right)$  (degree),  $\alpha_r$  adalah sudut slip rata-rata roda belakang  $\left(\frac{\alpha_1 + \alpha_4}{2}\right)$  (degree)

**a. Perilaku *Oversteer*.**

Kondisi kendaraan yang mengalami *oversteer* mendapat pengaruh dominan dari sudut slip roda depan dan roda belakang (akibat gaya sentrifugal). Pada saat kendaraan mengalami *oversteer*, artinya sudut slip rata-rata roda belakang ( $\alpha_r$ ) lebih besar dibandingkan dengan sudut slip rata-rata roda depan ( $\alpha_f$ ) seperti yang terlihat pada gambar 2.6

$$R_n = \frac{a+b}{\delta_f + \alpha_r - \alpha_f} 57,29 \text{ dengan } \alpha_f < \alpha_r \quad (2.7)$$



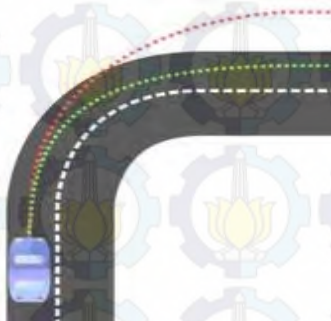
keterangan:  
 warna hijau = lintasan kendaraan kondisi ideal  
 warna merah = lintasan kendaraan mengalami oversteer

**Gambar 2.6.** Kendaraan Mengalami Oversteer[2]

**b. Perilaku *Understeer***

Kendaraan yang mengalami *understeer* merupakan kendaraan dengan kondisi sudut slip rata-rata roda depan ( $\alpha_f$ ) lebih besar dari pada sudut slip rata-rata roda belakang ( $\alpha_r$ ). Kendaraan yang mengalami *understeer* akan mengalami kesulitan saat berbelok, sehingga akan membutuhkan sudut belok ( $\delta_f$ ) lebih besar dibandingkan dengan kondisi *ackerman*. Seperti yang terlihat pada gambar 2.7

$$R_n = \frac{a+b}{\delta_f + \alpha_r - \alpha_f} 57,29 \text{ dengan } \alpha_f > \alpha_r \quad (2.8)$$



keterangan:

warna hijau = lintasan kendaraan kondisi ideal

warna merah = lintasan kendaraan mengalami *understeer*

**Gambar 2.7.** Kendaraan Mengalami *Understeer*[2]



### c. Perilaku netral

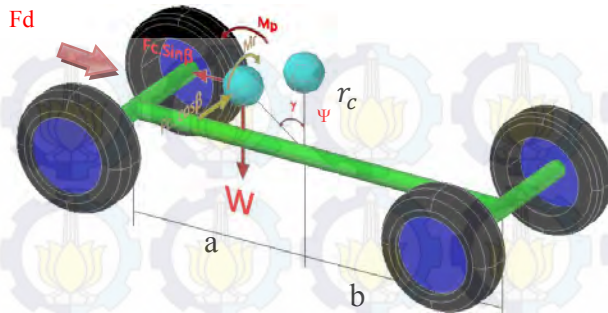
Perilaku netral merupakan perilaku belok kendaraan dimana sudut slip rata-rata roda belakang sama dengan sudut slip rata-rata roda depan. Pada kondisi ini, radius belok nyata dari kendaraan seakan-akan hanya dipengaruhi oleh sudut belok rata-rata roda depan. Sesungguhnya roda depan dan roda belakang juga mengalami slip. Akan tetapi sudut slip yang terjadi besarnya sama.

$$R_n = \frac{a+b}{\delta_f + \alpha_r - \alpha_f} 57,29 \text{ dengan } \alpha_f = \alpha_r \quad (2.9)$$

## 2.4. Perumusan gaya-gaya dari kendaraan belok

### 2.4.1. Jalan datar

Gaya-gaya yang bekerja pada kendaraan saat berbelok secara umum dapat dilihat pada gambar di bawah ini. Apabila gaya sentrifugal arah sumbu-x diuraikan pada roda depan dan roda belakang, besarnya gaya sentrifugal yang diterima oleh roda depan ( $F_{CF}$ ) dan roda belakang ( $F_{CR}$ ) seperti yang digambarkan pada gambar 2.8.



keterangan gambar:

- a = jarak antara COG dengan poros depan
- b = jarak antara COG dengan poros belakang
- W = berat total kendaraan
- $F_d$  = gaya hambat aerodinamik
- $F_c$  = gaya sentrifugal
- $\beta$  = sudut slip kendaraan
- $\psi$  = sudut pitching
- $M_r$  = momen rolling
- $M_p$  = momen pitching
- $r_c$  = jarak vertikal antara COG dengan sumbu roda

**Gambar 2.8.** Gaya-Gaya dan Momen pada Kendaraan[2]

Akibat dari gaya sentrifugal ini pula muncul momen *rolling* ( $M_r$ ) dan momen *pitching* ( $M_p$ ). [3]

$$M_r = F_c \cos \beta \cdot r_c + W \cdot r_c \cdot \gamma \quad (2.10)$$

$$M_p = (F_c \sin \beta - F_d) r_c + W \cdot r_c \cdot \psi \quad (2.11)$$

Dimana

$F_c$  adalah gaya centrifugal (N),  $\psi$  adalah sudut pitching (degree),  $M_r$  adalah momen rolling (Nm),  $M_p$  adalah momen pitching (Nm),  $r_c$  adalah jarak vertikal antara CG dengan sumbu roda(m),  $\gamma$  adalah sudut chamber (degree).

Besarnya gaya hambat angin/*drag force* dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$F_d = \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot \rho \cdot V_a^2 \cdot A_f \quad (2.12)$$

Di mana

$F_d$  adalah gaya hambat angin/*drag force* (N),  $\rho$  adalah *density* udara ( $\text{kg/m}^3$ ),  $V_a$  adalah kecepatan relatif angin terhadap kendaraan (m/s),  $A_f$  adalah luas bidang frontal kendaran ( $\text{m}^2$ ),  $C_d$  adalah koefisien gaya hambat

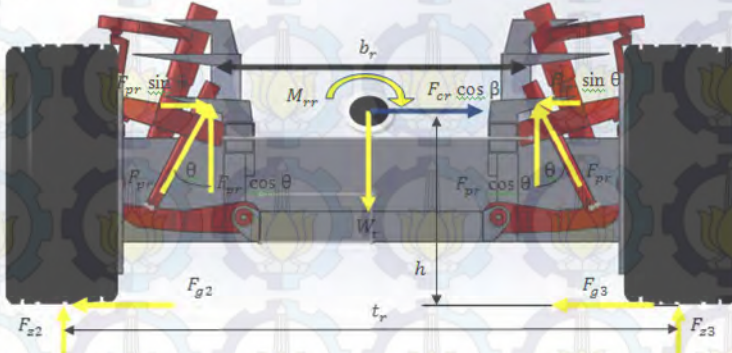
#### a. *Lateral Transfer Load*

Lateral transfer load merupakan perpindahan beban akibat momen rolling dari kendaraan saat mengalami gerakan belok. Pada saat berbelok, akan timbul gaya sentrifugal searah dengan arah jari-jari nyata dari kendaraan. Arah dari gaya sentrifugal ini membentuk sudut sebesar  $\beta$  terhadap sumbu y. Apabila diuraikan terhadap sumbu-x, maka akan terjadi momen *pitching*. Momen *pitching* inilah yang menyebabkan terjadinya perpindahan beban terhadap gaya normal pada ban.



- **Analisis pada roda belakang**

Untuk menganalisa gaya pada roda belakang, perlu dimodelkan seperti gambar 2.9



**Gambar 2.9.** Pengaruh gaya sentrifugal pada momen *rolling* terhadap roda belakang roda

keterangan gambar:

$F_g$  = gaya gesek

$F_z$  = gaya normal ban

$F_{cr}$  = gaya centrifugal bagian belakang kendaraan

$F_p$  = gaya pegas

$t_r$  = jarak antara roda kiri dengan roda kanan

$M_{rr}$  = momen rolling bagian belakang kendaraan

$b_r$  = jarak antar suspensi belakang

$\theta$  = sudut kemiringan suspensi

Gaya normal yang bekerja pada kedua ban belakang dipengaruhi oleh tiga gaya, yaitu gaya berat, gaya sentrifugal, momen *rolling*.

$$F_{z1} = \frac{a}{2(a+b)} (W - F_L) - \frac{a}{a+b} \left[ \frac{F_c \cdot \cos \beta \cdot h + M_{pa} + F_s \cdot h}{t_r} \right] - \frac{F_c \cdot \sin \beta \cdot h - F_d \cdot h - M_{pa}}{t_r} \quad (2.14)$$

Untuk mencari  $F_{z4}$ , analog dengan  $F_{z1}$

$$F_{z4} = \frac{a}{2(a+b)} (W - F_L) + \frac{a}{a+b} \left[ \frac{F_c \cdot \cos \beta \cdot h + M_{pa} + F_s \cdot h}{t_r} \right] - \frac{F_c \cdot \sin \beta \cdot h - F_d \cdot h - M_{pa}}{t_r} \quad (2.15)$$

Dimana

$F_z$  adalah gaya normal pada ban (N),

$F_L$  adalah gaya angkat akibat angin (N)

$F_d$  = gaya hambat angin (N)

$M_{pa}$  = momen angguk pitching akibat angin (Nm)

$t_r$  = jarak antar roda belakang (m)

$h$  = tinggi COG terhadap permukaan tanah (m)

Besarnya momen *rolling* pada roda belakang ( $M_{rr}$ ) besarnya besarnya sama dengan momen yang diterima oleh suspensi roda belakang ( $M_{sr}$ ).

$$M_{rr} = M_{sr}$$

$$\frac{a}{a+b} (F_c \cdot \cos \beta \cdot r_c) + W r_c \cdot \gamma = k_{sr} \cdot \frac{b_r^2}{2} \cdot \gamma \quad (2.16)$$

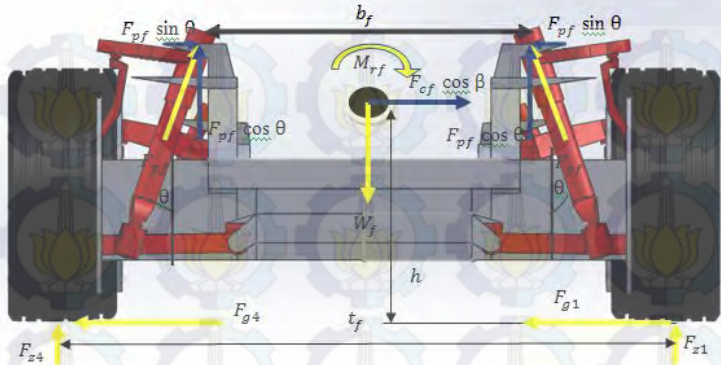
Dimana

$r_c$  adalah tinggi COG terhadap sumbu pusat roda (m),  $k_{sr}$

adalah tetapan suspensi belakang (N/m),  $b_r$  adalah jarak antar suspensi belakang (m),  $\gamma$  adalah sudut rolling (degree)

- **Analisis pada roda depan**

Sedangkan untuk menganalisa roda depan, perlu dimodelkan seperti pada gambar 2.10.



keterangan gambar:

$F_g$  = gaya gesek

$F_z$  = gaya normal ban

$F_{cf}$  = gaya centrifugal bagian depan kendaraan

$F_p$  = gaya pegas

$t_f$  = jarak antara roda kiri dengan roda kanan

$M_{rf}$  = momen rolling bagian depan kendaraan

$b_r$  = jarak antar suspensi belakang

$\theta$  = sudut kemiringan suspensi

**Gambar 2.10.** Pengaruh gaya sentrifugal pada momen rolling terhadap roda depan

Besarnya nilai dari gaya normal ban depan ( $F_{z2}$  dan  $F_{z3}$ ) adalah:

$$F_{z2} = \frac{b}{2(a+b)} (W - F_L) - \frac{b}{a+b} \left[ \frac{F_c \cdot \cos \beta \cdot h + M_{pa} + F_s \cdot h}{t_f} \right] + \frac{F_c \cdot \sin \beta \cdot h - F_d \cdot h - M_{pa}}{t_f} \quad (2.17)$$

$$F_{z3} = \frac{b}{2(a+b)} (W - F_L) + \frac{b}{a+b} \left[ \frac{F_c \cdot \cos \beta \cdot h + M_{pa} + F_s \cdot h}{t_f} \right] + \frac{F_c \cdot \sin \beta \cdot h - F_d \cdot h - M_{pa}}{t_f} \quad (2.18)$$



Dimana

$t_f$  adalah jarak antar roda depan (m).

Besarnya momen *rolling* pada roda depan ( $M_{rf}$ ) sama dengan momen yang diterima oleh suspensi roda depan ( $M_{sf}$ ).

$$\frac{b}{a+b} F_c \cdot \cos \beta \cdot r_c + W \cdot r_c \cdot \gamma = k_{sf} \cdot \frac{b_f^2}{2} \cdot \gamma \quad (2.19)$$

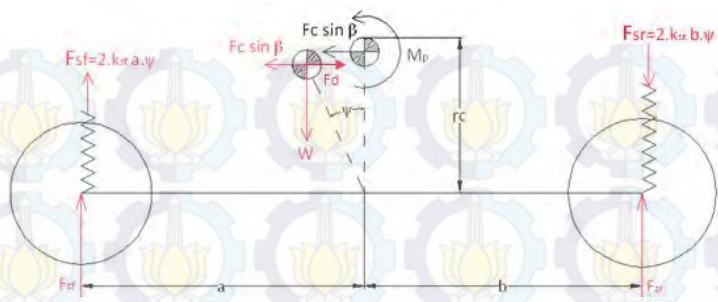
Dimana :

$k_{sf}$  adalah tetapan suspensi depan (N/m),  $b_f$  adalah jarak antar suspensi depan (m),  $\gamma$  adalah sudut rolling (degree)

### ***b. Longitudinal Transfer Load***

Perpindahan beban akibat beban longitudinal merupakan perpindahan yang terjadi karena gerakan *pitching* / angguk dari kendaraan saat kendaraan direm, dipercepat, atau sedang mengalami gerakan belok. Arah dari gaya sentrifugal ini membentuk sudut sebesar  $\psi$  terhadap sumbu y. Apabila diuraikan terhadap sumbu-x, maka akan terjadi momen *pitching*. Momen *pitching* inilah yang menyebabkan terjadinya perpindahan beban terhadap gaya normal pada ban.

- **Perpindahan beban longitudinal ke arah sumbu z**  
Untuk menganalisa beban longitudinal ke arah sumbu z, perlu dilakukan permodelan seperti gambar 2.11.



keterangan gambar :

$F_c$  = gaya sentrifugal

$\beta$  = sudut slip kendaraan

$M_p$  = momen pitching

$F_{sf}, F_{sr}$  = gaya suspensi depan dan suspensi belakang

$F_{zf}, F_{zr}$  = gaya normal roda depan dan roda belakang

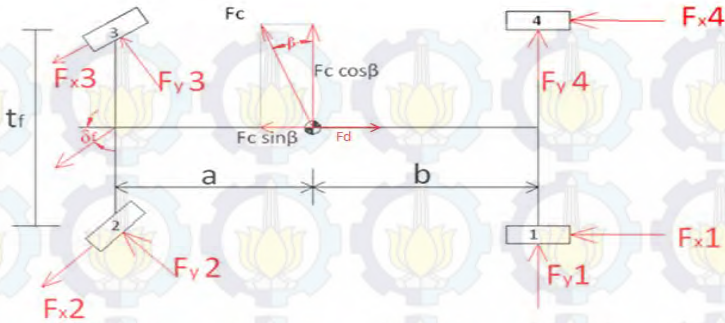
$W$  = gaya berat kendaraan

$k_{sf}, k_{sr}$  = tetapan pegas depan dan belakang

$\psi$  = sudut pitching

**Gambar 2.11.** Pengaruh gaya sentrifugal pada gerakan pitching[2]

Selain gaya arah sumbu-z, pada saat berbelok kendaraan juga mengalami gaya arah sumbu-x dan sumbu-y. Pada gambar 2.12 di bawah, diperlihatkan gambar FBD suatu kendaraan saat berbelok tampak dari atas.



keterangan gambar:

- $F_x$  = gaya axial yang dialami roda
- $F_y$  = gaya dorong roda
- $\delta f$  = sudut belok roda depan

**Gambar 2.12.** Gaya Pada Arah-x dan Arah-y[3]

Setelah gaya-gaya diuraikan, baru bisa ditentukan besarnya gaya-gaya ( $F_x$  dan  $F_y$ ) yang bekerja pada ban. Besarnya  $F_x$  dan  $F_y$  masing-masing roda adalah sebagai berikut:

$$F_{x1} = F_{x4} = \frac{a}{2(a+b)} (F_c \cdot \sin \beta - F_d) - R_{rr} \quad (2.20)$$

$$F_{y1} = F_{y4} = \frac{a}{2(a+b)} F_c \cdot \cos \beta \quad (2.21)$$

$$F_{x2} = F_{x3} = \frac{b}{2(a+b)} (F_c \sin \beta - F_d) \cos \delta_f - \frac{b}{2(a+b)} F_c \cos \beta \sin \delta_f - R_{rf} \quad (2.22)$$

$$F_{y2} = F_{y3} = \frac{b}{2(a+b)} F_c \cos \beta \cos \delta_f + \frac{b}{2(a+b)} (F_c \sin \beta - F_d) \sin \delta_f \quad (2.23)$$



Dimana

$F_x$  adalah gaya axial yang dialami roda (N),  $F_y$  adalah gaya dorong roda (N),  $\delta_f$  adalah sudut belok roda depan (degree),  $R_{rr}$ ,  $R_{rf}$  adalah gaya hambatan rolling roda belakang dan depan(N).

untuk menentukan nilai *rolling resistance* ( $R_r$ ), perlu mengetahui harga rata-rata dari koefisien hambatan rolling untuk berbagai jenis ban dan kondisi jalan, [2] seperti tabel 2.1 di bawah ini

**Tabel 2.1.** Harga rata-rata hambatan rolling untuk beberapa jenis ban dan kondisi jalan.

Jenis Kendaraan	Permukaan Jalan		
	Beton	Keras/Aspal	Pasir
Kendaraan Penumpang	0,015	0,08	0,3
Truk	0,012	0,06	0,25
Traktor	0,020	0,04	0,2

## 2.5. Analisa Skid

### 2.5.2. Analisa Roda Depan Skid

Persamaan untuk menentukan gaya gravitasi yang dialami pada roda depan adalah sebagai berikut:

$$F_{cf} = \frac{L_2}{L} F_c \cos \delta_t \quad (2.24)$$

$$F_{gf} = \frac{\mu}{L} (L_2 \cdot W + F_c h \sin \delta_t - F_d \cdot h) \quad (2.25)$$

Kendaraan mengalami kondisi kritis jika ,  $F_{cf} = F_{gf}$  . dan akan mengalami kecepatan kritis (  $V_{fs}$  ) sebesar :

$$V_{kritis} = V_{sf} = \sqrt{\frac{R_{ack} \cdot g [\mu \cdot L_2 \cdot W - F_d \cdot h \cdot \mu]}{W [L_2 \cos \delta_t - h \cdot \mu \cdot \sin \delta_t]}} \quad (2.26)$$

Roda depan akan skid pada sudut belok  $\delta_f$ , jika :

$$V_{kendaraan} \geq V_{fs}$$

Di mana :

$L_2$  adalah jarak antara COG dengan sumbu roda belakang (m),  $\mu$  adalah koefisien gesek antara ban dan jalan,  $\delta_t$  adalah sudut slip kendaraan (degree),  $g$  adalah gravitasi Bumi ( $9,81 \text{ m/s}^2$ )

### 2.5.3. Analisa Roda Belakang Skid

Persamaan untuk menentukan gaya gravitasi yang dialami pada roda belakang adalah sebagai berikut:

$$F_{cr} = \frac{L_1}{L} F_c \cos \delta_t \quad (2.27)$$

$$F_{gr} = \frac{\mu}{L} (L_1 \cdot W - F_c h \sin \delta_t + F_d \cdot h) \quad (2.28)$$

Kendaraan mengalami kondisi kritis jika ,  $F_{cr} = F_{gr}$  . dan akan mengalami kecepatan kritis (  $V_{rs}$  ) sebesar :

$$V_{kritis} = V_{sr} = \sqrt{\frac{R_{ack} \cdot g [\mu \cdot L_1 \cdot W - F_d \cdot h \cdot \mu]}{W [L_1 \cos \delta_t - h \cdot \mu \cdot \sin \delta_t]}} \quad (2.29)$$

Roda belakang akan skid pada sudut belok  $\delta_f$ , jika :

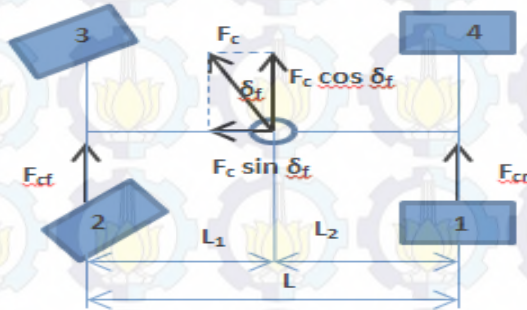
$$V_{kendaraan} > V_{rs}$$

Di mana :

$L_1$  adalah jarak antara COG dengan sumbu roda depan(m)

## 2.6. Analisa Guling

Kendaraan akan mengalami guling, pada saat roda terangkat dengan  $F_{zi} \leq 0$ , sesuai dengan gambar 2.15 skema di bawah ini.



**Gambar 2.13.** Analisa Guling Kendaraan

Dari gambar 2.16, diperoleh persamaan sebagai berikut.

$$F_{cf} = \frac{L_2}{L} F_c \cos \delta_f$$

$$F_{cr} = \frac{L_1}{L} F_c \cos \delta_t$$

### 2.6.1. Analisa Roda Depan Guling

Persamaan- persamaan pada roda depan (roda 2 dan 3) adalah sebagai berikut:

$$F_{z2} = \frac{L_2 \cdot W}{2L} + \frac{m \cdot v^2 \cdot h \cdot \sin \delta_f}{R_{ack} \cdot 2 \cdot L} - \frac{L_2 \cdot h}{L \cdot t} \cdot \frac{m \cdot V^2}{R_{ack}} \cdot \cos \delta_f \quad (2.32)$$

$$F_{z3} = \frac{L_2 \cdot W}{2L} + \frac{m \cdot v^2 \cdot h \cdot \sin \delta_f}{R_{ack} \cdot 2 \cdot L} + \frac{L_2 \cdot h}{L \cdot t} \cdot \frac{m \cdot V^2}{R_{ack}} \cdot \cos \delta_f \quad (2.33)$$



Roda 2 terangkat , jika  $F_{z2} \leq 0$

Roda 3 terangkat, jika  $F_{z3} \leq 0$

kecepatan kritis roda depan terangkat

$$V_{gf} = \sqrt{\frac{R_{ack} \cdot L_2 \cdot t \cdot g}{2 \cdot L_2 \cdot h \cdot \cos \delta_t + h \cdot t \cdot \sin \delta_t}} \quad (2.34)$$

Dimana:

$L_2$  adalah jarak antara COG dengan sumbu roda belakang (m),  $t$  adalah jarak antara roda depan kiri dengan roda depan kanan (m),  $m$  adalah massa total kendaraan (kg)

### 2.6.2. Analisa Roda Belakang Guling

Persamaan- persamaan pada roda belakang (roda 1 dan 4) adalah sebagai berikut:

$$F_{z1} = \frac{L_1 \cdot W}{2L} - \frac{m \cdot v^2 \cdot h \cdot \sin \delta_t}{R_{ack} \cdot 2 \cdot L} - \frac{L_1 \cdot h}{L \cdot t} \cdot \frac{m \cdot V^2}{R_{ack}} \cdot \cos \delta_t \quad (2.35)$$

$$F_{z4} = \frac{L_1 \cdot W}{2L} - \frac{m \cdot v^2 \cdot h \cdot \sin \delta_t}{R_{ack} \cdot 2 \cdot L} + \frac{L_1 \cdot h}{L \cdot t} \cdot \frac{m \cdot V^2}{R_{ack}} \cdot \cos \delta_t \quad (2.36)$$

Roda 1 terangkat , jika  $F_{z1} \leq 0$

Roda 4 terangkat, jika  $F_{z4} \leq 0$

kecepatan kritis roda belakang terangkat

$$V_{gr} = \sqrt{\frac{R_{ack} \cdot L_1 \cdot t \cdot g}{h \cdot t \cdot \sin \delta_t + 2 \cdot h \cdot L_1 \cdot \cos \delta_t}} \quad (2.37)$$

Dimana

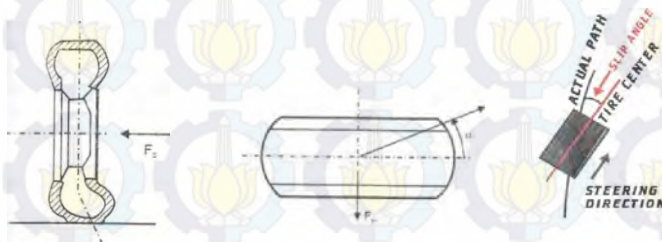
$L_1$  adalah jarak antara COG dengan sumbu roda belakang(m),  $\delta_t$  adalah sudut slip kendaraan (degree), t adalah jarak antara roda belakang kiri dengan roda belakang kanan (m)

Jika  $V_{fg} < V_{rg}$ , maka roda depan terangkat,

Jika  $V_{fg} > V_{rg}$ , maka roda belakang terangkat.

## 2.7. Faktor-Faktor yang Berpengaruh Terhadap Sudut Slip

Jika ban berputar tanpa mengalami gaya ke arah samping, maka ban akan bergerak sesuai dengan arah bidang ban. Namun pada saat berbelok, kendaraan akan menerima gaya sentrifugal. Akibat dari gaya sentrifugal ini, ban akan menerima deformasi lateral. Deformasi terjadi pada ban bagian bawah. Karena adanya gaya sentrifugal dan deformasi ini, maka lintasan dari ban akan membentuk sudut sebesar  $\alpha$  terhadap lintasan yang seharusnya. Sudut  $\alpha$  inilah yang dinamakan sudut slip seperti pada gambar 2.16.



**Gambar 2.14.** Sudut slip akibat deformasi pada ban [2]

Sudut slip dipengaruhi oleh banyak faktor, antara lain:

1. Konstruksi Ban (K)
2. Gaya Longitudinal ( $F_x$ )
3. Gaya Lateral ( $F_y$ )
4. Gaya Normal ( $F_z$ )
5. Tekanan Ban (P)
6. Keausan Ban (A)
7. Gaya Sentrifugal ( $F_c$ )

Sedangkan untuk kendaraan ini menggunakan jenis ban radial kasar (dengan kembangan) , persamaan yang digunakan untuk menentukan besarnya sudut slip adalah sebagai berikut

$$\alpha_{rb} = \frac{C_{rp}}{C_{rs}} \cdot \frac{C_{rx}}{C_{ro}} [0.0879357(F_y \alpha)^{0.79008} - 0.005277(F_z)](2.38)$$

$$C_{rb} = 0.00301003 (F_y \alpha)^{1.207861}$$

$$C_{rg} = 0.0023636 (F_y \alpha)^{1.222203}$$

$$C_{rp} = 33.5 + 5.30 (P) - 0.0916 (P)^2$$

$$C_{rs} = 33.5 + 5.30 (P_s) - 0.0916 (P_s)^2$$

$$C_{rx} = \left[ \frac{F_y \cdot \alpha + 0.107927 (F_x)}{161.1398} \right]^{\frac{1}{0.474998}}$$

$$C_{ro} = \left[ \frac{F_y \alpha}{161.1398} \right]^{\frac{1}{0.474998}}$$

Dimana:

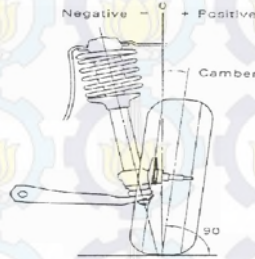
$\alpha_{rb}$  adalah sudut slip ban radial kasar (degree), P adalah tekanan ban (psi),  $P_s$  adalah tekanan standar 25 psi,  $F_y \alpha$  adalah gaya lateral (lb)



### 2.7.1. Sudut-sudut Roda

- **Camber**

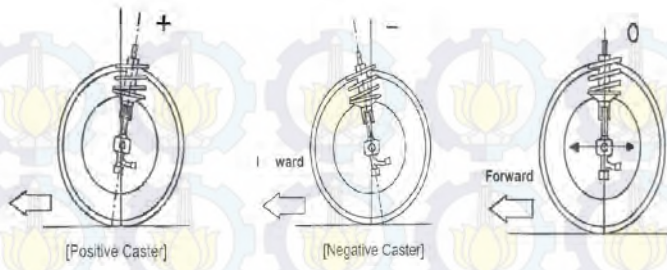
Camber adalah sudut dari roda, diukur dalam derajat, saat dilihat dari depan mobil .Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar 2.19.



Gambar 2.15 . Camber [1]

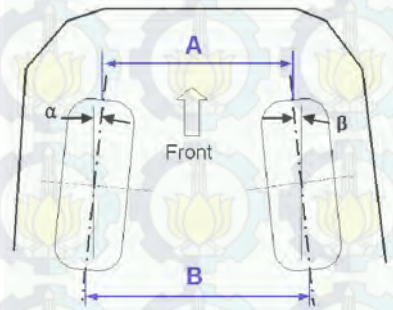
- **Caster**

Caster dapat didefinisikan sebagai keimiringan dari *knuckle pivot points* pada kemudi, yang disebut sumbu kemudi. Caster diukur dalam derajat , dari sumbu kemudi ke vertical, jika dilihat dari samping. Dari penyangga pada mobil, garis memanjang melalui lower ball joint ke pusat dari pada ujung penyangga yang lebih atas. Ketika bagian atas sumbu steering miring kea rah belakang disebut positive caster. Untuk negative caster, pada saat bagian atas steering miring ke depan, letak dari point contact di depan titik beban, yang akan memberikan steering yang lebih mudah pada kecepatan rendah. Sedangkan zero caster, pada saat bagian atas sumbu steering benar-benar vertikal. Untuk lebih jelasnya dapat dijelaskan pada gambar 2.20.



**Gambar 2.16 . Caster [1]**

- Toe**  
 Ukuran toe adalah perbedaan jarak antara bagian depan roda dan roda belakang. Toe in atau positive Toe, didefinisikan sebagai roda bagian depan lebih berdekatan dibandingkan dengan roda belakang. Toe out atau negative toe adalah pada saat roda bagian belakang lebih berdekatan dibandingkan dengan roda bagian depan. Zero Toe adalah saat roda-roda lurus satu sama lain. Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada gambar 2.21



**Gambar 2.17. Toe Angle [1]**

Berdasarkan gambar di atas, Toe in :  $B > A$  , Toe Out ;  $B < A$ .

## 2.8. Understeer index dan kecepatan karakteristik

*Understeer Index* ( $K_{us}$ ) dapat diartikan sebagai besaran yang dapat mengidentifikasi perilaku arah dari kendaraan yang mengalami gerakan belok.

Besarnya sudut slip depan ( $\alpha_f$ ) dan sudut slip belakang ( $\alpha_r$ ) tergantung pada besarnya gaya sentrifugal.

Untuk sudut slip roda depan dan roda belakang adalah

- sudut slip roda belakang  $\alpha_r = \frac{\alpha_1 + \alpha_4}{2}$  (2.39)

- sudut slip roda depan  $\alpha_f = \frac{\alpha_2 + \alpha_3}{2}$  (2.40)

Sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$K_{us} = (\alpha_f - \alpha_r) \frac{g.R}{v^2} \quad (2.41)$$

jika  $K_{us} = 0$ , kendaraan berperilaku normal,

jika  $K_{us} =$  positif, kendaraan berperilaku understeer

jika  $K_{us} =$  negatif, kendaraan berperilaku oversteer





## BAB III METODOLOGI

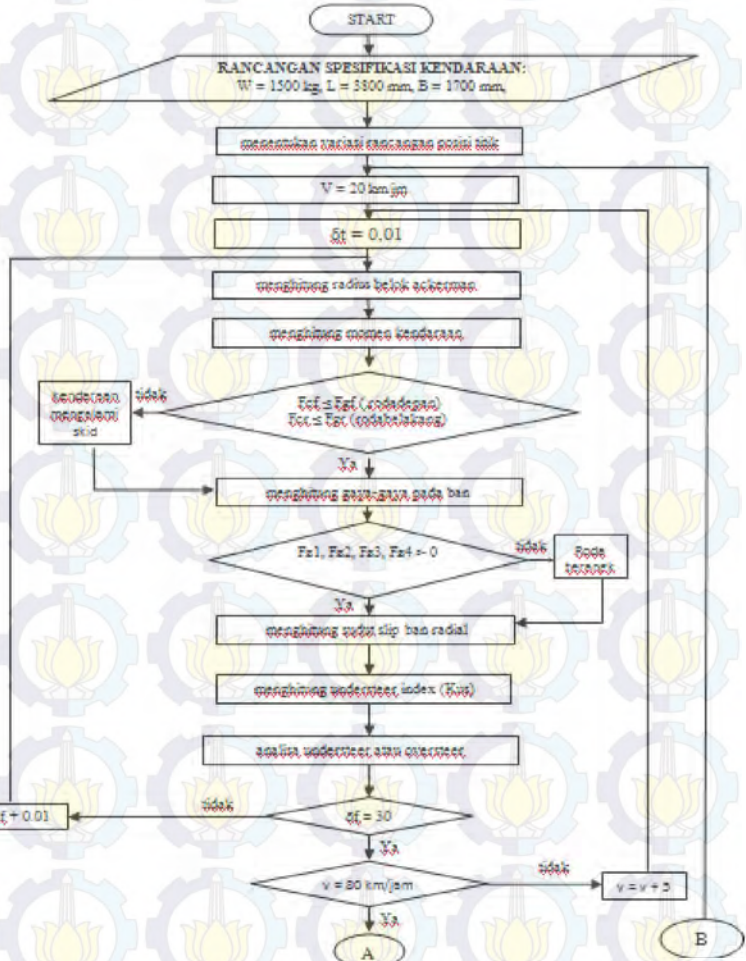
### 3.1 Prosedur Penelitian

Pada penulisan tugas akhir ini, prosedur penelitian dilakukan dengan tahapan yang akan dilakukan sebagai berikut:

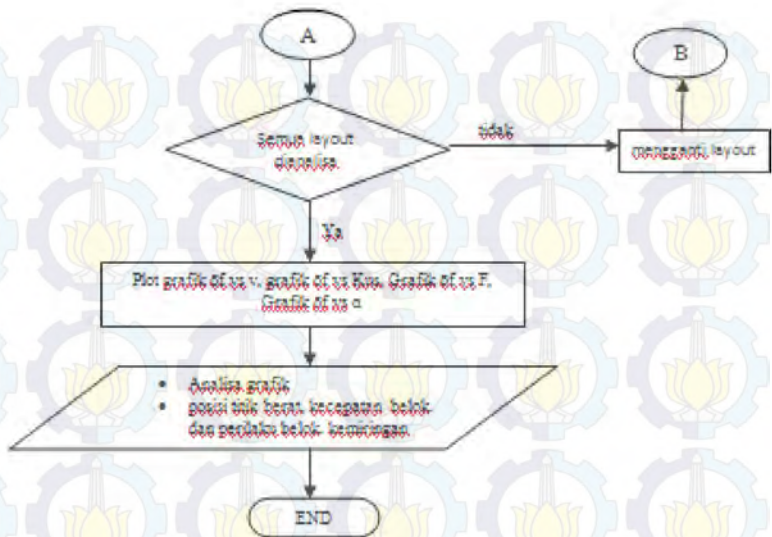
- Tahap awal, melakukan analisa – analisa dengan sumber studi literature terhadap buku, jurnal dan penelitian terdahulu tentang kestabilan arah kendaraan.
- Tahap kedua adalah penentuan objek mobil yang akan diteliti, dalam hal ini mobil yang akan diteliti adalah mobil Listrik Nasional.
- Tahap ketiga, setelah didapat rancangan data spesifikasi dari kendaraan mobil listrik dilakukan penggambaran objek mobil listrik dengan menggunakan *software SOLIDWORKS* agar didapatkan *layout* kendaraan dan posisi *Center of gravity*
- Tahap keempat, dilakukan analisa kestabilan arah .Analisa kestabilan arah yang dilakukan berdasarkan variasi kecepatan, posisi titik berat Analisa tersebut untuk mengetahui apakah kendaraan mengalami skid atau guling. Dari analisa tersebut juga dapat mengetahui radius belok, perilaku belok dari mobil tersebut.

## 3.2 Flowchart

### 3.2.1. Kestabilan arah pada lintasan melingkar dengan R konstan







**Gambar 3.1** Flowchart perhitungan kestabilan arah lintasan melingkar pada R konstan

### 3.3. Prosedur Perhitungan

#### 3.3.1. Analisa stabilitas arah pada lintasan melingkar dengan radius konstan

Langkah-langkah yang perlu dilakukan dalam perhitungan stabilitas kendaraan mobil listrik nasional adalah sebagai berikut:

- Langkah awal dari penelitian ini adalah mencari data-data dari spesifikasi kendaraan yang akan digunakan sebagai data input. Data-data spesifikasi yang dibutuhkan adalah lokasi *Center of Gravity*, kekakuan pegas dari suspensi, *rolling resistance* dan koefisien *drag*, dan luas dari sisi frontal. Kemudian menentukan radius lintasan.
- Menentukan perubahan *center of gravity*
- Menentukan radius ackerman.

$$R_{ack} = \frac{a+b}{\delta_f} 57,29$$

d. Menghitung sudut side slip ( $\beta$ ) kendaraan

$$\beta = \arcsin \left( \frac{b}{R_{ack}} \right)$$

e. Menghitung gaya dan momen yang ada pada kendaraan saat melakukan gerakan belok ( $F_{cf}, F_{cr}, F_d, F_g, M_r, M_p$ ).

f. Menganalisa skid pada roda belakang dan depan

$$F_{gf} = \frac{\mu}{L} (L_2 \cdot W + F_c h \sin \delta_t - F_d \cdot h) \text{ (rodadepan)}$$

$$F_{gr} = \frac{\mu}{L} (L_1 \cdot W - F_c h \sin \delta_t + F_d \cdot h) \text{ (rodabelakang)}$$

g. Melakukan analisa kondisi skid kendaraan, jika  $F_c > F_g$

h. Menghitung gaya reaksi yang diterima oleh tiap-tiap ban pada arah sumbu x,y,dan z.

i. Melakukan analisa guling, jika  $F_z < 0$ , maka roda terangkat

j. Menghitung sudut slip tiap ban ( $\alpha_1; \alpha_2; \alpha_3; \alpha_4$ ). Sudut slip roda depan ( $\alpha_f$ ) merupakan rata-rata dari kedua sudut slip pada ban roda depan sebelah kiri dan sebelah kanan  $\left( \frac{\alpha_2 + \alpha_3}{2} \right)$ . Begitu juga dengan sudut slip roda

belakang  $\left( \frac{\alpha_1 + \alpha_4}{2} \right)$ .

k. Menghitung besarnya *Understeer Index* ( $K_{us}$ ).

$$K_{us} = (\alpha_f - \alpha_r) \frac{g \cdot R}{v^2}$$

l. Analisis kondisi kendaraan apakah mengalami *understeer* atau *oversteer*.

m. Plot grafik  $\delta_f - \alpha$  dan  $K_{us} - \delta_f$  serta menganalisa masing-masing grafik

n. Menentukan posisi titik berat, kecepatan ( $v$ ), sudut belok, dan kemiringan suspense ( $\theta$ )

## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN DATA

### 4.1. Data dan Spesifikasi Kendaraan

Kendaraan yang akan digunakan merupakan kendaraan dengan konsep *citycar* dengan motor listrik sebagai penggerak utamanya. Energi listrik dipasok dari baterai yang dapat diisi ulang. Kendaraan ini memiliki kapasitas untuk 4 orang. Adapun desain mobilnya ada pada gambar 4.1



**Gambar 4.1.** Desain Mobil Listrik ITS 1

Dari perencanaan ini akan didapatkan spesifikasi kendaraan yang diharapkan sesuai dengan tujuan. Adapun rancangan spesifikasi Mobil Listrik ITS 1 dapat dilihat pada tabel 4.1

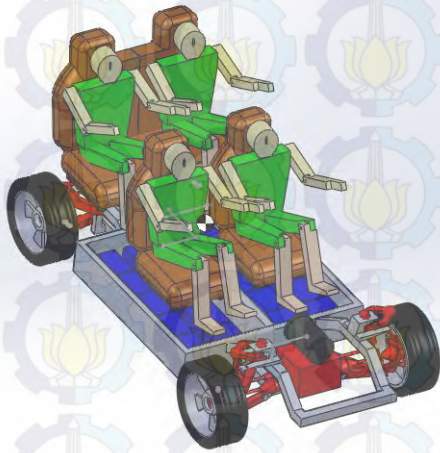
**tabel 4.1.** Rancangan spesifikasi Mobil Listrik ITS 1

<b>Rancangan Spesifikasi Mobil Listrik ITS 1</b>	
<b>Dimensi</b>	
Jarak sumbu roda	2450 mm
Lebar	1700 mm
Tinggi	1510 mm

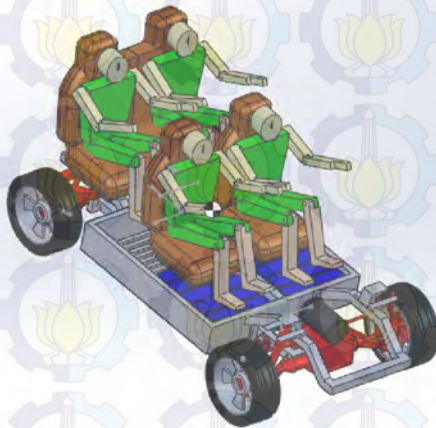


<b>Berat</b>	
Massa total	1500 kg
Berat total (W)	15000 N
Koefisien suspensi	40000 N/m
<b>LAYOUT 1</b>	
a	1714.23 mm
b	764.53 mm
<b>LAYOUT 2</b>	
a	1644.17 mm
b	829.78 mm
<b>LAYOUT 3</b>	
a	1666.37 mm
b	807.58 mm
<b>LAYOUT 4</b>	
a	1662.43 mm
b	811.52 mm
<b>Aerodynamic</b>	
Luas frontal (Af)	2.567 m <sup>2</sup>
Massa jenis angin (ρ)	1.205 kg/m <sup>3</sup>
Koefisien drag (Cd)	0.8
<b>Ban (20.5 x7 .OR 13 Hoosier)</b>	
Jenis	Radial baru
Diameter roda	508 mm
Lebar	177,8 mm
Koefisien adhesi aspal	2.011

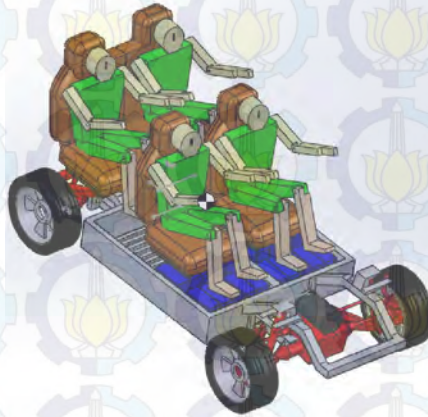
Setelah mendapatkan rancangan spesifikasai kendaraan dilanjutkan menentukan variasi rancangan posisi titik berat kendaraan. Adapun rancangan posisi titik berat yang akan dianalisa dalam Tugas Akhir ini ada 4 macam



**Gambar 4.2.** Posisi *center of gravity* pada *layout 1*



**Gambar 4.3.** Posisi *center of gravity* pada *layout 2*



**Gambar 4.4.** posisi *center of gravity* pada *layout 3*



**Gambar 4.5.** posisi *center of gravity* pada *layout 4*



Dari keempat *layout* tersebut didapatkan berbagai posisi *center of gravity* seperti pada tabel 4.2.

**Tabel 4.2** Variasi Rancangan Posisi Titik Berat

LAYOUT	1	2	3	4
a	1525.18	1451.03	1467.22	1482
b	955.58	1022.92	1006.73	991.94
h	687.67	758.30	753.18	744.11

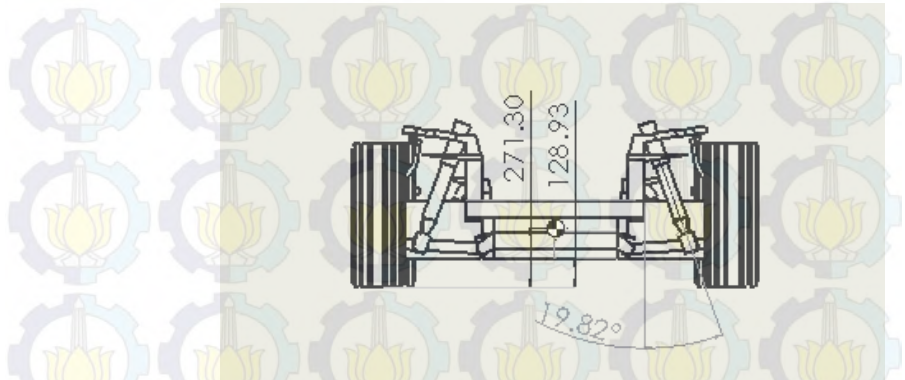
Keterangan :

a = jarak dari pusat berat ke poros roda depan(mm)

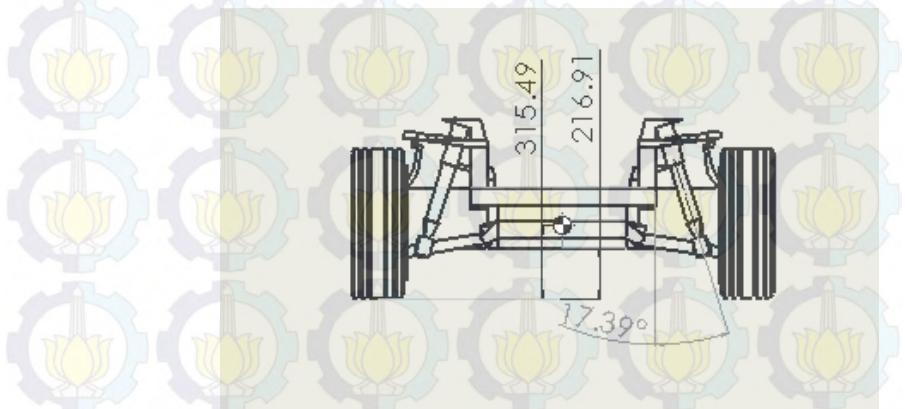
b = jarak dari pusat berat ke poros roda belakang(mm)

h = tinggi titik pusat berat(mm)

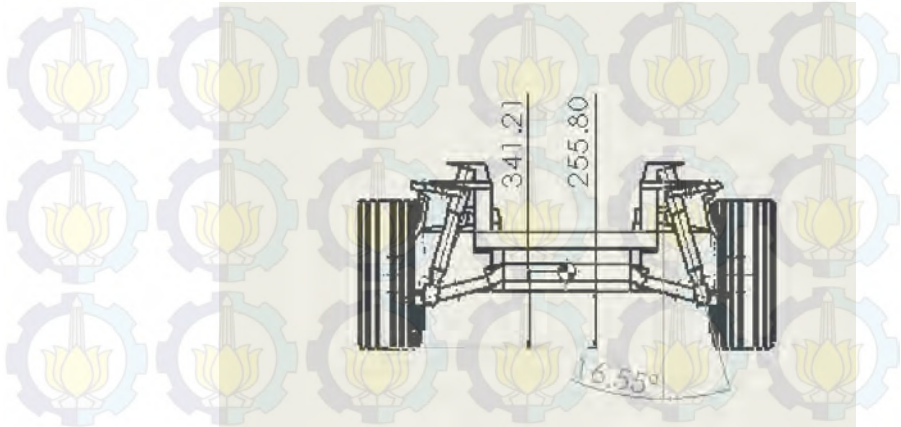
Untuk menganalisa kemiringan suspensi terhadap perilaku belok kendaraan kami menggunakan 3 macam kemiringan suspensi yang berbeda.



**Gambar 4.6.** kemiringan sudut 1



**Gambar 4.7.** kemiringan sudut 2



**Gambar 4.8.** kemiringan sudut 3

Dari ketiga gambar tersebut didapatkan data seperti pada tabel 4.3

**Tabel 4.3** variasi kemiringan suspensi

kemiringan suspensi	19,82	17,39	16,55
Hg	271,30	315,49	341,21
ground clearance	128,93	216,91	255,8

Keterangan :

kemiringan suspensi depan (degree)

Hg = tinggi *center of gravity* dari permukaan tanah (mm)

*ground clearance* = celah antara tanah dengan badan kendaraan (mm)



## 4.2. Analisa Kestabilan Arah Kendaraan

### 4.2.1. Contoh Perhitungan Stabilitas

Pada contoh perhitungan kali ini, data yang dipakai sebagai dasar dalam perhitungan ini adalah pada posisi titik berat pada *layout 1* dengan kondisi berjalan dengan kecepatan 40 km/jam dengan sudut belok ( $\delta_f$ ) sebesar  $13^\circ$  dengan massa total kendaraan 1500 kg. Dalam perhitungan ini, besarnya nilai tinggi titik pusat berat ( $h$ ) sudah ditentukan pada variasi rancangan posisi titik berat.

#### 4.2.1.1. Perhitungan pusat titik berat

Pada perhitungan ini menggunakan posisi titik berat 2, di mana pusat titik berat (*center of gravity*) bergeser ke depan. Berikut ini dapat dilihat rancangan posisi titik berat 2 pada mobil Listrik ITS 1 seperti pada gambar 2.1.

Massa total = 1500 kg ;

$W = 14715 \text{ N}$  ;

$L = a+b = 2.45 \text{ m}$ ,  $a = 1,525 \text{ m}$  ;  $b = 0,955 \text{ m}$ ;

$h = 0.687 \text{ m}$  ;

$r = 0.254 \text{ m}$

Posisi longitudinal

$$\bullet \quad W \cdot a = (a + b)W_r$$

$$W_r = \frac{W \cdot a}{(a+b)}$$

$$W_r = \frac{14715 \text{ N} \cdot 1,525 \text{ m}}{2.47 \text{ m}}$$
$$W_r = 10178,17 \text{ N}$$

- $$W_f = W - W_r$$

$$W_f = 14715 \text{ N} - 10178,17 \text{ N}$$

$$W_f = 4536,828 \text{ N}$$

#### Posisi tinggi

Berdasarkan gambar 4.2 , telah ditentukan tinggi titik pusat berat (h) sebesar 0.31 m.

- Menentukan nilai hr

$$hr = hg - r$$

$$hr = 0.687 \text{ m} - 0.254 \text{ m}$$

$$hr = 0.433 \text{ m}$$

#### **4.2.1.2. Menghitung radius ackerman ( $R_{ack}$ ) dan sudut slip ( $\beta$ )**

- Besarnya radius ackerman ( $R_{ack}$ ) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.4.

$$R_{ack} = \frac{a+b}{\delta f} 57,29$$

$$R_{ack} = \frac{2.47}{13^\circ} 57,29$$

$$R_{ack} = 10,92 \text{ m}$$

- Mencari sudut side slip ( $\beta$ )

$$\beta = \text{arc. sin}\left(\frac{b}{R_{ack}}\right)$$

$$\beta = \text{arc. sin}\left(\frac{0,955}{7,27143}\right)$$

$$\beta = 4,011^\circ$$

### 4.2.1.3. Mencari gaya sentrifugal ( $F_c$ )

$$V = 40 \text{ km/jam}$$

$$V = \frac{40 \text{ km}}{1 \text{ jam}} \times \frac{1 \text{ jam}}{3600 \text{ s}} \times \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}}$$

$$V = 11,11 \text{ m/s}$$

$$F_c = m \frac{V^2}{R_{ack}}$$

$$F_c = 1500 \text{ kg} \cdot \frac{(8,33 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{7,271423 \text{ m}} \times \frac{1 \text{ N}}{1 \text{ kgm}^2/\text{s}^2}$$

$$F_c = 16957,46 \text{ N}$$

- $F_c \sin \beta = 16957,46 (\sin 4,011) = 1186,362 \text{ N}$
- $F_c \cos \beta = 16957,46 (\cos 4,011) = 16915,91 \text{ N}$

Sedangkan untuk menghitung gaya sentrifugal pada roda depan dan belakang dapat menggunakan persamaan 2.10.

Pada roda depan (roda 2 dan 3)

$$F_{cf} = \frac{b}{a+b} F_c \cos \beta$$

$$F_{cf} = \frac{0,955}{2,47} \cdot 16915,91 \text{ N}$$

$$F_{cf} = 5215,5 \text{ N}$$

Pada roda belakang (roda 1 dan 4)

$$F_{cr} = \frac{a}{a+b} F_c \cos \beta$$



$$F_{cr} = \frac{1,525}{2,47} \cdot 16915,91N$$

$$F_{cr} = 820,607N$$

#### 4.2.1.4. Gaya hambat angin (*drag force*)

Berdasarkan persamaan 2.12, dapat menentukan gaya hambat angin (*drag force*) yang diterima sebagai berikut.

$$F_d = \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot \rho \cdot V_a^2 \cdot A_f$$

di mana :  $C_d = \text{coefisient drag} = 0,5$

$\rho = \text{densitas udara} = 1,205 \frac{kg}{m^3}$

$V_a = \text{kecepatan relative kendaraan (m/s)}$

$A_f = \text{luas frontal area (m}^2\text{)}$

$$F_d = \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot \rho \cdot V_a^2 \cdot A_f$$

$$F_d = \frac{1}{2} \cdot (0,7) \cdot \left(1,205 \frac{kg}{m^3}\right) \cdot \left(11,11 \frac{m}{s}\right)^2 \cdot (1,571m^2)$$

$$F_d = 32,86291 \frac{kg \cdot m^2}{s^2} \times 1 \frac{N}{\frac{kg \cdot m^2}{s^2}} = 81,797 N$$

#### 4.2.1.5. Menghitung gaya gesekan pada roda depan dan belakang ( $F_{gf}$ dan $F_{gr}$ )

Untuk menghitung gaya gesekan pada roda depan dan belakang dapat menggunakan persamaan 2.29 dan 2.31.

Pada roda depan (roda 2 dan 3)

$$F_{gf} = \frac{\mu}{L} (b \cdot W + F_c \cdot h \cdot \sin \delta_f - F_d \cdot h)$$

$$F_{gf} = \frac{0,9872}{2,47 \text{ m}} \cdot (0,955 \cdot 14715 + 16957 \cdot 0,687 \cdot \sin 13^\circ - 81,797 \cdot 0,687)$$

$$F_{gf} = 6575,312 \text{ N}$$

Pada roda belakang (roda 1 dan 4)

$$F_{gr} = \frac{\mu}{L} (a \cdot W - F_c \cdot h \cdot \sin \delta_f + F_d \cdot h)$$

$$F_{gr} = \frac{0,9872}{2,47 \text{ m}} \cdot (1,525 \cdot 14715 - 16957 \cdot 0,687 \cdot \sin 13^\circ + 81,797 \cdot 0,687)$$

$$F_{gr} = 7952,55 \text{ N}$$

#### 4.2.1.6. Gaya normal (Fz)

- **Gaya Normal pada Roda 1 (Roda Belakang kanan)**

Untuk menghitung gaya normal pada roda 1 ( $F_{z1}$ ) dapat menggunakan persamaan 2.14.

$$F_{z1} = \frac{W_r}{2} - \frac{\frac{a}{L} F_c \cdot \cos \beta \cdot h_g}{t_r} - \frac{(F_c \cdot \cos \beta \cdot h_g - F_d \cdot h_g)}{2 \cdot L}$$

$$F_{z1} = \frac{10178,17}{2} - \frac{1,525}{2,47} \cdot 16915,91 \cdot 0,687 - \frac{1,475}{2 \cdot 2,47} (16915,91 \cdot 0,747 - 81,797 \cdot 0,687)$$

$$F_{z1} = -3828,688 \text{ N}$$

- **Gaya Normal pada Roda 2 (Roda Depan kanan)**  
Sedangkan untuk menghitung gaya normal pada roda 2 ( $F_{z2}$ ) dapat menggunakan persamaan 2.17 sebagai berikut.

$$F_{z2} = \frac{W_f}{2} - \frac{b}{L} F_c \cdot \cos \beta \cdot h_g + \frac{(F_c \cos \beta \cdot h_g - F_d \cdot h_g)}{2 \cdot L}$$

$$F_{z2} = \frac{4536,828}{2} - \frac{0,955}{2,47} \frac{16915,91 \cdot 0,687}{1,475}$$

$$+ \frac{(16915,91 \cdot 0,687 - 81,797 \cdot 0,687)}{2 \cdot 2,47}$$

$$F_{z2} = 2614,2813 \text{ N}$$

- **Gaya Normal pada Roda 3 ( Roda Kiri Depan)**

Dari persamaan 2.18 dapat menghitung besarnya gaya normal pada roda 3 ( $F_{z3}$ )

$$F_{z2} = \frac{W_f}{2} + \frac{b}{L} F_c \cdot \cos \beta \cdot h_g + \frac{(F_c \cos \beta \cdot h_g - F_d \cdot h_g)}{2 \cdot L}$$

$$F_{z2} = \frac{4536,828}{2} + \frac{0,955}{2,47} \frac{16915,91 \cdot 0,687}{1,475}$$

$$+ \frac{(16915,91 \cdot 0,747 - 81,797 \cdot 0,747)}{2 \cdot 2,47}$$

$$F_{z3} = 7896,86 \text{ N}$$

- **Gaya Normal pada Roda 4 ( Roda Kiri Belakang)**

Sesuai dengan persamaan 2.14, dapat mencari besarnya gaya normal pada roda 4 ( $F_{z4}$ )

$$F_{z1} = \frac{W_r}{2} + \frac{a}{L} F_c \cdot \cos \beta \cdot h_g - \frac{(F_c \cos \beta \cdot h_g - F_d \cdot h_g)}{2 \cdot L}$$



$$F_{z1} = \frac{10178,17}{2} + \frac{\frac{1,525}{2,47} \cdot 16915,91 \cdot 0,687}{\frac{1,475}{(16915,91 \cdot 0,747 - 81,797 \cdot 0,747)}{2 \cdot 2,47}}$$

$$F_{z4} = 8027,5418 \text{ N}$$

#### 4.2.1.7. Gaya lateral (Fy)

- **Gaya Lateral Roda Belakang (Roda 1 dan 4)**

Besarnya gaya lateral roda belakang (1 dan 4) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.25.

$$F_{y1} = F_{y4} = \frac{a}{2 \cdot L} F_c \cdot \cos \beta$$

$$F_{y1} = F_{y4} = \frac{1,525}{2 \cdot 2,47} \cdot 16915,91$$

$$F_{y1} = F_{y4} = 5850,25 \text{ N}$$

- **Gaya Lateral Roda Depan (Roda 2 dan 3)**

Untuk menghitung besarnya gaya lateral pada roda depan dapat menggunakan persamaan 2.26

$$F_{y2} = F_{y3} = \frac{b}{2 \cdot L} F_c \cos \beta \cos \delta_f + \frac{b}{2 \cdot L} (F_c \sin \beta - F_d) \sin \delta_f$$

$$F_{y3} = \frac{0,955}{2 \cdot 2,47} 16915,91 \cdot \cos 13$$

$$+ \frac{0,955}{2 \cdot 2,47} (1186,362 - 81,797) \sin 13$$

$$F_{y2} = F_{y3} = 764.802 \text{ N}$$

#### 4.2.1.9 Gaya longitudinal (Fx)

- **Gaya Longitudinal Roda Belakang ( Roda 1 dan 4)**

Untuk menghitung besarnya gaya longitudinal ( $F_x$ ) pada roda belakang dapat menggunakan persamaan 2.24.

$$F_{x1} = F_{x4} = \frac{a}{2 \cdot L} (F_c \sin \beta - F_d) - f \cdot W_r / 2$$

$$F_{x1} = \frac{1,525}{2 \cdot 2,47} (1186,362 - 81,797) - 0,08 \cdot 10178,17 / 2$$

$$F_{x1} = F_{x4} = -200,54 \text{ N}$$

- **Gaya Longitudinal Roda Depan ( Roda 2 dan 3)**

Besarnya gaya longitudinal pada roda depan dapat menggunakan persamaan 2.25.

$$F_{x2} = \frac{b}{2 \cdot L} (F_c \sin \beta - F_d) \cos \delta_f - \frac{b}{2 \cdot L} F_c \cos \beta \sin \delta_f$$

$$- f \cdot W_f / 2$$

$$F_{x2} = \frac{0,955}{2 \cdot 2,47} (1186,362 - 81,797) \cos 13 -$$

$$\frac{0,955}{2 \cdot 2,47} 16915,91 \cdot \sin 13 - 0,08 \cdot 4536,828$$

$$F_{x2} = 132,3489 \text{ N}$$

#### 4.2.10. Menghitung sudut slip ( $\alpha$ )

Kendaraan Mobil Listrik ITS 1 yang diteliti pada Tugas Akhir ini menggunakan jenis ban radial baru. Persamaan yang digunakan untuk menghitung besarnya sudut slip adalah persamaan 2.41 dengan anggapan kondisi ban masih baik.

$$\alpha_{rb} = \frac{C_{rp}}{C_{rs}} \cdot \frac{C_{rx}}{C_{ro}} [0,087935 (F_y \alpha)^{0,79008} - 0,005277 (F_z)]$$

- $C_{rp} = 33,5 + 5,30 (P) - 0,0916 (P)^2$
- $C_{rs} = 33,5 + 5,30 (P_s) - 0,0916 (P_s)^2$
- $C_{rx} = \left[ \frac{F_y \cdot \alpha + 0,107927 (F_x)}{161,1398} \right]^{\frac{1}{0,474998}}$
- $C_{ro} = \left[ \frac{F_y \alpha}{161,1398} \right]^{\frac{1}{0,474998}}$

#### Menghitung $C_{rp}$ , $C_{rs}$ , $C_{rx}$ , $C_{ro}$

Di mana P adalah tekanan ban mobil. Sedangkan  $P_s$  adalah tekanan ban standar sebesar 25 psi.

$$C_{rp} = 33,5 + 5,30(P) - 0,0916 (P)^2$$

$$C_{rp} = 33,5 + 5,30(33) - 0,0916 (33)^2$$

$$C_{rp} = 108,6476$$

$$C_{rs} = 33,5 + 5,30(P_s) - 0,0916 (P_s)^2$$

$$C_{rs} = 33,5 + 5,30(25) - 0,0916 (25)^2$$

$$C_{rs} = 108,75$$



$$C_{rx} = \left[ \frac{F_{y1} \cdot \alpha + 0,107927(F_{x1})}{161,1398} \right]^{0,474998}$$

➤ Roda 1

$$C_{rx1} = \left[ \frac{F_{y1} \cdot \alpha + 0,107927(F_{x1})}{161,1398} \right]^{0,474998}$$

$$C_{rx1} = \left[ \frac{1315,137 + 0,107927(-45,079)}{161,1398} \right]^{0,474998}$$

$$C_{rx1} = 82.4387$$

➤ Roda 2

$$C_{rx2} = \left[ \frac{F_{y2} \cdot \alpha + 0,107927(F_{x2})}{161,1398} \right]^{0,474998}$$

$$C_{rx2} = \left[ \frac{171,93 + 0,107927(186,09)}{161,1398} \right]^{0,474998}$$

$$C_{rx2} = 1,446$$

➤ Roda 3

$$C_{rx3} = \left[ \frac{F_{y3} \cdot \alpha + 0,107927(F_{x3})}{161,1398} \right]^{0,474998}$$

$$C_{rx3} = \left[ \frac{171,93 + 0,107927(186,09)}{161,1398} \right]^{0,474998}$$

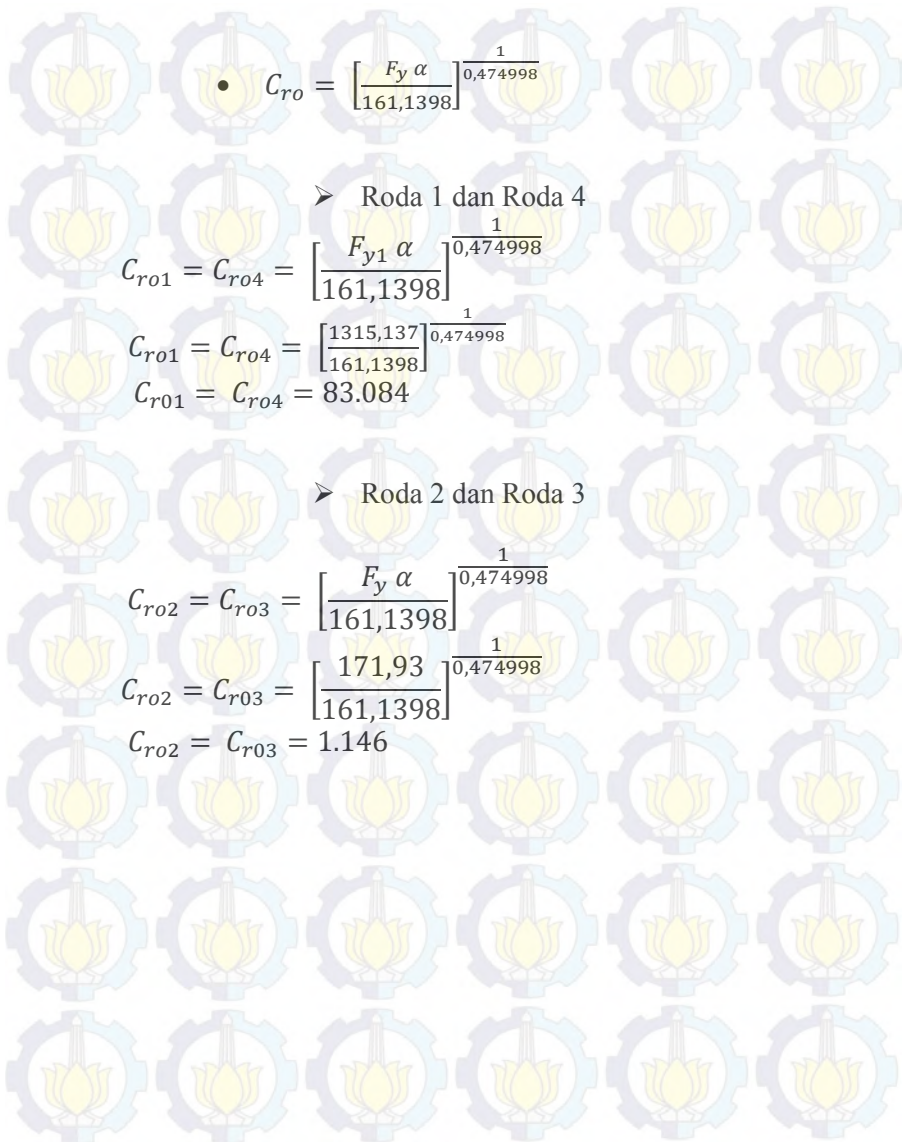
$$C_{rx3} = 1,446$$

➤ Roda 4

$$C_{rx4} = \left[ \frac{F_{y4} \cdot \alpha + 0,107927(F_{x4})}{161,1398} \right]^{0,474998}$$

$$C_{rx4} = \left[ \frac{1315,137 + 0,107927(-45,079)}{161,1398} \right]^{0,474998}$$

$$C_{rx4} = 82.4387$$



$$C_{ro} = \left[ \frac{F_y \alpha}{161,1398} \right]^{\frac{1}{0,474998}}$$

➤ Roda 1 dan Roda 4

$$C_{ro1} = C_{ro4} = \left[ \frac{F_{y1} \alpha}{161,1398} \right]^{\frac{1}{0,474998}}$$

$$C_{ro1} = C_{ro4} = \left[ \frac{1315,137}{161,1398} \right]^{\frac{1}{0,474998}}$$

$$C_{ro1} = C_{ro4} = 83.084$$

➤ Roda 2 dan Roda 3

$$C_{ro2} = C_{ro3} = \left[ \frac{F_y \alpha}{161,1398} \right]^{\frac{1}{0,474998}}$$

$$C_{ro2} = C_{ro3} = \left[ \frac{171,93}{161,1398} \right]^{\frac{1}{0,474998}}$$

$$C_{ro2} = C_{ro3} = 1.146$$

$$\bullet \alpha_{rb} = \frac{C_{rp}}{C_{rs}} \cdot \frac{C_{rx}}{C_{ro}} [0,087935 (F_y \alpha)^{0,79008} - 0,005277 (F_z)]$$

➤ Roda 1

$$\alpha_1 = \frac{C_{rp}}{C_{rs}} \cdot \frac{C_{rx}}{C_{ro}} [0,087935 (F_{y1} \alpha)^{0,79008} - 0,005277 (F_{z1})]$$

$$\alpha_1 = \frac{108,6476}{108,75} \cdot \frac{82,4387}{83,084} [0,087935 (1315,137)^{0,79008} - 0,005277 (-859,56)]$$

$$\alpha_1 = 29,882^0$$

➤ Roda 2

$$\alpha_2 = \frac{C_{rp}}{C_{rs}} \cdot \frac{C_{rx}}{C_{ro}} [0,087935 (F_{y2} \alpha)^{0,79008} - 0,005277 (F_{z2})]$$

$$\alpha_2 = \frac{108,6476}{108,75} \cdot \frac{1,446}{1,146} [0,087935 (171,93)^{0,79008} - 0,005277 (587,69)]$$

$$\alpha_2 = 2,559^0$$

➤ Roda 3

$$\alpha_3 = \frac{C_{rp}}{C_{rs}} \cdot \frac{C_{rx}}{C_{ro}} [0,087935 (F_{y3} \alpha)^{0,79008} - 0,005277 (F_{z3})]$$

$$\alpha_3 = \frac{108,6476}{108,75} \cdot \frac{1,446}{1,146} [0,087935 (171,93)^{0,79008} - 0,005277 (1775,214)]$$

$$\alpha_3 = -5,340^0$$

➤ Roda 4

$$\alpha_4 = \frac{C_{rp}}{C_{rs}} \cdot \frac{C_{rx}}{C_{ro}} [0,087935 (F_{y4} \alpha)^{0,79008} - 0,005277 (F_{z4})]$$

$$\alpha_4 = \frac{108,6476}{108,75} \cdot \frac{82,4387}{83,084} [0,087935 (1315,137)^{0,79008} - 0,005277 (1804,59)]$$

$$\alpha_4 = 15,94^0$$



$$\alpha_f = \frac{2.559^0 + -5.340^0}{2}$$

$$\alpha_f = -1,39^0$$

$$\alpha_r = \frac{29.882^0 + 15,94^0}{2}$$

$$\alpha_r = 22,91^0$$

#### 4.2.1.11 Menghitung radius belok nyata (Rn)

Radius belok nyata dapat ditentukan nilainya dari persamaan 2.6 .

$$R_n = \frac{a + b}{\delta_f + \alpha_r - \alpha_f} 57,29$$

$$R_n = \frac{13 + 22,91 - (-1,39)}{2,47} 57,29$$

$$R_n = 3,8 \text{ m}$$

#### 4.2.1.12. Menghitung *understeer index* (Kus)

*Understeer index* dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 2.45. Apabila nilai Kus bernilai negative (-) , maka kendaraan berada dalam kondisi *oversteer* . Sebaliknya, apabila nilai Kus bernilai positif (+), maka kendaraan berada dalam kondisi *understeer*.

$$K_{us} = (\alpha_f - \alpha_r) \frac{g \cdot R_n}{V^2}$$

$$K_{us} = (-1,39 - 22,91) \cdot \frac{9,81 \cdot 3,8}{11,111^2}$$

$$K_{us} = -7,349$$

( tanda negatif menunjukkan kendaraan berada dalam kondisi *oversteer* )

## 4.2.2. Analisa skid dan roda terangkat

### 4.2.2.1. Analisa roda depan skid

Untuk mengetahui kendaraan ini mengalami skid, perlu diketahui besarnya  $F_{cf}$  dan  $F_{gf}$ . Kendaraan akan mengalami skid jika  $F_{cf} > F_{gf}$ . Berikut ini akan dilakukan analisa pada sudut belok  $13^\circ$ .

$$F_{cf} = \frac{b}{a+b} F_c \cos \beta$$

$$F_{cf} = \frac{0,955}{2,47} \cdot 16915,91N$$

$$F_{cf} = 5232,289 N$$

$$F_{gf} = \frac{\mu}{L} (b \cdot W + F_c \cdot h \cdot \sin \delta_f - F_d \cdot h)$$

$$F_{gf} = \frac{0,987}{2,47} \cdot (0,955 \cdot 14715 + 16957,46 \cdot 0,747 \cdot \sin 13^\circ - 81,797 \cdot 0,687)$$

$$F_{gf} = 5590,1 N$$

$$F_{cf} < F_{gf} \text{ (Roda depan belum mengalami skid)}$$

### 4.2.2.2. Analisa roda belakang skid

Untuk mengetahui kendaraan ini mengalami skid, perlu diketahui besarnya  $F_{cr}$  dan  $F_{gr}$ . Kendaraan akan mengalami skid jika  $F_{cr} > F_{gr}$ . Berikut ini akan dilakukan analisa pada sudut belok  $13^\circ$ .

$$F_{cr} = \frac{a}{a+b} F_c \cos \beta$$

$$F_{cr} = \frac{1,525}{2,47} \cdot 16915,91 N$$

$$F_{cr} = 11738,4088 N$$

$$F_{gr} = \frac{\mu}{L} (a \cdot W - F_c \cdot h \cdot \sin \delta_f + F_d \cdot h)$$

$$F_{gr} = \frac{0,987}{2,47} \cdot (1,525 \cdot 14715 - 16957,46 \cdot 0,687 \cdot \sin 13^\circ + 81,797 \cdot 0,747$$

$$F_{gr} = 8937,8 \text{ N}$$

$F_{cr} > F_{gr}$  (Roda belakang sudah mengalami skid)

#### 4.2.2.3 Kecepatan kritis saat skid

Kecepatan kritis saat skid dapat menggambarkan bagaimana perilaku belok kendaraan

$$V_{sf} = \sqrt{\frac{R_{ack} \cdot g [\mu \cdot b \cdot W - F_d \cdot h \cdot \mu]}{W [b \cdot \cos \delta t - h \cdot \mu \cdot \sin \delta t]}}$$

$$V_{sf}$$

$$= \sqrt{\frac{10,92 \cdot 9,81 [0,987 \cdot 0,955 \cdot 14715 - 81,797 \cdot 0,687 \cdot 0,987]}{14715 [0,764 \cdot \cos 13 - 0,747 \cdot 0,987 \cdot \sin 13]}}$$

$$V_{sf} = 11,818 \text{ m/s}$$

$$V_{sr} = \sqrt{\frac{R_{ack} \cdot g [\mu \cdot a \cdot W - F_d \cdot h \cdot \mu]}{W [a \cdot \cos \delta t - h \cdot \mu \cdot \sin \delta t]}}$$

$$V_{sr}$$

$$= \sqrt{\frac{10,92 \cdot 9,81 [0,987 \cdot 1,525 \cdot 14715 - 81,797 \cdot 0,687 \cdot 0,987]}{14715 [1,714 \cdot \cos 13 - 0,747 \cdot 0,987 \cdot \sin 13]}}$$

$$V_{sr} = 10,987 \text{ m/s}$$

$V_{sf} > V_{sr}$  roda belakang akan skid terlebih dahulu



#### 4.2.2.4 Kecepatan kritis saat guling

Kecepatan kritis saat guling dapat menggambarkan bagaimana perilaku belok kendaraan

$$V_{gf} = \sqrt{\frac{R_{ack} \cdot b \cdot t \cdot g}{2 \cdot b \cdot h \cdot \cos \delta_f + h \cdot t \cdot \sin \delta_f}}$$

$$V_{gf} = \sqrt{\frac{10,92 \cdot 0,955 \cdot 1,475 \cdot 9,81}{2 \cdot 0,764 \cdot 0,747 \cdot \cos 13 + 0,747 \cdot 1,475 \cdot \sin 13}}$$

$$V_{gf} = 9,401 \text{ m/s}$$

$$V_{gr} = \sqrt{\frac{R_{ack} \cdot a \cdot t \cdot g}{2 \cdot a \cdot h \cdot \cos \delta_f + h \cdot t \cdot \sin \delta_f}}$$

$$V_{gr} = \sqrt{\frac{10,92 \cdot 1,525 \cdot 1,475 \cdot 9,81}{2 \cdot 1,714 \cdot 0,747 \cdot \cos 13 + 0,747 \cdot 1,475 \cdot \sin 13}}$$

$$V_{gr} = 9,93 \text{ m/s}$$

$V_{gf} < V_{gr}$ , satu roda depan akan terangkat terlebih dahulu

#### 4.2.3. USER INTERFACE GUI-MATLAB\_Stabilitas Mobil Listrik ITS 1



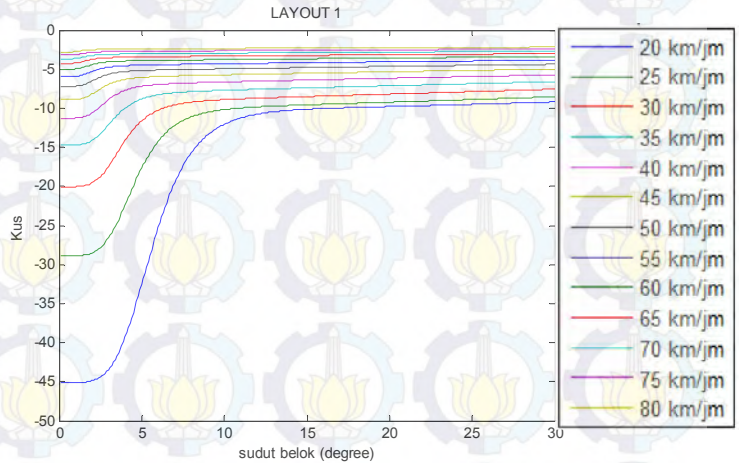
Gambar 4.9 GUI-MATLAB Stabilitas Mobil Listrik ITS 1

Pembuatan GUI Matlab ini dimaksudkan untuk mempermudah di dalam menganalisa gerak belok dari Mobil Listrik 1. Dimana di dalamnya terdapat beberapa keterangan diantaranya

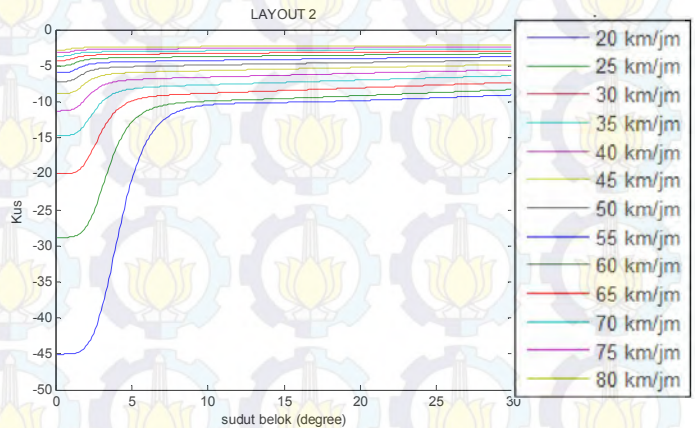
1. data dimensi dari Mobil Listrik ITS 1
2. data input yang bisa dirubah berupa tinggi *center of gravity* dari tanah (Hg), jarak *center of gravity* dari poros depan (a) ,dan jarak *center of gravity* dari poros belakang (b).
3. tombol untuk menganalisa data input tersebut.
4. grafik yang menampilkan nilai Kus vs sudut belok
5. grafik yang menampilkan pengaruh skid pada roda belakang dengan kecepatan tertentu
6. grafik yang menampilkan pengaruh skid pada roda depan dengan kecepatan tertentu
7. grafik yang menampilkan gaya angkat dari keempat roda pada kecepatan tertentu
8. grafik yang menampilkan kecepatan kritis kendaraan saat skid maupun guling

### 4.3. Pembahasan Grafik

#### 4.3.1. Pembahasan Grafik Variasi Layout terhadap Perilaku Gerak Belok Kendaraan

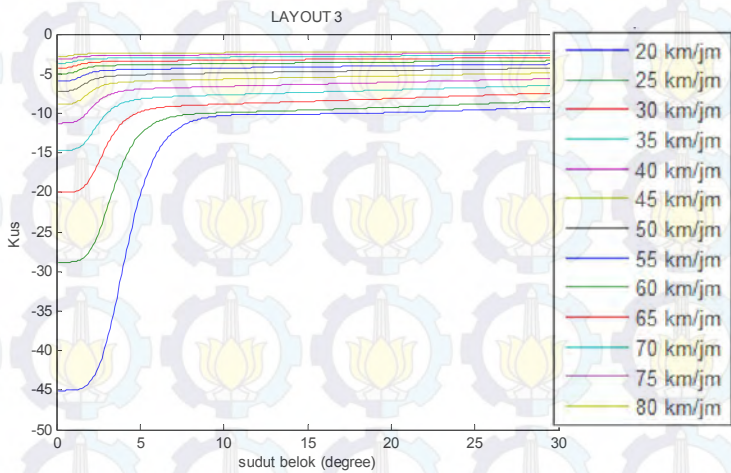


(a)

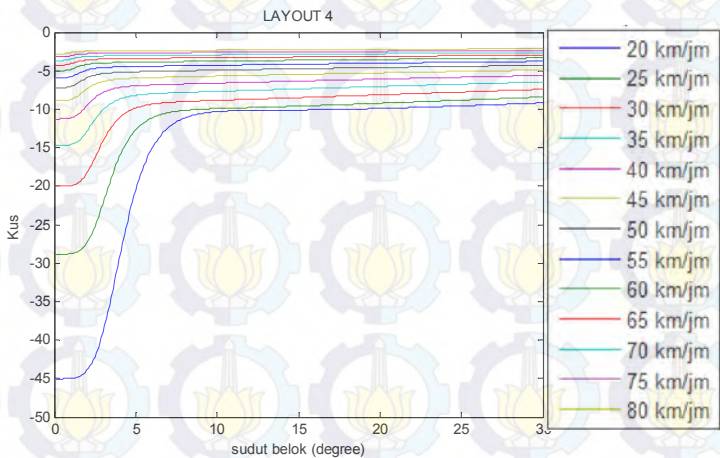


(b)





(c)



(d)

**Gambar 4.10.** Grafik nilai Kus pada masing-masing *layout* Pada grafik di atas merupakan kurva yang menghubungkan antara :

- a. Kus VS  $\delta_f$  pada layout 1
- b. Kus VS  $\delta_f$  pada layout 2
- c. Kus VS  $\delta_f$  pada layout 3
- d. Kus VS  $\delta_f$  pada layout 4

Pada kendaraan mobil Listrik ITS 1 dengan kecepatan antara 20 km/jam sampai 80km/jam, dan sudut belok  $1^0 - 30^0$

Grafik a, menunjukkan hubungan antara sudut belok ( $\delta_f$ ) dengan *understeer index* (Kus) pada layout 1. Berdasarkan grafik tersebut terlihat kecenderungan terjadinya *oversteer*. dimana semakin naiknya sudut belok dan kecepatan,. Nilai Kus menjadi tambah besar namun,hal ini tetap membuat kendaraan memiliki kecenderungan *oversteer*

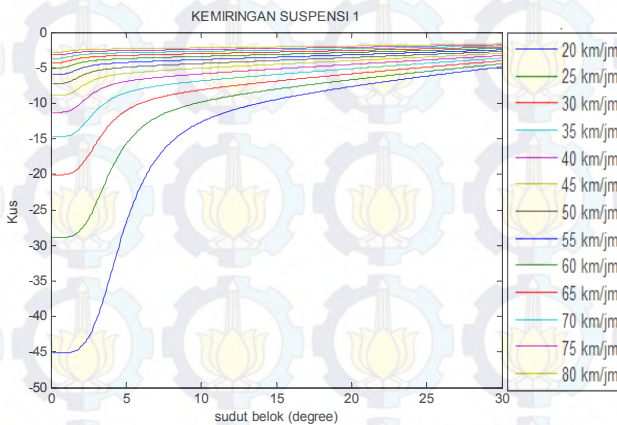
Grafik b menunjukkan hubungan antara sudut belok ( $\delta_f$ ) dengan *understeer index* (Kus) pada layout 2. . Berdasarkan grafik tersebut terlihat kecenderungan terjadinya *oversteer*. dimana semakin naiknya sudut belok dan kecepatan,. Nilai Kus menjadi tambah besar namun,hal ini tetap membuat kendaraan memiliki kecenderungan *oversteer*

pada grafik c menunjukkan hubungan antara sudut belok ( $\delta_f$ ) dengan *understeer index* (Kus) pada layout 3. . Berdasarkan grafik tersebut terlihat kecenderungan terjadinya *oversteer*. dimana semakin naiknya sudut belok dan kecepatan,. Nilai Kus menjadi tambah besar namun,hal ini tetap membuat kendaraan memiliki kecenderungan *oversteer*

Sedangkan pada grafik d menunjukkan hubungan antara sudut belok ( $\delta_f$ ) dengan *understeer index* (Kus) pada layout 4. . Berdasarkan grafik tersebut terlihat kecenderungan terjadinya *oversteer*. dimana semakin naiknya sudut belok dan kecepatan,. Nilai Kus menjadi tambah besar namun,hal ini tetap membuat kendaraan memiliki kecenderungan *oversteer*

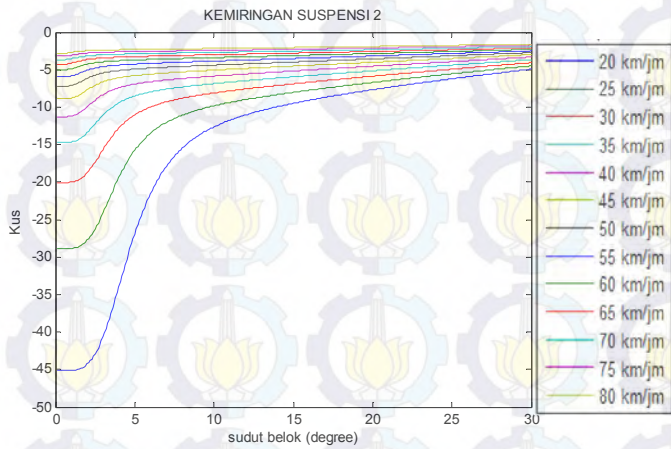
Berdasarkan analisa dari keempat grafik, perilaku kendaraan memiliki kecenderungan *oversteer* dimana hal ini disebabkan dengan perbedaan posisi *center of gravity* yang relative kecil, sehingga perilaku belok kendaraan tidak terlalu berbeda satu sama lain

#### 4.3.2. Pembahasan Grafik Perubahan Kemiringan Suspensi Terhadap Perilaku Gerak Belok

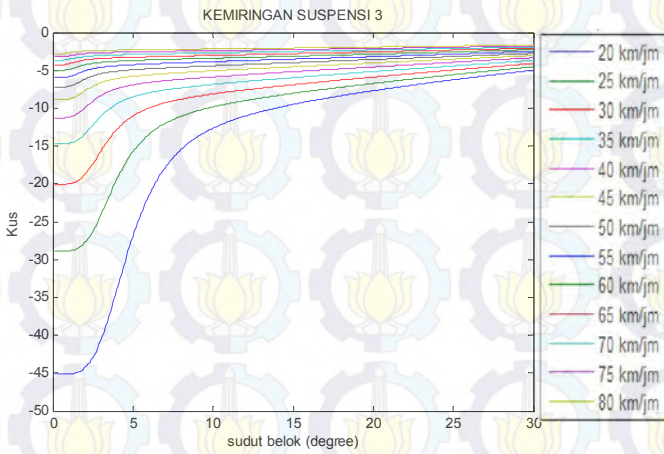


(a)





(b)



(c)

**gambar 4.11** Grafik nilai Kus dengan perbedaan kemiringan suspensi depan

pada grafik diatas merupakan kurva Kus vs DF dimana layout posisi baterai yang sama. hanya kemiringan suspensi depan yang dirubah.

- a. Kus vs DF kemiringan supensi 1
- b. Kus vs DF kemiringan supensi 2
- c. Kus vs DF kemiringan supensi 3

Pada Gambar grafik a. *trendline* grafik yang terjadi memiliki kecenderungan untuk naik. tetapi nilai Kus yang terjadi tetap dibawah nol atau minus. Hal ini mengakibatkan kendaraan memiliki kecenderungan *oversteer*.

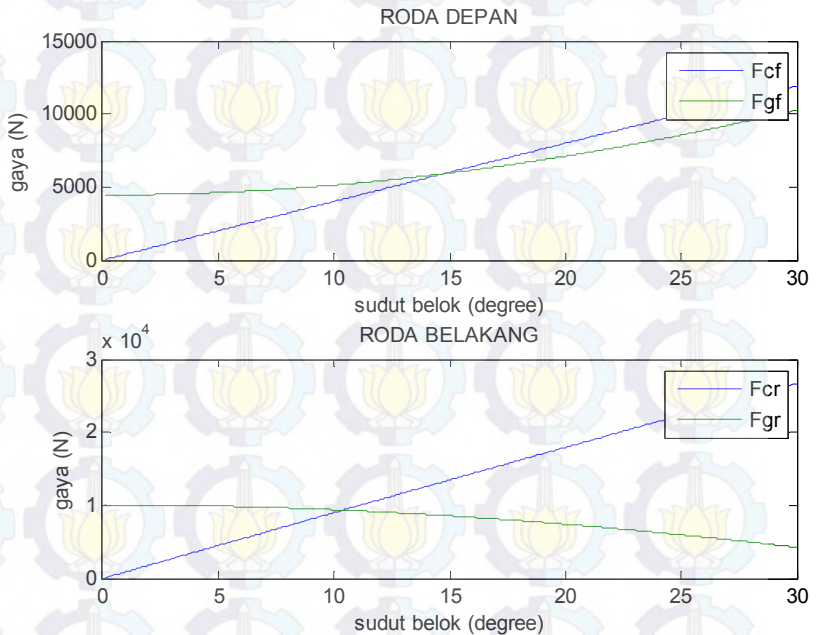
Pada Gambar grafik b. *trendline* grafik yang terjadi memiliki kecenderungan untuk naik. tetapi nilai Kus yang terjadi tetap dibawah nol atau minus. Hal ini mengakibatkan kendaraan memiliki kecenderungan *oversteer*.

Pada Gambar grafik c. *trendline* grafik yang terjadi memiliki kecenderungan untuk naik. tetapi nilai Kus yang terjadi tetap dibawah nol atau minus. Hal ini mengakibatkan kendaraan memiliki kecenderungan *oversteer*.

Berdasarkan gambar grafik tersebut, pada kemiringan suspensi yang dilakukan memiliki perbedaan nilai Hg dari *center of gravity* yang sangat kecil sehingga memberikan perilaku belok kendaraan yang tidak terlalu berbeda.

### 4.3.3. Pembahasan Grafik Analisa Skid

#### 4.3.3.1. Pembahasan Grafik Analisa Skid pada Layout 1 pada $V=40$ km/jm



**gambar 4.12** grafik gaya gesek dan gaya sentrifugal pada *layout 1*

Pada gambar grafik atas menggambarkan gaya yang dialami oleh roda depan sedangkan untuk gambar grafik bawah menggambarkan gaya yang dialami oleh roda belakang. Pada grafik Fcf memiliki trendline linier naik. Sedangkan grafik Fgf memiliki trendline naik pula meskipun kenaikannya lebih kecil dibandingkan grafik Fcf. pada grafik Fgr memiliki Trendline yang menurun. Sedangkan grafik Fcr memiliki

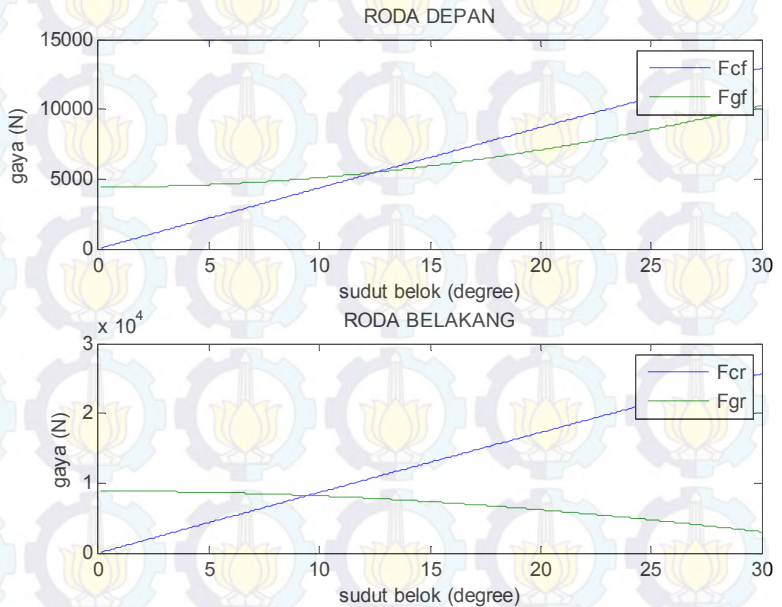


trendline naik. pada grafik  $F_{gr}$  memiliki Trendline yang menurun.

$F_c$  merupakan gaya sentrifugal yang menyebabkan benda yang berputar menjauhi titik putar sehingga gaya ini harus dilawan dengan gaya gesek pada roda. Jika  $F_{cf} > F_{gf}$  maka terjadi skid depan dan cenderung *understeer*. Jika  $F_{cr} > F_{gr}$  maka terjadi skid depan dan cenderung *oversteer*. jika  $F_{cf} > F_{gf}$  dan  $F_{cr} > F_{gr}$  terjadi bersamaan akan terjadi skid depan dan belakang.

Pada gambar grafik di atas di saat kendaraan berbelok pada kecepatan 40 km/jm maka roda belakang akan skid terlebih dahulu dengan sudut belok di atas  $10,4^{\circ}$ . Sedangkan roda depan dan roda belakang akan sama-sama skid dengan sudut belok diatas  $14,8^{\circ}$ .

#### 4.3.3.2. Pembahasan Grafik Analisa Skid pada Layout 2 pada $V=40$ km/jm



**gambar 4.13** grafik gaya gesek dan gaya sentrifugal pada *layout 2*

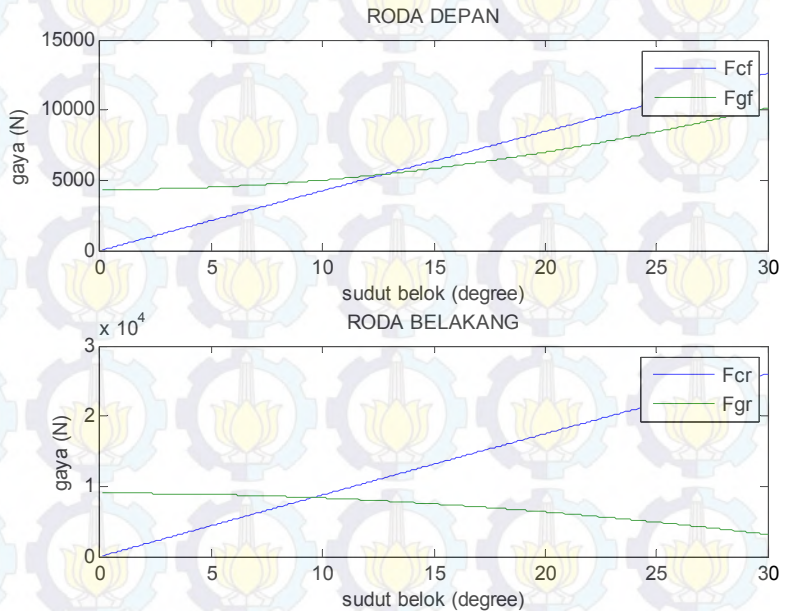
Pada gambar grafik atas menggambarkan gaya yang dialami oleh roda depan sedangkan untuk gambar grafik bawah menggambarkan gaya yang dialami oleh roda belakang. Pada grafik Fcf memiliki trendline linier naik. Sedangkan grafik Fgf memiliki trendline naik pula meskipun kenaikannya lebih kecil dibandingkan grafik Fcf. pada grafik Fgr memiliki Trendline yang menurun. Sedangkan grafik Fcr memiliki trendline naik. pada grafik Fgr memiliki Trendline yang menurun.

$F_c$  merupakan gaya sentrifugal yang menyebabkan benda yang berputar menjauhi titik putar sehingga gaya ini harus dilawan dengan gaya gesek pada roda. Jika  $F_{cf} > F_{gf}$  maka terjadi skid depan dan cenderung *understeer*. Jika  $F_{cr} > F_{gr}$  maka terjadi skid depan dan cenderung *oversteer*. jika  $F_{cf} > F_{gf}$  dan  $F_{cr} > F_{gr}$  terjadi bersamaan akan terjadi skid depan dan belakang.

Pada gambar grafik di atas di saat kendaraan berbelok pada kecepatan 40 km/jm maka roda belakang akan skid terlebih dahulu dengan sudut belok di atas  $9,5^0$ . Sedangkan roda depan dan roda belakang akan sama-sama skid dengan sudut belok diatas  $12,7^0$ .



### 4.3.3.3. Pembahasan Grafik Analisa Skid pada Layout 3 pada $V=40$ km/jm



**gambar 4.14** grafik gaya gesek dan gaya sentrifugal pada *layout 3*

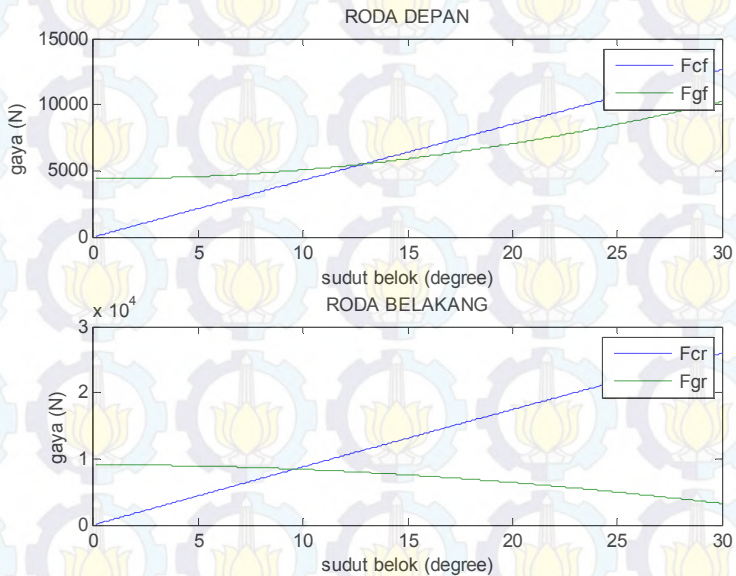
Pada gambar grafik atas menggambarkan gaya yang dialami oleh roda depan sedangkan untuk gambar grafik bawah menggambarkan gaya yang dialami oleh roda belakang. Pada grafik  $F_{cf}$  memiliki trendline linier naik. Sedangkan grafik  $F_{gf}$  memiliki trendline naik pula meskipun kenaikannya lebih kecil dibandingkan grafik  $F_{cf}$ . pada grafik  $F_{gf}$  memiliki Trendline yang menurun. Sedangkan grafik  $F_{cr}$  memiliki trendline naik. pada grafik  $F_{gr}$  memiliki Trendline yang menurun.

$F_c$  merupakan gaya sentrifugal yang menyebabkan benda yang berputar menjauhi titik putar sehingga gaya ini

harus dilawan dengan gaya gesek pada roda. Jika  $F_{cf} > F_{gf}$  maka terjadi skid depan dan cenderung *understeer*. Jika  $F_{cr} > F_{gr}$  maka terjadi skid depan dan cenderung *oversteer*. jika  $F_{cf} > F_{gf}$  dan  $F_{cr} > F_{gr}$  terjadi bersamaan akan terjadi skid depan dan belakang.

Pada gambar grafik di atas di saat kendaraan berbelok pada kecepatan 40 km/jm maka roda belakang akan skid terlebih dahulu dengan sudut belok di atas  $9,6^{\circ}$ . Sedangkan roda depan dan roda belakang akan sama-sama skid dengan sudut belok diatas  $12,8^{\circ}$ .

#### 4.3.3.4. Pembahasan Grafik Analisa Skid pada Layout 4 pada $V=40$ km/jm



**gambar 4.15** grafik gaya gesek dan gaya sentrifugal pada *layout 4*

Pada gambar grafik atas menggambarkan gaya yang dialami oleh roda depan sedangkan untuk gambar grafik bawah menggambarkan gaya yang dialami oleh roda belakang. Pada grafik Fcf memiliki trendline linier naik. Sedangkan grafik Fgf memiliki trendline naik pula meskipun kenaikannya lebih kecil dibandingkan grafik Fcf. pada grafik Fgf memiliki Trendline yang menurun. Sedangkan grafik Fcr memiliki trendline naik. pada grafik Fgr memiliki Trendline yang menurun.

Fc merupakan gaya sentrifugal yang menyebabkan benda yang berputar menjauhi titik putar sehingga gaya ini

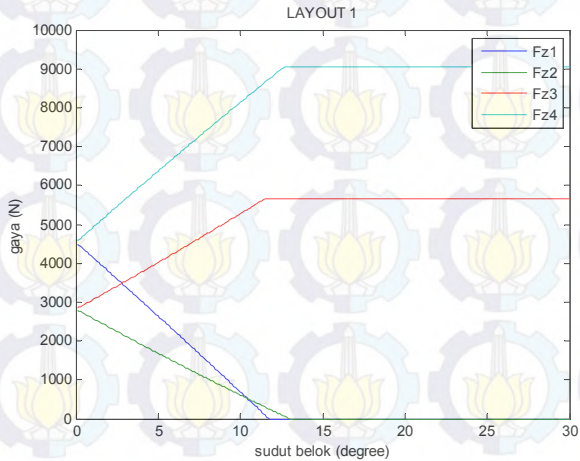


harus dilawan dengan gaya gesek pada roda. Jika  $F_{cf} > F_{gf}$  maka terjadi skid depan dan cenderung *understeer*. Jika  $F_{cr} > F_{gr}$  maka terjadi skid depan dan cenderung *oversteer*. jika  $F_{cf} > F_{gf}$  dan  $F_{cr} > F_{gr}$  terjadi bersamaan akan terjadi skid depan dan belakang.

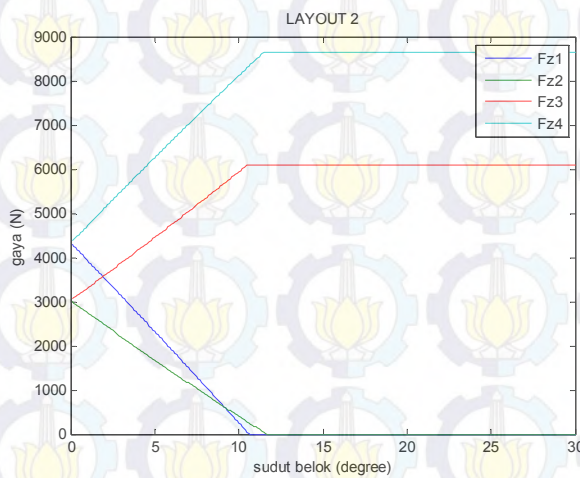
Pada gambar grafik di atas di saat kendaraan berbelok pada kecepatan 40 km/jm maka roda belakang akan skid terlebih dahulu dengan sudut belok di atas  $9,7^{\circ}$ . Sedangkan roda depan dan roda belakang akan sama-sama skid dengan sudut belok diatas  $12,9^{\circ}$ .

### 4.3.4. Pembahasan Grafik Analisa Guling

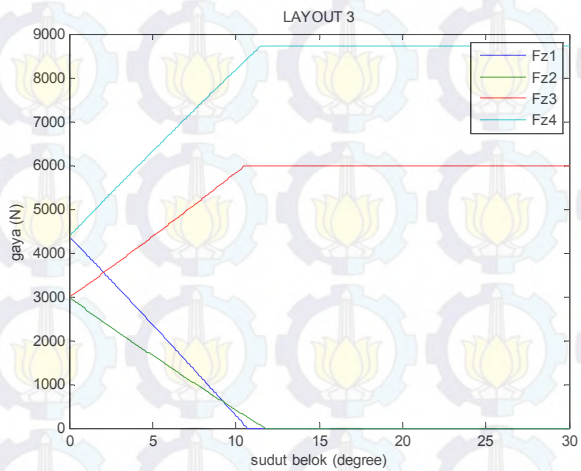
#### 4.3.4.1. Pembahasan Grafik Analisa guling pada $V = 40$ km/jm



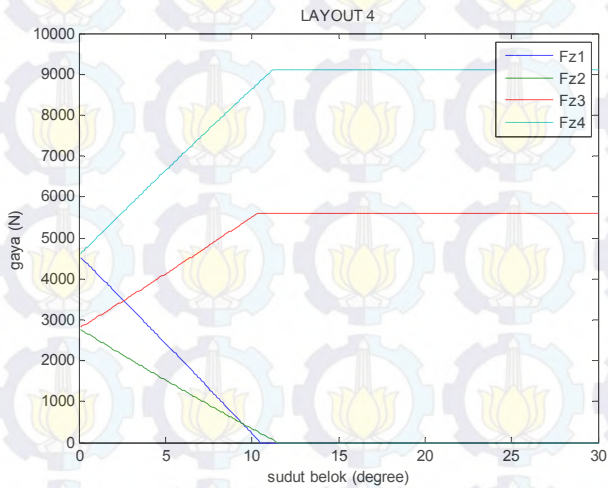
(a)



(b)



(c)



(d)

**gambar 4.16** Grafik gaya normal setiap roda pada masing-masing *layout*



Pada grafik diatas menggambarkan berbagai macam gaya normal yang terjadi pada masing-masing roda pada setiap *layout* menggunakan kecepatan konstan 40 km/jm.

- a. grafik  $F_z$  VS  $\delta f$  LAYOUT 1
- b. grafik  $F_z$  VS  $\delta f$  LAYOUT 2
- c. grafik  $F_z$  VS  $\delta f$  LAYOUT 3
- d. grafik  $F_z$  VS  $\delta f$  LAYOUT 4

Gambar grafik yang pertama berdasarkan *layout* 1. Dimana gaya normal roda 1 memiliki trendline menurun. Gaya normal roda 2 memiliki trendline yang menurun pula. gaya normal roda 3 memiliki trendline yang meningkat. Sedangkan gaya normal roda 4 memiliki trendlin meningkat

Gambar grafik yang kedua berdasarkan *layout* 2. Dimana gaya normal roda 1 memiliki trendline menurun. Gaya normal roda 2 memiliki trendline yang menurun pula. gaya normal roda 3 memiliki trendline yang meningkat. Sedangkan gaya normal roda 4 memiliki trendline meningkat

Gambar grafik yang ketiga berdasarkan *layout* 3. Dimana gaya normal roda 1 memiliki trendline menurun. Gaya normal roda 2 memiliki trendline yang menurun pula. gaya normal roda 3 memiliki trendline yang meningkat. Sedangkan gaya normal roda 4 memiliki trendline yang meningkat

Gambar grafik yang keempat berdasarkan *layout* 4. dimana gaya normal roda 1 memiliki trendline menurun. gaya normal roda 2 memiliki trendline yang menurun pula. gaya normal roda 3 memiliki trendline yang meningkat. sedangkan gaya normal roda 4 memiliki trendline yang meningkat

Gaya normal pada roda menentukan terangkatnya roda tersebut dari tanah sehingga menyebabkan kendaraan tersebut terguling.

jika  $F_{z1} < 0$  maka roda 1 terangkat.

jika  $Fz_2 < 0$  maka roda 2 terangkat.

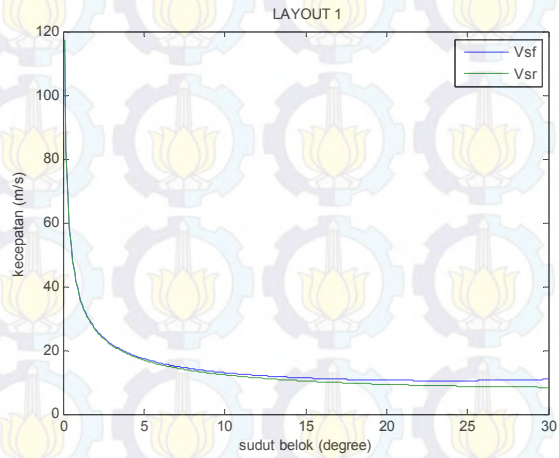
jika  $Fz_3 < 0$  maka roda 3 terangkat

jika  $Fz_4 < 0$  maka roda 4 terangkat.

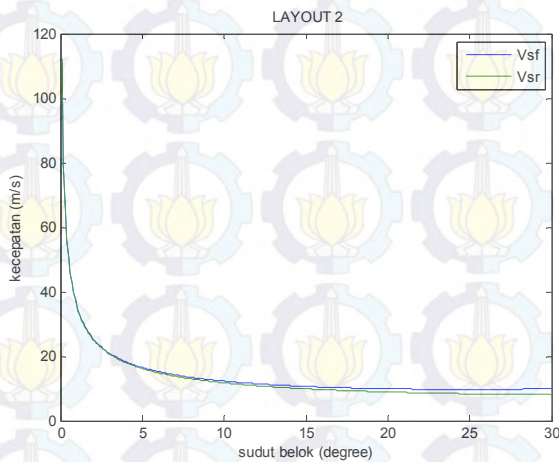
Pada gambar diatas, semua grafik gaya normal *layout* menunjukkan bahwa roda 1 yang terangkat terlebih dahulu. Kemudian setelah itu roda 2 yang terangkat. hanya saja Pada *layout* 1 roda 1 terangkat pada sudut belok  $11^0$ . Kemudian roda 2 baru terangkat pada sudut  $11,9^0$ . Pada *layout* 2 roda 1 terangkat pada sudut belok  $10^0$ . Kemudian roda 2 baru terangkat pada sudut  $10,8^0$ . Pada *layout* 3 roda 1 terangkat pada sudut belok  $10,1^0$ . Kemudian roda 2 baru terangkat pada sudut  $10,8^0$ . Pada *layout* 4 roda 1 terangkat pada sudut belok  $10,1^0$ . Kemudian roda 2 baru terangkat pada sudut  $10,9^0$ .

## 4.3.5 Pembahasan Grafik Kecepatan Kritis

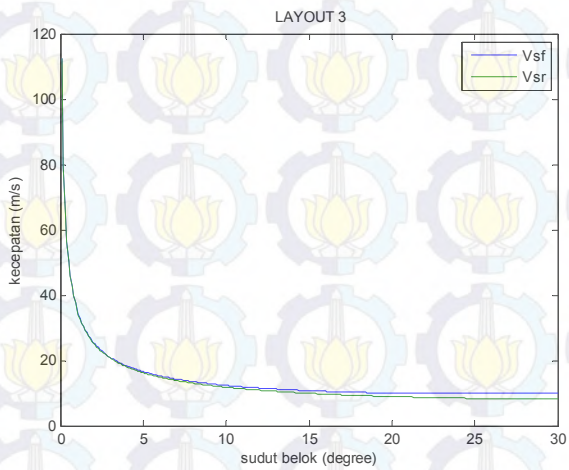
### 4.3.5.1 Pembahasan Grafik Kecepatan Kritis saat Skid



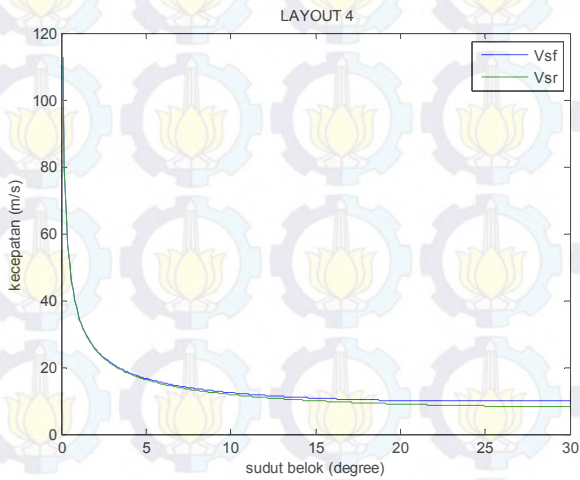
(a)



(b)



(c)



(d)

**gambar 4.17.** Grafik kecepatan kritis saat skid pada masing-masing layout



- 
- a. Grafik  $V_s$  vs  $\delta f$  LAYOUT 1
  - b. Grafik  $V_s$  vs  $\delta f$  LAYOUT 2
  - c. Grafik  $V_s$  vs  $\delta f$  LAYOUT 3
  - d. Grafik  $V_s$  vs  $\delta f$  LAYOUT 4

Pada gambar grafik tersebut menunjukkan trend line yang sama disemua *layout* yaitu menurun. Dari sudut belok  $0,01^0$  yang memiliki kecepatan tertinggi kemudian menurun hingga sudut belok  $30^0$  yang memiliki kecepatan kritis terendah.

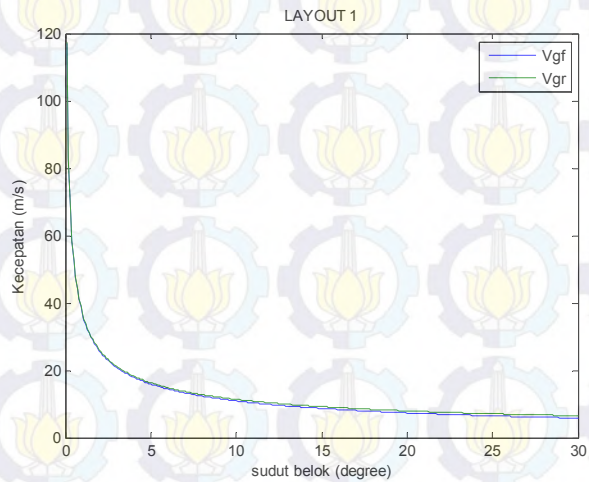
Secara teori kecepatan kritis dipengaruhi oleh sudut belok itu sendiri dimana semakin besar kendaraan tersebut berbelok maka semakin kecil kecepatan yang dibutuhkan kendaraan tersebut untuk skid. hal ini juga dapat menggambarkan perilaku belok kendaraan tersebut. secara umum:

jika  $V_{sf} > V_{sr}$ , skid roda belakang akan terjadi sebelum skid roda depan dan kendaraan cenderung *oversteer*.

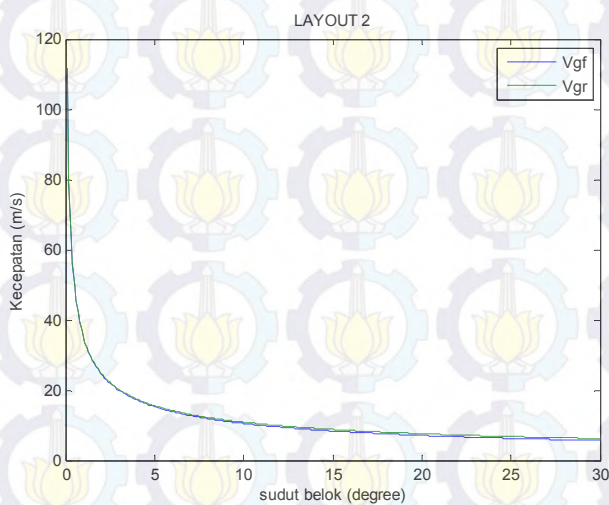
jika  $V_{sf} < V_{sr}$ , skid roda depan akan terjadi sebelum skid roda belakang dan kendaraan cenderung *understeer*.

dari data kecepatan kritis skid, semua *layout* memiliki nilai  $V_{sf}$  yang lebih besar dibandingkan nilai  $V_{sr}$  sehingga dari sini dapat digambarkan semua *layout* memiliki kecenderungan *oversteer*.

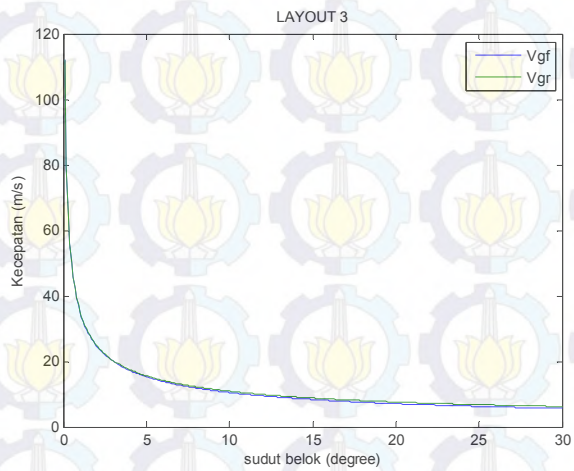
### 4.3.5.1. Pembahasan Grafik Kecepatan kritis saat guling



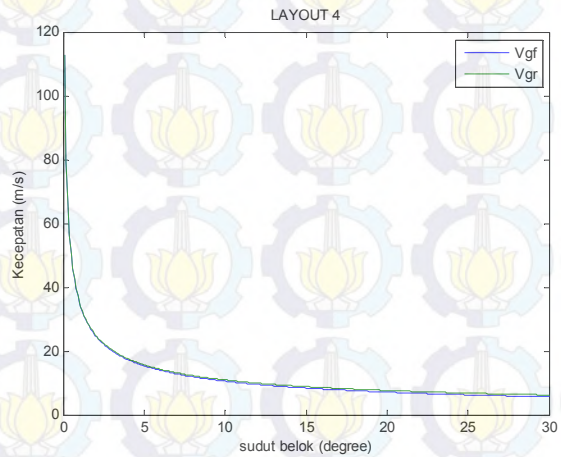
(a)



(b)

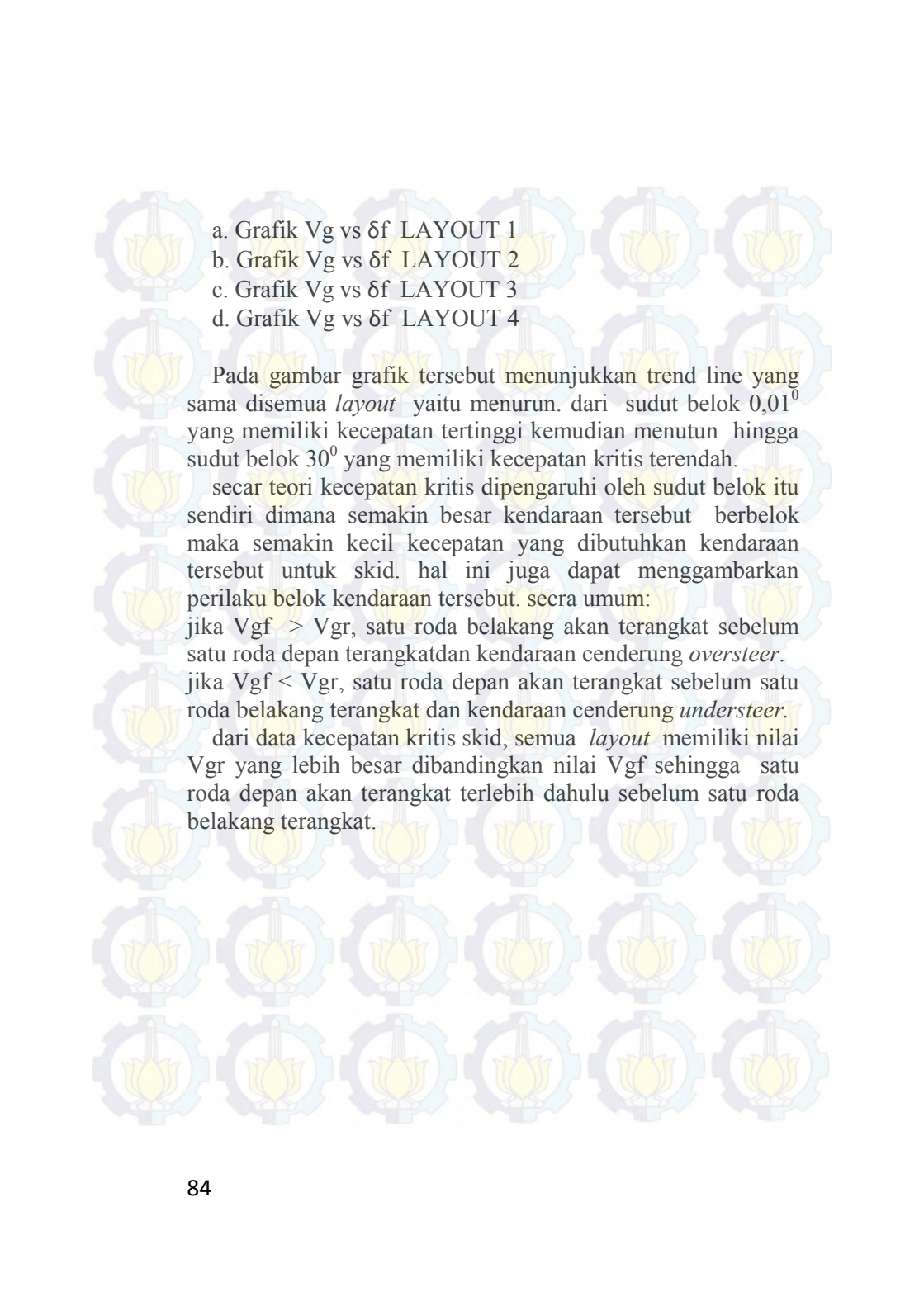


(c)



(d)

**gambar 4.18.** Grafik kecepatan kritis saat guling pada masing-masing layout

- 
- Grafik  $V_g$  vs  $\delta f$  LAYOUT 1
  - Grafik  $V_g$  vs  $\delta f$  LAYOUT 2
  - Grafik  $V_g$  vs  $\delta f$  LAYOUT 3
  - Grafik  $V_g$  vs  $\delta f$  LAYOUT 4

Pada gambar grafik tersebut menunjukkan trend line yang sama disemua *layout* yaitu menurun. dari sudut belok  $0,01^0$  yang memiliki kecepatan tertinggi kemudian menurun hingga sudut belok  $30^0$  yang memiliki kecepatan kritis terendah.

secara teori kecepatan kritis dipengaruhi oleh sudut belok itu sendiri dimana semakin besar kendaraan tersebut berbelok maka semakin kecil kecepatan yang dibutuhkan kendaraan tersebut untuk skid. hal ini juga dapat menggambarkan perilaku belok kendaraan tersebut. secara umum:

jika  $V_{gf} > V_{gr}$ , satu roda belakang akan terangkat sebelum satu roda depan terangkat dan kendaraan cenderung *oversteer*.

jika  $V_{gf} < V_{gr}$ , satu roda depan akan terangkat sebelum satu roda belakang terangkat dan kendaraan cenderung *understeer*.

dari data kecepatan kritis skid, semua *layout* memiliki nilai  $V_{gr}$  yang lebih besar dibandingkan nilai  $V_{gf}$  sehingga satu roda depan akan terangkat terlebih dahulu sebelum satu roda belakang terangkat.



## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. KESIMPULAN**

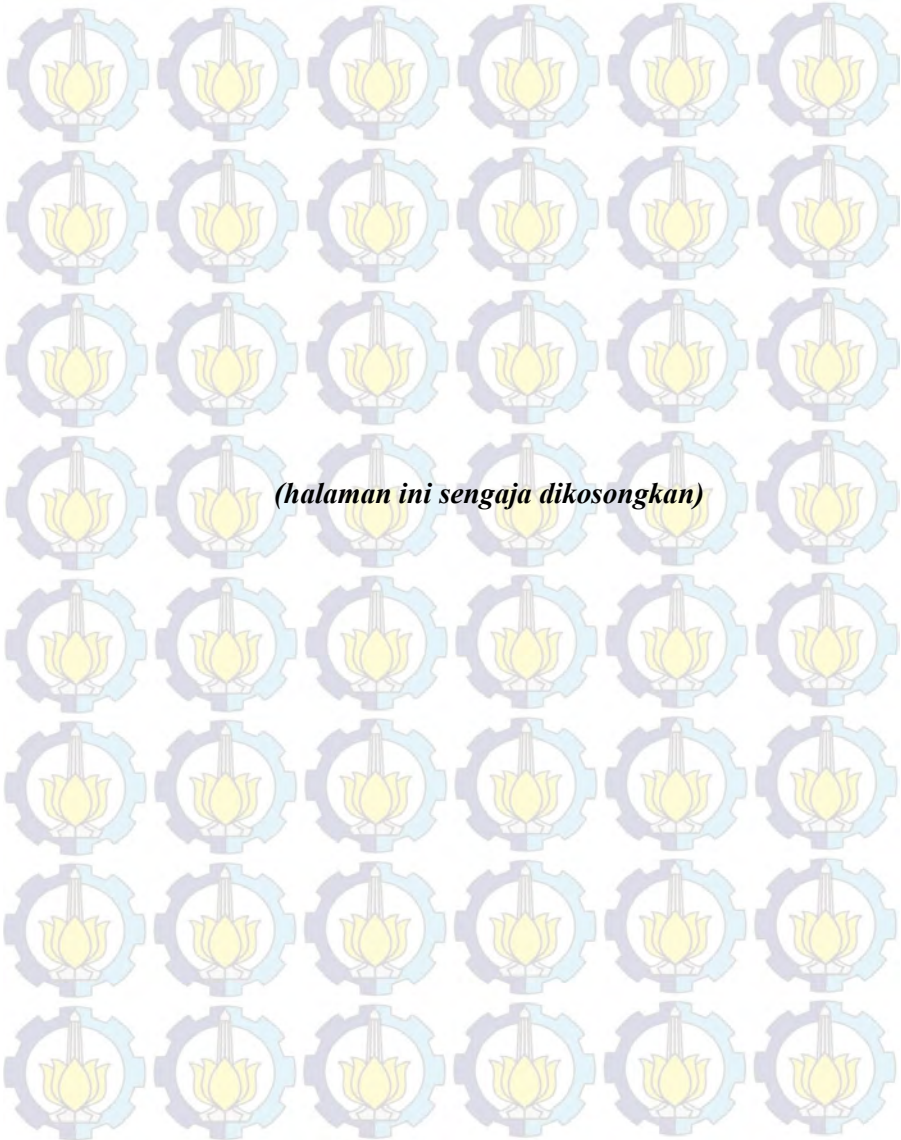
Kesimpulan dari Laporan Tugas Akhir ini adalah

1. Kemiringan suspensi mempengaruhi ketinggian dari *center of gravity* dan juga *ground clearance*. Dimana dengan sudut Suspensi yang kecil dapat menaikkan ketinggian dari *center of gravity* dan juga *ground clearance*. dimana sudut kemiringan suspensi terkecil yaitu  $16,55^{\circ}$  mempunyai ketinggian sebesar 341,21 mm dan *ground clearance* sebesar 255,8 mm
2. variasi peletakan baterai berdasarkan 4 *layout* mempengaruhi perilaku belok kendaraan. pada seluruh *layout* menggambarkan bahwa roda belakang terjadi skid terlebih dahulu. sehingga mengakibatkan kendaraan cenderung *oversteer*.
3. Ketahanan guling dari kendaraan tersebut dapat terlihat dari besarnya nilai kecepatan kritis saatn roda tersebut mulai terguling. dimana pada *layout* 1 memiliki ketahanan guling yang lebih baik daripada *layout* yang lain karena memiliki kecepatan kritis saat guling paling tinggi. dan juga sudut belok terbesar saat mulai terguling.

#### **5.2. SARAN**

Saran yang dapat diberikan pada Laporan Tugas Akhir ini adalah

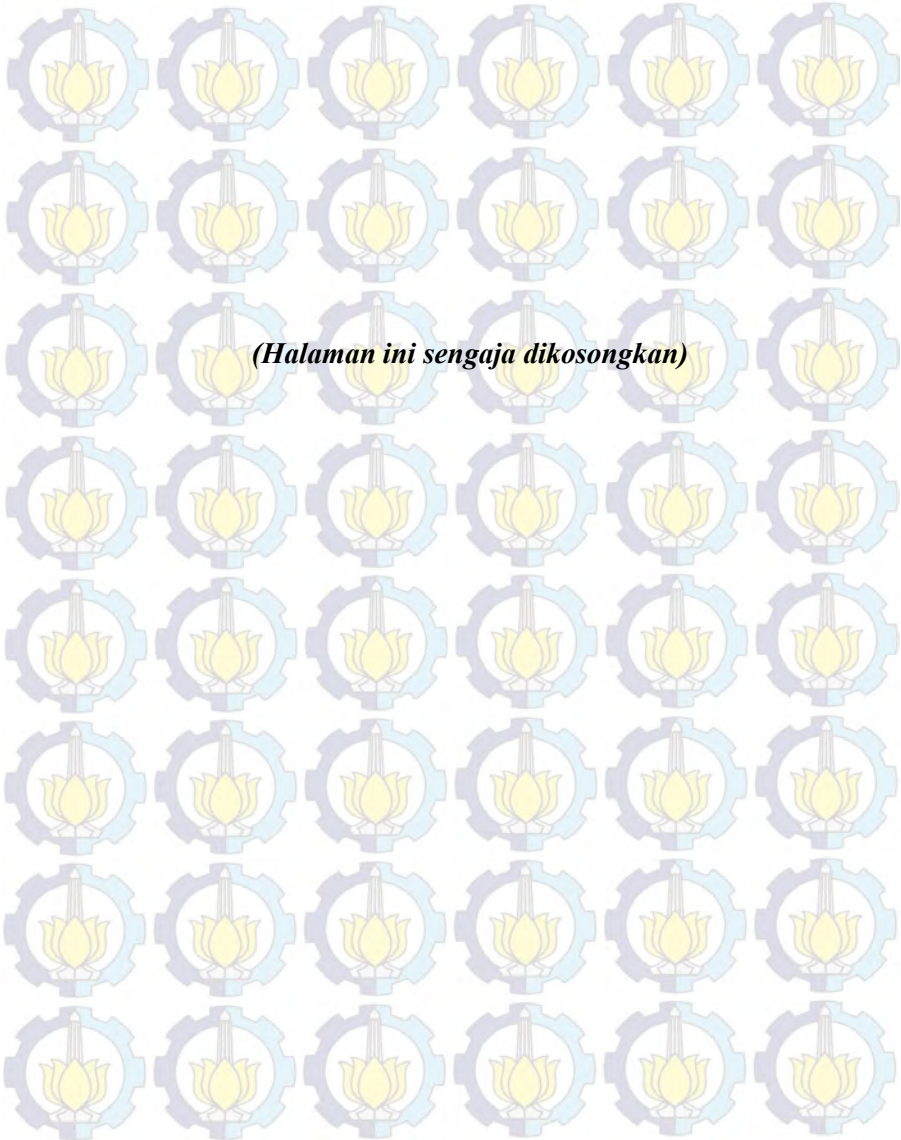
1. Disaat mengurangi kemiringan Suspensi untuk meningkatkan *ground clearance* . harus diperhatikan pula pengaruhnya terhadap ketinggian kendaraan.
2. Bagian depan kendaraan tersebut harus ditambah bebannya agar mendapatkan traksi yang optimal dikarenakan kendaraan tersebut berpengerak depan.



## DAFTAR PUSTAKA

1. WWW.Wikipedia.org
2. Sutantra N & Sampurno B. 2010. TEKNOLOGI OTOMOTIF Edisi Kedua. Surabaya: Guna Widya
3. Rizal Kaunang, Deni. 2013. ANALISA KESTABILAN ARAH PADA KENDARAAN FORMULA “SAPU ANGIN SPEED” BERDASARKAN VARIASI POSISI TITIK BERAT, KECEPATAN DAN TES DINAMIK *STUDENT FORMULA JAPAN 2013*. Teknik Mesin, ITS Surabaya.





*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## BIODATA PENULIS



**Pradana Setia Budi Laksana** dilahirkan di Surabaya, 14 Maret 1992 anak yang terlahir dari orang tua terbaik bernama Imam dan Warsini. Penulis memiliki satu kak perempuan yang bernama Dina Ayu Pratiwi yang sudah bekerja. Penulis mendapatkan beasiswa *Bidik Misil*. TK Kutilang adalah sekolah pertama yang dipilih penulis untuk mulai meniti pendidikannya. Setelah dua tahun, penulis melanjutkan ke SDN Ngagel Rejo III Surabaya. Kemudian melanjutkan pendidikan di SMP N 12 Surabaya dan berikutnya di SMA Negeri 10 Surabaya. Setelah itu penulis melanjutkan kuliah di Teknik Mesin ITS. Di bangku kuliah ini penulis pernah meraih Juara 1 Lomba Desain yang diadakan oleh BKSTM pada tahun 2012. Selain itu, penulis juga mengembangkan kemampuan soft skillnya dengan menjadi Staff departemen Dalam Negeri BEM FTI ITS dan beberapa jabatan lain baik didalam maupun luar jurusan. Meskipun demikian, penulis juga aktif di kegiatan perkuliahan dan di laboratorium. Spesifikasi bidang studi penulis adalah Desain. Didalam laboratorium ini, penulis pernah menjabat sebagai Koordinator Praktikum Mekanika Getaran, Asisten Praktikum Dinamika Teknik, Grader Menggambar Mesin, Hal ini yang memotivasi penulis untuk membanggakan orang tua, almamater dan bangsa. Penulis dapat dihubungi melalui email Pradana.laksana@gmail.com



## LAMPIRAN

Command Matlab

```
clear all
```

```
m = 1500;
```

```
tr = 1.475;
```

```
bf = 1.5;
```

```
Kf = 40000;
```

```
% a = 1.233;%kemiringan
```

```
% b = 1.246
```

```
% Hg = 0.315;
```

```
a = 1.525;%layout1
```

```
b = 0.955;
```

```
Hg = 0.687;
```

```
% a = 1.451;%layout2
```

```
% b = 1.022;
```

```
% Hg = 0.758;
```

```
% a = 1.467;%layout3
```

```
% b = 1.006;
```

```
% Hg = 0.753;
```

```
% a = 1.482;%layout4
```

```
% b = 0.911;
```

```
% Hg = 0.744;
```

```
Df = [0.1:0.1:30];
```

```
df = degtorad(Df);
```

```
Cd = 0.7;
```

```
ru = 1.205;
```

```
Af = 1.571;
```



```

bf = 1;
myu = tr/(2*Hg);
fr = 0.08;
g = 9.81;
W = m*g;
L = a + b;
rc = Hg-0.26;
Wr = a*W/(a+b);
Wf = b*W/(a+b);
P = 33;
Ps = 25;
v1 = [20:5:80];

```

```

% untuk V1=?

```

```

for j=1:13

```

```

    v(j)= v1(j)/3.6;

```

```

    Fd(j) = 0.5*Cd*1.205*Af*v(j)^2;

```

```

for i=1:300

```

```

    Rack(i) = L*57.29/Df(i);

```

```

    B(i) = asin (b/Rack(i));

```

```

    Fc(j,i) = m*v(j)^2/Rack(i);

```

```

    Fcf(j,i) = b*Fc(j,i)*cos(B(i))/(L);

```

```

    Fcr(j,i) = a*Fc(j,i)*cos(B(i))/(L);

```

```

    Fgf(j,i) = myu/L*(b*W+Fc(j,i)*Hg*sin(df(i))-Fd(j)*Hg);

```

```

    Fgr(j,i) = myu/L*(a*W-Fc(j,i)*Hg*sin(df(i))+Fd(j)*Hg);

```

```

    Fz1(j,i) = (Wr/2)-(a*(Fc(j,i)*cos(B(i))*Hg)/(L*tr)-
    ((Fc(j,i)*sin(B(i))*Hg-(Fd(j)*Hg))/(L*2));

```



$$Fz2(j,i) = (Wf/2) - (b*(Fc(j,i)*\cos(B(i))*Hg)/(L*tr)) + ((Fc(j,i)*\sin(B(i))*Hg - (Fd(j)*Hg))/(L*2));$$

$$Fz3(j,i) = (Wf/2) + (b*(Fc(j,i)*\cos(B(i))*Hg)/(L*tr)) + ((Fc(j,i)*\sin(B(i))*Hg - (Fd(j)*Hg))/(L*2));$$

$$Fz4(j,i) = (Wr/2) + (a*(Fc(j,i)*\cos(B(i))*Hg)/(L*tr)) - ((Fc(j,i)*\sin(B(i))*Hg - (Fd(j)*Hg))/(L*2));$$

$$Fy1(j,i) = a*Fc(j,i)*\cos(B(i))/2/L;$$

$$Fy4(j,i) = Fy1(j,i);$$

$$Fy2(j,i) =$$

$$(b*Fc(j,i)*\cos(B(i))*\cos(df(i))/(2*L)) + (b*Fc(j,i)*\sin(B(i))*\sin(df(i))/(2*L));$$

$$Fy3(j,i) = Fy2(j,i);$$

$$Fx1(j,i) = ((a*(Fc(j,i)*\sin(B(i)) - Fd(j))/(2*L)) - fr*Wr/2)*(-1);$$

$$Fx4(j,i) = Fx1(j,i);$$

$$Fx2(j,i) = ((b*(Fc(j,i)*\sin(B(i)) -$$

$$Fd(j))*\cos(df(i))/(2*L)) + (b*Fc(j,i)*\cos(B(i))*\sin(df(i))/(2*L)) - fr*Wf/2)*(-1);$$

$$Fx3(j,i) = Fx2(j,i);$$

$$Crb1(j,i) = 0.00301003*(Fy1(j,i)*0.2248)^{1.207861};$$

$$Crb2(j,i) = 0.00301003*(Fy2(j,i)*0.2248)^{1.207861};$$

$$Crb3(j,i) = 0.00301003*(Fy3(j,i)*0.2248)^{1.207861};$$

$$Crb4(j,i) = 0.00301003*(Fy4(j,i)*0.2248)^{1.207861};$$

$$Crg1(j,i) = 0.0023636*(Fy1(j,i)*0.2248)^{1.222203};$$

$$Crg2(j,i) = 0.0023636*(Fy2(j,i)*0.2248)^{1.222203};$$

$$Crg3(j,i) = 0.0023636*(Fy3(j,i)*0.2248)^{1.222203};$$

$$Crg4(j,i) = 0.0023636*(Fy4(j,i)*0.2248)^{1.222203};$$

$$Crp = 33.5 + 5.3*P - 0.0916*P^2;$$

$$Crs = 33.5 + 5.3*Ps - 0.0916*Ps^2;$$

```
    Crx1(j,i)
    =(((Fy1(j,i)*0.2248)+0.107927*(Fx1(j,i)*0.2248))/161.1398)^(1/
    0.474998);
```

```
    Crx2(j,i)
    =(((Fy2(j,i)*0.2248)+0.107927*(Fx2(j,i)*0.2248))/161.1398)^(1/
    0.474998);
```

```
    Crx3(j,i)
    =(((Fy3(j,i)*0.2248)+0.107927*(Fx3(j,i)*0.2248))/161.1398)^(1/
    0.474998);
```

```
    Crx4(j,i)
    =(((Fy4(j,i)*0.2248)+0.107927*(Fx4(j,i)*0.2248))/161.1398)^(1/
    0.474998);
```

```
    Cro1(j,i) = ((Fy1(j,i)*0.2248)/161.1398)^(1/0.474998);
```

```
    Cro2(j,i) = ((Fy2(j,i)*0.2248)/161.1398)^(1/0.474998);
```

```
    Cro3(j,i) = ((Fy3(j,i)*0.2248)/161.1398)^(1/0.474998);
```

```
    Cro4(j,i) = ((Fy4(j,i)*0.2248)/161.1398)^(1/0.474998);
```

```
    alpha1(j,i) =
    (Crp/Crs)*(Crx1(j,i)/Cro1(j,i))*(0.087935*((Fy1(j,i)*0.2248)^0.7
    9008)-0.005277*(Fz1(j,i)*0.2248));
```

```
    alpha2(j,i) =
    (Crp/Crs)*(Crx2(j,i)/Cro2(j,i))*(0.087935*((Fy2(j,i)*0.2248)^0.7
    9008)-0.005277*(Fz2(j,i)*0.2248));
```

```
    alpha3(j,i) =
    (Crp/Crs)*(Crx3(j,i)/Cro3(j,i))*(0.087935*((Fy3(j,i)*0.2248)^0.7
    9008)-0.005277*(Fz3(j,i)*0.2248));
```

```
    alpha4(j,i) =
    (Crp/Crs)*(Crx4(j,i)/Cro4(j,i))*(0.087935*((Fy4(j,i)*0.2248)^0.7
    9008)-0.005277*(Fz4(j,i)*0.2248));
```

```
%    if alpha1(j,i) < 0
```

```
%        alpha1(j,i) = 0;
```

```
%    end
```

```
%    if alpha2(j,i) < 0
```

```

%      alpha2(j,i) = 0;
%      end
%      if alpha3(j,i) < 0
%          alpha3(j,i) = 0;
%      end
%      if alpha4(j,i) < 0
%          alpha4(j,i) = 0;
%      end

alphan(j,i) = (alpha1(j,i)+alpha4(j,i))/2;
alphaf(j,i) = (alpha2(j,i)+alpha3(j,i))/2;
al(j,i) = Fz1(j,i)+Fz4(j,i);
Rn(j,i) = (L/(Df(i)-alphaf(j,i)+alphan(j,i)))*57.29;
Kus(j,i) = (alphaf(j,i)-alphan(j,i))*9.81*Rn(j,i)/(v(j)^2);

Vsf(i) = ((myu*b*g*Rack(i))/(b*cos(df(i))-
myu*Hg*sin(df(i))))^(1/2);
Vsr(i) = ((myu*a*g*Rack(i))/(a*cos(df(i))-
myu*Hg*sin(df(i))))^(1/2);

Vgf(i) =
(Rack(i)*b*tr*g/(2*b*Hg*cos(B(i))+Hg*tr*sin(B(i))))^0.5;
Vgr(i) =
(Rack(i)*a*tr*g/(2*a*Hg*cos(B(i))+Hg*tr*sin(B(i))))^0.5;

if Fz1(j,i) < 0
    Fz1(j,i) = 0;
%    Kus(j,i) = (-1)^(0.5);
end
if Fz2(j,i) < 0
    Fz2(j,i) = 0;
%    Kus(j,i) = (-1)^(0.5);
end
if Fz3(j,i) > Wf
    Fz3(j,i) = Wf;

```



```
% Kus(j,i) = (-1)^(0.5);
```

```
end
```

```
if Fz4(j,i) > Wr
```

```
Fz4(j,i) = Wr;
```

```
% Kus(j,i) = (-1)^(0.5);
```

```
end
```

```
end
```

```
end
```

```
% subplot(2,1,1)
```

```
% plot(Df,Fcf(5,:),Df,Fgf(5,:))
```

```
% title('RODA DEPAN')
```

```
% xlabel('sudut belok (degree)')
```

```
% ylabel('gaya (N)')
```

```
% legend('Fcf','Fgf')
```

```
% subplot(2,1,2)
```

```
% plot(Df,Fcr(5,:),Df,Fgr(5,:))
```

```
% title('RODA BELAKANG')
```

```
% xlabel('sudut belok (degree)')
```

```
% ylabel('gaya (N)')
```

```
% legend('Fcr','Fgr')
```

```
plot(Df,Kus)
```

```
title('LAYOUT 1')
```

```
xlabel('sudut belok (degree)')
```

```
ylabel('Kus')
```

```
% plot(Df,Fz1(5,:),Df,Fz2(5,:),Df,Fz3(5,:),Df,Fz4(5,:))
```

```
% title('LAYOUT 4')
```



```
% xlabel('sudut below (degree)')
% ylabel('gaya (N)')
% legend('Fz1','Fz2','Fz3','Fz4')
% plot(Df,Crx2(3,:))
```

```
% plot(Df,Vgf,Df,Vgr)
% title('LAYOUT 4')
% xlabel('sudut below (degree)')
% ylabel('Kecepatan (m/s)')
% legend('Vgf','Vgr')
```

```
% plot(Df,Vsf,Df,Vsr)
% title('LAYOUT 1')
% xlabel('sudut below (degree)')
% ylabel('kecepatan (m/s)')
% legend('Vsf','Vsr')
```



