



TUGAS AKHIR (Desain) - TM 091486

PERENCANAAN LAYOUT DAN ANALISIS STABILITAS PADA KENDARAAN HYBRID RODA TIGA HYVI SAPUJAGAD

BAGUS KUSUMA RUSWANDIRI
NRP 2108 100 120

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D.

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2014



FINAL PROJECT (Design) - TM 091486

LAYOUT DESIGN AND STABILITY ANALYSIS OF THREE WHEEL HYBRID VEHICLE HYVI SAPUJAGAD

BAGUS KUSUMA RUSWANDIRI
NRP 2108 100 120

Advisor
Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D.

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2014

PERENCANAAN LAYOUT DAN ANALISIS STABILITAS PADA KENDARAAN HYBRID RODA TIGA HYVI SAPUJAGAD

Nama Mahasiswa : Bagus Kusuma Ruswandiri
NRP : 2108100120
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc.,
Ph.D.

ABSTRAK

Alat transportasi adalah kebutuhan yang cukup penting saat ini, dimana manusia memiliki kebutuhan untuk mobilitas yang cukup tinggi. Alat transportasi yang baik harus memenuhi beberapa aspek antara lain kestabilan, kenyamanan, keamanan, dan efisien. Banyak perusahaan otomotif berusaha mengembangkan teknologi untuk memenuhi beberapa aspek tersebut.

Pada tugas akhir kali ini dilakukan perancangan sebuah konsep kendaraan beroda tiga di Indonesia. Dengan bentuk yang futuristik, kendaraan ini dirancang berkapasitas dua orang. Penentuan center of gravity yang tepat dilakukan untuk mendapatkan kendaraan yang stabil, tahan terhadap skid dan guling (rollover). Perancangan dilakukan dengan melakukan pemilihan pada beberapa opsi penempatan layout generator set dan baterai. Selain itu juga dilakukan analisis stabilitas kendaraan dengan variabel kecepatan, sudut belok terhadap posisi center of gravity. Penelitian dilakukan dengan analisis kondisi skid dan guling serta perumusan pada sudut slip dan understeer index, sehingga dapat diketahui kondisi kendaraan tersebut akan mengalami kondisi skid atau guling, serta memiliki karakteristik understeer atau oversteer.

Dari penelitian pada tugas akhir ini didapatkan karakteristik kestabilan kendaraan yang ditunjukkan dengan

grafik $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ vs δ_f , α_f , α_r vs δ_f dan K_{us} vs δ_f di mana semakin besar kecepatan belok dan sudut belok kendaraan maka semakin besar sudut slip. Besarnya sudut slip roda depan selalu lebih besar daripada roda belakang yang menyebabkan kecenderungan terjadinya understeer. Di samping itu, ada kecenderungan roda 2 terangkat. Untuk pemilihan layout penempatan Generator Set dan Baterai yang terbaik pada Layout 1 yang baru mengalami skid di kecepatan 60km/jam pada sudut belok 7° dan guling pada sudut belok 15° dengan nilai understeer index (K_{us}) sebesar 0,905.

Kata kunci : kendaraan roda tiga, center of gravity, sudut slip, skid, rollover, Understeer Index, Understeer, Oversteer.

LAYOUT DESIGN AND STABILITY ANALYSIS OF THREE WHEEL HYBRID VEHICLE HYVI SAPUJAGAD

Name : Bagus Kusuma Ruswandiri
NRP : 2108100120
Department : Mechanical Engineering FTI-ITS
Advisor : Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D.

ABSTRACT

A huge human-mobility makes transportation become an important thing nowadays. A good transportation must have some important aspects, such as stability, comfortability, safety, and efficiency. There are so many automotive company tried to improve their technology to fulfill those aspects.

A three-wheeled car design concept has been done in this research. With futuristic design, this vehicle designed with two passenger capacity. Right center of gravity positioning have been done to get a stable, skid and rollover-proof vehicle. The vehicle is designed by choosing some options of generator and battery layout positioning and stability analysis with variable of steer angle against velocity and center of gravity. The research is also done by skid and rolling analysis, and formulation in slip angle, and understeer index, so the vehicle condition in skid and rolling term, and understeer or oversteer characteristic can be known.

The characteristic of this vehicle's stability has been obtained in this research, shown by $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ vs δ_f , α_f, α_r vs δ_f and K_{us} vs δ_f graph. Greater cornering angle and velocity makes slip angle become greater. The magnitude of front wheel slip angle which always greater than rear wheel makes an understeer tendency. Besides that, there is also 2nd wheel unintentionally lifted up tendency. For the layout choosing, the best positioning of generator and battery is at layout 1, which encounter skid on

60km/h velocity at 7° steer angle and rolling at 15° steer angle with understeer index value by 0.905

Keyword : three-wheeled vehicle, center of gravity, slip angle, skid, rollover, Understeer Index, Understeer, Oversteer.

**PERENCANAAN LAYOUT DAN ANALISIS
STABILITAS PADA KENDARAAN HYBRID RODA
TIGA HYVI SAPUJAGAD**

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 :

Bagus Kusuma Ruswandiri
NRP. 2108 100 120

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir

1. Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D. (Pembimbing)
2. Yohanes, S.T. M.Sc. Eng. (Penguji I)
3. Dr.Eng. Unggul Wasiwitono, S.T., M.Eng.Sc. (Penguji II)
4. Ir. Yunarko Triwinarno, M.T. (Penguji III)

SURABAYA
Januari 2014

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur kehadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga Tugas Akhir yang saya kerjakan ini dapat terselesaikan dengan baik.

Laporan Tugas Akhir ini saya susun sesuai dengan bidang studi saya Desain dengan judul **Perencanaan Layout dan Analisis Stabilitas pada Kendaraan Hybrid Roda Tiga HyVI Sapujagad**. Saya juga tidak lupa mengucapkan terima kasih kepada.

1. Ir. Bambang Pramujati, M.Eng.Sc,PhD., selaku Kepala Jurusan Teknik Mesin FTI ITS
2. Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir
3. Bpk Yohanes, S.T., M.Sc.Eng, Bpk Dr.Eng.Unggul Wasiwitono,ST.,M.Eng.Sc., Bpk Ir. Yunarko Triwinarno, M.T., serta Bpk Dr.Ir.Agus Sigit Pramono,DEA. selaku dosen penguji Seminar Proposal dan Sidang Tugas Akhir
4. Bpk Ir. Witantyo, M.Eng.Sc., selaku dosen wali
5. Ibu Dr. Wiwiek Hendrowati, S.T., M.T., selaku Kasie Proposal dan Tugas Akhir
6. Bpk Wawan Aries Widodo, Bpk Sutikno, dan Bpk Alief Wikarta selaku dosen pembimbing Tim Sapu Angin.
7. Orang tua dan keluarga penulis yang telah memberikan motivasi.
8. Super Tim HyVI Sapujagad, Opank, Martino, Jamez, Bapink, dan Mat yang telah berjuang meluangkan waktu, tenaga, pikiran, dan biaya demi terwujudnya mobil hybrid roda tiga ini.
9. Pak Mardi, Pak Heri, dan segenap karyawan PT. Maruline Maju Utama, yang telah membantu proses *manufacturing* mobil HyVI Sapujagad.
10. Rekan-rekan seperjuangan, Tim Sapu Angin 2012, dan Tim Sapu Angin 2013 yang telah berjuang bersama-sama membawa nama harum Indonesia ke kancah

internasional. **Semoga kita bisa membanggakan Almamater dan Bangsa.**

11. Rakyat republik sulap (lab desain), dan lab kompor yang tiada henti memberikan semangat saat penyusunan tugas akhir ini.
12. My BFF Sangkil, Ririn, Deena, yang selalu bersedia mendengarkan keluh kesah penulis.
13. Seluruh anggota Lembaga Bengkel Mahasiswa Mesin (LBMM) yang telah membantu mengembangkan *skill* otomotif penulis.
14. Segenap Sarekat Merah Rakyat Mesin (SMRM), Dosen, dan Karyawan jurusan Teknik Mesin ITS yang telah memberikan dukungan, motivasi dan pembelajaran selama kuliah.
15. Semua pihak yang telah membantu atas terselesaikannya laporan Tugas Akhir ini, yang tidak bisa disebutkan satu-persatu. Semoga keikhlasan dan kebaikan yang telah diberikan mendapatkan balasan dari Allah SWT

Karena keterbatasan waktu dan kemampuan, saya menyadari laporan Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan, kesalahan, dan keterbatasan sehingga masih belum sempurna. Untuk itu saya mengharapkan kritik dan saran demi kesempurnaan Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir dan mobil HyVI Sapujagad yang telah dibuat dapat bermanfaat bagi saya pribadi dan bangsa.

Surabaya, Januari 2014

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Abstrak	iii
Abstract	v
Kata Pengantar	vii
Daftar Isi	ix
Daftar Gambar	xiii
Daftar Tabel	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II STUDI LITERATUR DAN DASAR TEORI	5
2.1 Studi Literatur.....	5
2.1.1 Perkembangan Kendaraan Roda Tiga.....	5
2.1.2 Ketahanan Guling Kendaraan Roda Tiga.....	8
2.2 Dasar Teori Analisis Stabilitas.....	9
2.2.1 Penentuan Titik Berat Kendaraan (<i>Center of Gravity</i>).....	9
2.2.2 Model Kendaraan.....	13
2.2.3 Perilaku Belok Kendaraan.....	14
2.2.4 Perumusan Gaya-Gaya dari Kendaraan Belok.....	18
2.2.5 Dinamika Belok Model Kendaraan Sederhana.....	27
2.2.6 Perumusan Sutdud Slip.....	28
2.2.7 Spesifikasi Ukuran Ban.....	30
2.2.8 Indeks <i>Understeer</i> (<i>Understeer Index</i>) dan Kecepatan Karakteristik.....	31
BAB III METODOLOGI	33
3.1 Prosedur Penelitian.....	33
3.2 <i>Flowchart</i>	33
3.2.1 <i>Flowchart</i> Perhitungan.....	33
3.3 Prosedur Perhitungan.....	35

3.3.1 Analisis Stabilitas dengan Variabel Kecepatan dan Sudut Belok terhadap Perubahan Layout Generator Set dan Baterai	35
BAB IV PERHITUNGAN DAN ANALISIS DATA	37
4.1 Data dan Spesifikasi Kendaraan	37
4.2 Analisis Kestabilan Kendaraan	40
4.2.1 Contoh Perhitungan Stabilitas	40
4.2.1.1 Perhitungan Posisi Titik Berat	41
4.2.1.2 Perhitungan Radius <i>Ackermann</i> (R_{ack}) dan Sudut Side Slip (β)	42
4.2.1.3 Perhitungan Gaya Sentrifugal (F_c)	43
4.2.1.4 Perhitungan Gaya Hambat Angin	44
4.2.1.5 Perhitungan Sudut Guling (<i>Rolling</i>) dan Sudut Angguk (<i>Pitching</i>)	44
4.2.1.6 Perhitungan Gaya Normal (F_z)	45
4.2.1.7 Perhitungan Gaya Lateral (F_y)	46
4.2.1.8 Perhitungan Gaya Longitudinal (F_x)	48
4.2.1.9 Perhitungan Sudut Slip (α)	49
4.2.1.10 Perhitungan Radius Belok Nyata (R_n)	52
4.2.1.11 Perhitungan Indeks <i>Understeer</i>	52
4.2.1.12 Perhitungan Kecepatan Karakteristik	53
4.2.2 Analisis Skid dan Guling	53
4.2.2.1 Analisis Roda Depan Skid	53
4.2.2.2 Analisis Roda Belakang Skid	54
4.2.2.3 Analisis Guling	54
4.2.3 Analisis Grafik	55
4.2.3.1 Grafik Pengaruh Perubahan Sudut <i>Steer</i> terhadap Sudut Slip pada Layout 1	55
4.2.3.2 Grafik Pengaruh Perubahan Sudut <i>Steer</i> terhadap Sudut Slip pada Layout 2	58
4.2.3.3 Grafik Pengaruh Perubahan Sudut <i>Steer</i> terhadap Sudut Slip pada Layout 3	60
4.2.3.4 Grafik Pengaruh Perubahan Sudut <i>Steer</i> terhadap <i>Understeer Index</i> pada Layout 1 (Grafik Gabungan)	63

4.2.3.5	Grafik Pengaruh Perubahan Sudut <i>Steer</i> terhadap <i>Understeer Index</i> pada Layout 2 (Grafik Gabungan).....	65
4.2.3.6	Grafik Pengaruh Perubahan Sudut <i>Steer</i> terhadap <i>Understeer Index</i> pada Layout 3 (Grafik Gabungan).....	67
4.2.3.7	Perbandingan Analisis Skid dan Guling (Rolling) pada Lyout 1, 2, dan 3.....	70
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		73
5.1	Kesimpulan.....	73
5.2	Saran.....	75
DAFTAR PUSTAKA		77
LAMPIRAN		79

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Konfigurasi kendaraan roda tiga.....	5
Gambar 2.2	Gambar mobil roda tiga buatan Portugal dengan nama <i>Veeco RT</i>	6
Gambar 2.3	Gambar mobil roda tiga buatan Amerika dengan nama <i>XR3 Hybrid</i>	7
Gambar 2.4	Layout rasio L/H dari kendaraan roda tiga.....	9
Gambar 2.5	Penimbangan kendaraan untuk menentukan lokasi titik berat (CG).....	10
Gambar 2.6	Penimbangan kendaraan untuk mencari posisi tinggi titik berat kendaraan.....	11
Gambar 2.7	Kondisi kendaraan tanpa penumpang.....	12
Gambar 2.8	Kondisi kendaraan dengan penambahan 2 penumpang.....	12
Gambar 2.9	Model kendaraan menurut standar SAE J760-2008: Vehicle Dynamics Terminology.....	14
Gambar 2.10	Kinematika kendaraan belok tanpa sudut slip.....	15
Gambar 2.11	Kinematika kendaraan belok dengan sudut slip.....	16
Gambar 2.12	Kendaraan mengalami oversteer.....	17
Gambar 2.13	Kendaraan mengalami understeer.....	18
Gambar 2.14	Gaya-gaya dan momen pada kendaraan.....	19
Gambar 2.15	Posisi pusat guling untuk “ <i>positive swing arm independent suspension (double wishbone)</i> ”.....	20
Gambar 2.16	Pengaruh gaya sentrifugal terhadap roda belakang.....	21
Gambar 2.17	Pengaruh gaya sentrifugal pada momen rolling terhadap roda depan.....	22
Gambar 2.18	Pengaruh gaya sentrifugal pada gerakan <i>pitching</i>	24
Gambar 2.19	Gaya pada arah-x dan arah-y.....	25
Gambar 2.20	Gaya pada arah-x dan arah-y dengan model sepeda.....	26
Gambar 2.21	Kendaraan model sederhana dengan belok datar.....	27

Gambar 2.22	Analisa skid dengan menggunakan model sepeda	27
Gambar 2.23	Sudut slip akibat deformasi pada ban.....	29
Gambar 2.24	Salah Satu Contoh Kodifikasi Ban.....	30
Gambar 2.25	Ilustrasi Ukuran Ban.....	31
Gambar 3.1	<i>Flowchart</i> Perhitungan.....	34
Gambar 4.1	Rancangan mobil HyVI tampak pandangan isometric (a,b), depan (c), belakang (d), atas (e), samping (f).....	37
Gambar 4.2	Rancangan layout kendaraan untuk layout 1 (a), layout 2 (b), dan layout 3 (c).....	40
Gambar 4.3	Analisis posisi titik berat mobil HyVI pada software Solidworks 2013.....	41
Gambar 4.4	Kinematika kendaraan belok.....	43
Gambar 4.5	Posisi titik pusat guling (<i>roll center</i>).....	44
Gambar 4.6	Grafik hubungan sudut steer terhadap sudut slip roda belakang dan roda depan pada layout 1 dengan muatan dua penumpang.....	55
Gambar 4.7	Grafik hubungan sudut steer terhadap sudut slip roda belakang dan roda depan pada layout 2 dengan muatan dua penumpang.....	59
Gambar 4.8	Grafik hubungan sudut steer terhadap sudut slip roda belakang dan roda depan pada layout 3 dengan muatan dua penumpang.....	62
Gambar 4.9	Grafik hubungan sudut steer terhadap understeer index pada layout 1 dengan muatan dua penumpang.....	63
Gambar 4.10	Grafik hubungan sudut steer terhadap understeer index pada layout 2 dengan muatan dua penumpang.....	65
Gambar 4.11	Grafik hubungan sudut steer terhadap understeer index pada layout 3 dengan muatan dua penumpang.....	67

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Harga Rata-Rata Hambatan Rolling untuk Beberapa Jenis Ban dan Kondisi Jalan.....	23
Tabel 4.1	Spesifikasi Teknis Mobil HyVI.....	38
Tabel 4.2	Variasi Rancangan Layout Mobil HyVI.....	39
Tabel 4.3	Tabel Analisis Skid dan Guling Gabungan.....	70
Tabel A1	Analisis Stabilitas pada Layout 1, Kecepatan 20km/jam.....	79
Tabel A2	Analisis Stabilitas pada Layout 1, Kecepatan 30km/jam.....	80
Tabel A3	Analisis Stabilitas pada Layout 1, Kecepatan 40km/jam.....	81
Tabel A4	Analisis Stabilitas pada Layout 1, Kecepatan 50km/jam.....	82
Tabel A5	Analisis Stabilitas pada Layout 1, Kecepatan 60km/jam.....	83
Tabel A6	Analisis Stabilitas pada Layout 2, Kecepatan 20km/jam.....	84
Tabel A7	Analisis Stabilitas pada Layout 2, Kecepatan 30km/jam.....	85
Tabel A8	Analisis Stabilitas pada Layout 2, Kecepatan 40km/jam.....	86
Tabel A9	Analisis Stabilitas pada Layout 2, Kecepatan 50km/jam.....	87
Tabel A10	Analisis Stabilitas pada Layout 2, Kecepatan 60km/jam.....	88
Tabel A11	Analisis Stabilitas pada Layout 3, Kecepatan 20km/jam.....	89
Tabel A12	Analisis Stabilitas pada Layout 3, Kecepatan 30km/jam.....	90
Tabel A13	Analisis Stabilitas pada Layout 3, Kecepatan 40km/jam.....	91
Tabel A14	Analisis Stabilitas pada Layout 3, Kecepatan 50km/jam.....	92

Tabel A15 Analisis Stabilitas pada Layout 3, Kecepatan 60km/jam.....	93
Tabel B1 Analisis Skid & Guling pada Kecepatan 20km/jam..	94
Tabel B2 Analisis Skid & Guling pada Kecepatan 20km/jam..	95
Tabel B3 Analisis Skid & Guling pada Kecepatan 20km/jam..	95
Tabel B4 Analisis Skid & Guling pada Kecepatan 20km/jam..	96
Tabel B5 Analisis Skid & Guling pada Kecepatan 20km/jam..	96

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transportasi merupakan suatu hal yang penting dalam kehidupan sehari-hari, terutama untuk menunjang aktifitas serta memenuhi kebutuhan masyarakat. Seiring berkembangnya dinamika manusia, maka transportasi juga dituntut untuk bisa berkembang dengan menerapkan teknologi-teknologi terbaru untuk menciptakan transportasi yang aman dan nyaman. Dalam hal ini di Indonesia telah terdapat berbagai jenis kendaraan, khususnya kendaraan roda dua dan roda empat. Kendaraan roda dua atau sepeda motor adalah kendaraan yang sangat populer mengingat harganya yang terjangkau dan memiliki kelincihan bermanuver meskipun dalam kondisi jalan yang padat, namun jika ditinjau dari sisi *safety* kendaraan ini memiliki nilai *safety* yang rendah dimana tidak ada bagian *body* atau *chassis* yang dapat melindungi pengemudi dan penumpang dari benturan, selain itu sepeda motor memiliki kenyamanan yang rendah mengingat tidak adanya pelindung dari terik matahari maupun hujan. Lain halnya dengan kendaraan roda empat atau yang lebih dikenal dengan istilah mobil, kendaraan jenis ini memiliki kenyamanan yang tinggi dimana pengemudi dan penumpang terlindung dari terik matahari maupun hujan, selain itu jika ditinjau dari sisi *safety* kendaraan ini nilai *safety* yang tinggi dimana terdapat konstruksi *body* atau *chassis* kendaraan yang melindungi pengemudi dan penumpang dari benturan, namun dalam hal efisiensi kendaraan ini masih dinilai kurang efisien mengingat dimensi yang dimiliki cukup besar dan rawan terjebak dalam kemacetan lalu lintas.

Saat mobil melakukan gerakan belok dengan kecepatan dan radius belok tertentu akan mengalami kondisi yang dinamakan *understeer*, netral dan *oversteer*. Kondisi netral adalah saat mobil berbelok tanpa mengalami *skid* pada roda depan maupun belakang. Kondisi *understeer* adalah saat mobil berbelok dengan roda depan mengalami *skid*. Sedangkan kondisi *oversteer* adalah

saat mobil berbelok dengan roda belakang mengalami *skid*. Namun pada kenyataannya, kondisi netral sangatlah sulit terjadi. Hal tersebut dikarenakan mobil mengalami gaya sentrifugal saat berbelok, yang mengakibatkan terjadinya *skid* pada roda depan atau belakang. Fenomena *understeer* dan *oversteer* ini dapat mengindikasikan tingkat kestabilan pada mobil. Mobil yang stabil adalah yang mengalami kondisi mendekati netral. Selain gaya sentrifugal, banyak faktor lain yang menyebabkan mobil mengalami *understeer* dan *oversteer*.

Pada tugas akhir kali ini didapatkan perancangan *layout chassis* pada kendaraan hybrid beroda tiga dengan konfigurasi *reverse-trike* berkapasitas dua penumpang. Sehingga mampu menghasilkan kendaraan yang lebih aman dan nyaman, namun juga efisien.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana membuat *layout* kendaraan untuk mendapatkan posisi *center of gravity* yang tepat agar menimbulkan distribusi beban yang merata pada setiap roda dan tidak berpengaruh besar pada perilaku belok kendaraan
2. Bagaimana kendaraan ini memiliki kecenderungan untuk mengalami kondisi *understeer* dan *oversteer* ditinjau dari nilai *understeer index* (K_{us})
3. Bagaimana kendaraan ini memiliki ketahanan terhadap skid dan guling (*rollover*)

1.3 Batasan Masalah

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

1. Kendaraan yang dirancang adalah mobil HyVI (Sapujagad 2) dengan 2 penumpang masing-masing 100 kg

2. Spesifikasi dimensi kendaraan antara lain sebagai berikut:
 - a. Wheelbase : 2200 mm
 - b. Track width : 1500 mm
 - c. Panjang kendaraan : 3300 mm
 - d. Lebar kendaraan : 1700 mm
 - e. Tinggi kendaraan : 1200 mm
 - f. Berat kosong : 280 kg
 - g. Diameter roda : 560 mm
 - h. Kapasitas penumpang : 2 orang
 - i. Kapasitas muat maks : 200 kg
3. Kendaraan berpengerak belakang.
4. Titik berat kendaraan didapatkan dari simulasi menggunakan *software*
5. Analisis dilakukan dengan kecepatan 20km/jam, 30km/jam, 40km/jam, 50km/jam, dan 60km/jam
6. Pengaruh gaya samping dan gaya angkat akibat angin diabaikan
7. Gaya angin bekerja pada *center of gravity* kendaraan
8. Kendaraan berjalan di jalan aspal, jalan yang dilalui datar (tidak ada kemiringan) dan tidak bergelombang (halus/rata)
9. Tidak terjadi defleksi pada ban
10. Rangka kendaraan dianggap *rigid body*.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari tugas akhir ini adalah:

1. Menentukan layout kendaraan untuk mendapatkan posisi *center of gravity* yang tepat
2. Mengetahui sifat belok kendaraan berdasarkan besarnya *understeer index* (K_{us})
3. Mengetahui tingkat kestabilan kendaraan ditinjau dari ketahanan kendaraan terhadap skid dan guling (*rollover*)

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Menawarkan sebuah konsep baru alat transportasi yang memadukan kelebihan-kelebihan dari kendaraan roda dua dan roda empat yang telah ada saat ini untuk nantinya dapat 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

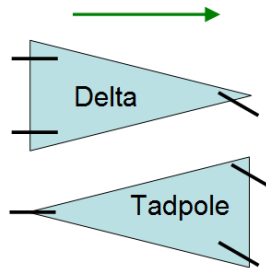
BAB II

STUDI LITERATUR DAN DASAR TEORI

2.1 Studi Literatur

2.1.1 Perkembangan Kendaraan Roda Tiga

Di beberapa negara di benua Amerika dan Eropa telah dikembangkan kendaraan beroda tiga yang dianggap memiliki keunggulan yang merupakan kombinasi antara kendaraan roda dua dan roda empat. Konfigurasi kendaraan roda tiga sendiri ada dua macam, yaitu konfigurasi *Delta* (1 roda di depan dan 2 roda di belakang), dan konfigurasi *Tadpole / Reverse-trike* (2 roda di depan dan 1 roda di belakang)^[3].



Gambar 2.1 Konfigurasi kendaraan roda tiga
(<http://en.wikipedia.org/wiki/Three-wheeler>)

Kelebihan kendaraan roda tiga dengan konfigurasi *reverse-trike* antara lain^{[3][4]}:

- a. Konfigurasi *reverse-trike* memungkinkan desain bodi yang menyerupai tetesan air, sehingga dapat mengurangi gaya hambat angin (*aerodynamic drag*)
- b. Tidak adanya komponen diferensial, *side shafts*, dan *drive shaft* membuat bobot mobil menjadi lebih ringan dan dapat membuat efisiensi transmisi menjadi lebih besar
- c. Struktur *chassis* dengan 3 *standing points* dapat meminimalkan beban puntir serta membuat struktur menjadi lebih ringan dan kuat

- d. *Chassis* yang lebih sederhana membuat biaya pembuatan menjadi lebih murah
- e. Bobot yang ringan membuat konsumsi bahan bakar menjadi lebih efisien
- f. Tingkat keamanan lebih besar dibandingkan kendaraan roda dua

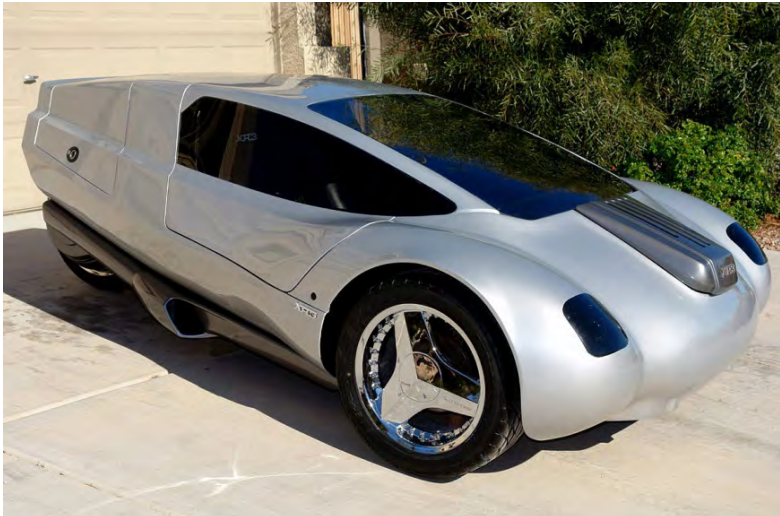
Pada Februari 2012, perusahaan pembuat mobil listrik dari Portugal, *VE - Fabricação de Veículos de Tracção Eléctrica, Lda* meluncurkan mobil listrik dengan konfigurasi reverse-trike berkapasitas dua orang. Mobil tersebut diberi nama *Veeco RT*. Dengan mengusung motor listrik yang memiliki daya sebesar 30kW (nominal) dan 80 kW (maximum), mobil ini memiliki kecepatan maksimum 100 mph (160 km/jam) serta didukung dengan baterai LiFePO4 48kWh sehingga mampu menempuh jarak maksimum sejauh 250 mil (400 km) sekali pengisian^[4].



Gambar 2.2 Gambar mobil roda tiga buatan Portugal dengan nama *Veeco RT*
(<http://veeco.pt>)

Robert Q. Riley seorang industrial designer dan mechanical engineer berkebangsaan Amerika Serikat juga telah meluncurkan transportasi personal beroda tiga dengan kapasitas penumpang dua orang pada tahun 2008. Kendaraan tersebut diberi nama XR3

Hybrid. Dengan menggabungkan Kubota D-209 Tractor Diesel Engine dan Advanced 8-inch DC motor mampu menempuh jarak 200mpg (85km/l). XR3 Hybrid didesain beroda tiga dengan tujuan mengurangi kompleksitas rangka kendaraan, massa, dan tahanan putar (*rolling resistance*). Dengan mereduksi massa, maka kebutuhan daya-pun akan turun sehingga dapat meningkatkan efisiensi dari kendaraan. Dalam artikelnya yang berjudul “*THREE WHEEL CARS Primary Factors that Determine Handling & Rollover Characteristics*”, Robert Q. Riley menyatakan bahwa kendaraan beroda tiga memiliki *steering response* yang lebih cepat dibandingkan dengan kendaraan roda empat. Hal tersebut bukan disebabkan oleh jumlah roda, namun dikarenakan oleh reduksi massa dan kutub momen inersia yang rendah. Ciri khas kendaraan roda tiga adalah lebih ringan dan memiliki kutub momen 30% lebih rendah dibandingkan dengan desain kendaraan roda empat.



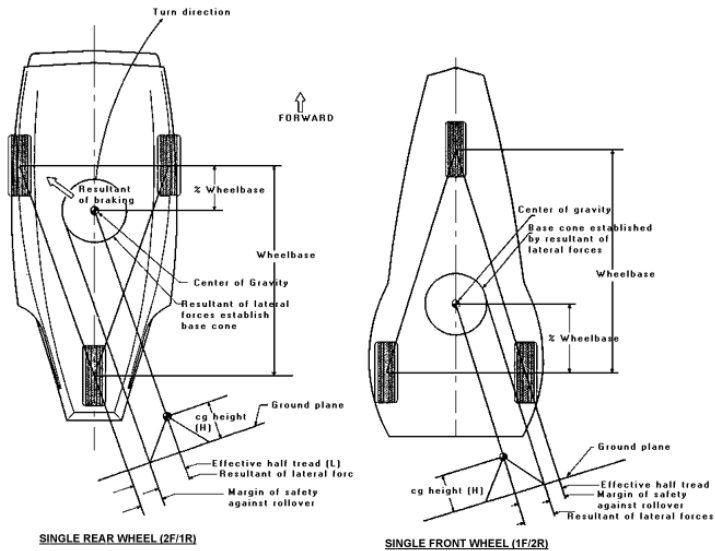
Gambar 2.3 Gambar mobil roda tiga buatan Amerika dengan nama *XR3 Hybrid*
(<http://www.rqriley.com/xr3.htm>)

2.1.2 Ketahanan Guling Kendaraan Roda Tiga

Ketahanan guling kendaraan roda tiga dapat sebanding dengan kendaraan roda empat. Hal tersebut dapat dilihat melalui posisi *center of gravity* yang rendah dan dekat dengan kedua roda kanan dan kiri. Batas aman kendaraan roda tiga terhadap guling ditentukan oleh rasio L/H , setengah lebar *track* (L) terhadap tinggi pusat massa (H). Tidak seperti pada kendaraan roda empat, setengah tapak dari kendaraan roda tiga ditentukan oleh hubungan antara tapak aktual (jarak antara roda kanan kiri) dan lokasi pusat massa secara membujur, yang diartikan sebagai setengah tapak efektif. Setengah tapak efektif dapat ditingkatkan dengan memperlebar jarak roda kanan dan kiri, menempatkan pusat massa dekat dengan roda kanan kiri, dan dengan memperpanjang *wheelbase*. Ketahanan guling meningkat saat setengah tapak efektif meningkat dan saat pusat massa lebih rendah, keduanya akan meningkatkan rasio L/H .

Cara yang sederhana untuk memodelkan batas aman terhadap guling dari kendaraan roda tiga adalah dengan membuat sebuah kerucut dasar dengan tinggi pusat massa sebagai tingginya. Jari-jari alas kerucut ditentukan dari proyeksi percepatan sentrifugal yang dialami, sebagai contoh untuk percepatan sentrifugal sebesar 1G maka akan menghasilkan proyeksi sebesar 45° terhadap permukaan tanah (jari-jari kerucut akan sama dengan tinggi kerucut). Jika lingkaran berada di dalam daerah setengah tapak efektif maka kendaraan akan mengalami skid terlebih dahulu sebelum terguling (aman). Sebaliknya, jika lingkaran berada di luar daerah setengah tapak efektif, maka kendaraan akan terguling terlebih dahulu sebelum mengalami skid (berbahaya). Berikut merupakan ilustrasi dari kerucut dasar serta layout rasio L/H dari kendaraan roda tiga^[2].

COMPARISON OF 2F/1R AND 1F/2R LAYOUTS



Gambar 2.4 Layout rasio L/H dari kendaraan roda tiga
(<http://www.rqriley.com/3-wheel.htm>)

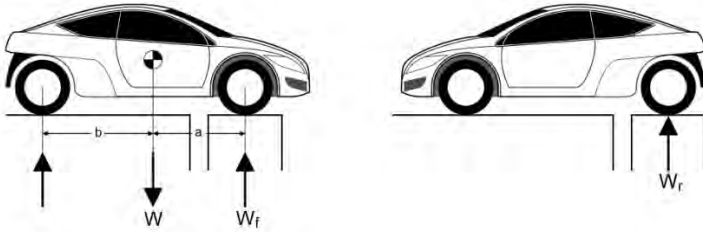
2.2 Dasar Teori Analisis Stabilitas

2.2.1 Penentuan Titik Berat Kendaraan (Center of Gravity)

2.2.1.1 Posisi Longitudinal

Posisi longitudinal titik berat (CG) dari sebuah kendaraan dapat diketahui dengan cara melakukan penimbangan roda depan atau roda belakang. Penimbangan dilakukan pada kondisi kendaraan benar-benar dalam posisi datar / horizontal. Dengan menjumlahkan gaya reaksi pada roda depan (W_f) dan gaya reaksi pada roda belakang (W_r) akan didapatkan berat total (W) dari kendaraan, atau dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$W = W_f + W_r \quad (2.1)$$



Gambar 2.5 Penimbangan kendaraan untuk menentukan lokasi titik berat (CG)

Untuk mencari jarak horizontal sumbu roda depan dengan CG (a), dapat dicari dengan menggunakan prinsip mekanika teknik. Dengan mengambil sumbu roda depan sebagai pusat momen, maka akan didapat persamaan sebagai berikut:

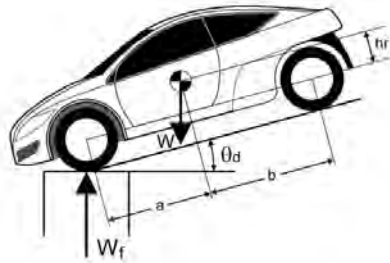
$$\begin{aligned}
 W \cdot a &= (a + b)W_r \\
 a &= \frac{(a+b)W_r}{W} \\
 a &= \frac{(a+b)W_r}{W_f + W_r} \quad (2.2)
 \end{aligned}$$

Untuk mencari jarak antara sumbu roda belakang dengan CG (b), dapat dicari dengan mengambil sumbu roda depan sebagai pusat momen sehingga akan didapat persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 W \cdot b &= (a + b)W_f \\
 b &= \frac{(a+b)W_f}{W} \\
 b &= \frac{(a+b)W_f}{W_f + W_r} \quad (2.3)
 \end{aligned}$$

2.2.1.2 Posisi Tinggi

Setelah posisi longitudinal didapatkan, maka selanjutnya dapat dicari tinggi CG kendaraan. Untuk mencari jarak vertikal antara sumbu roda dengan CG kendaraan, pada roda depan atau roda belakang dapat ditopang dengan timbangan dan roda yang lain didongkrak hingga ketinggian tertentu sehingga membentuk sudut (θ_d) seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.6 Penimbangan kendaraan untuk mencari posisi tinggi titik berat kendaraan

Dengan mengacu pada gambar di atas dan dengan mengambil momen di titik B, maka didapatkan persamaan:

$$hr = \frac{W'_f(a+b) - W \cdot b}{W \cdot \tan \theta_d} \quad (2.4)$$

dimana:

hr = tinggi CG dari sumbu roda

W'_f = gaya reaksi roda depan saat pengangkatan

θ_d = sudut pengangkatan

Tinggi titik berat kendaraan kemudian dapat dirumuskan dengan persamaan:

$$h = r + hr \quad (2.5)$$

dimana:

h = tinggi CG dari permukaan tanah

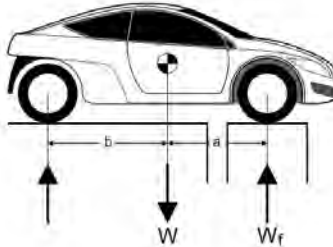
r = jari-jari roda

2.2.1.3 Pengaruh Penambahan Penumpang

Titik berat (CG) suatu kendaraan sudah ditentukan pada saat awal mendesain kendaraan tersebut. Apabila penumpang dengan berat W_p menaiki kendaraan, maka berat total kendaraan akan menjadi:

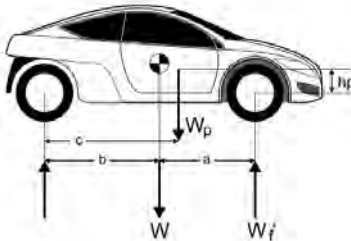
$$W_t = W + W_p \quad (2.6)$$

Akibat dari berat total kendaraan yang bertambah ini maka CG kendaraan akan bergeser. Seberapa jauh pergeserannya dapat ditentukan dengan menggunakan prinsip mekanika teknik.



Gambar 2.7 Kondisi kendaraan tanpa penumpang

Gambar di atas merupakan gambar kendaraan dalam kondisi tanpa penumpang. Letak CG tetap seperti desain awal. Gambar di bawah menunjukkan kondisi kendaraan dengan penambahan penumpang. Letak CG kendaraan akan bergeser tergantung pada berat dan lokasi penumpang.



Gambar 2.8 Kondisi kendaraan dengan penambahan 2 penumpang

Untuk mencari letak CG pada kendaraan berpenumpang, perlu diketahui gaya reaksi pada salah satu roda. Dengan mengambil sumbu roda belakang sebagai pusat momen, maka didapatkan gaya reaksi tumpuan pada roda depan.

$$W_f'(a + b) = W \cdot b + W \cdot c$$

$$W_f' = \frac{W \cdot b + W_p \cdot c}{(a + b)} \quad (2.7)$$

Dengan mengambil sumbu roda depan sebagai pusat momen, maka akan didapat persamaan:

$$W_f'(a + b) = W_t \cdot b'$$

$$b' = \frac{W_f'(a + b)}{W_t} \quad (2.8)$$

Dengan nilai dari $a' = L - b'$ dimana:

a' = jarak horizontal sumbu roda depan dengan CG kondisi 2 penumpang

b' = jarak horizontal sumbu roda belakang dengan CG kondisi 2 penumpang

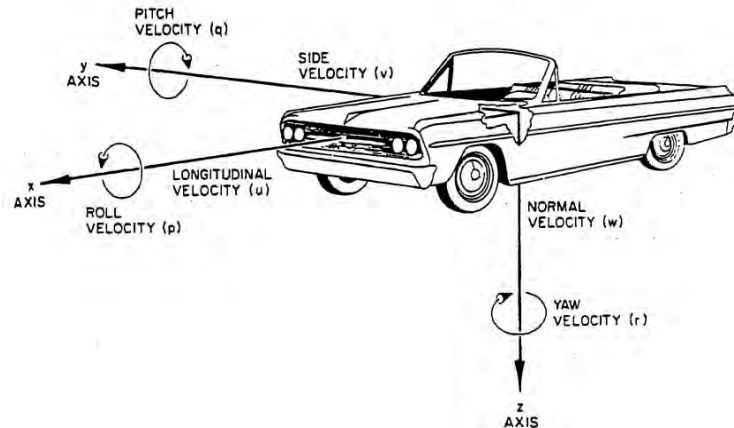
Sedangkan untuk mencari posisitinggi CG pada kendaraan berpenumpang digunakan persamaan sebagai berikut:

$$hr' = \frac{W \cdot hr + W_p \cdot h_p}{W + W_p} \quad (2.9)$$

Karena dalam perhitungan ini sudah diasumsikan berat awal mobil adalah termasuk dengan 2 penumpang, maka hasil dari perhitungan a' , b' , dan hr' nantinya merupakan a , b dan hr yang dipakai untuk perhitungan stabilitas.

2.2.2 Model Kendaraan

Pada tugas akhir kali ini akan dipaparkan model kendaraan beroda tiga. Kendaraan dimodelkan dengan sistem model satu massa. Sistem koordinat kendaraan menurut standar dari *Society of Automotive Engineer* (SAE) ditunjukkan pada gambar dibawah ini:

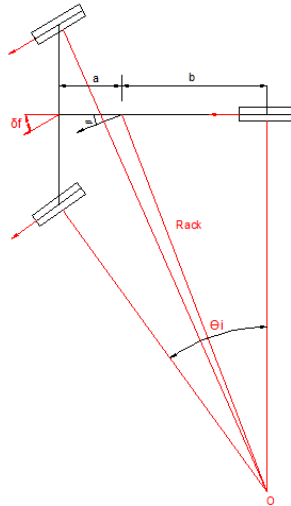


Gambar 2.9 Model kendaraan menurut standar SAE J760-2008: *Vehicle Dynamics Terminology* (Society of Automotive Engineer, 2008, “SAE J670-2008 Vehicle Dynamics Terminology”)

2.2.3 Perilaku Belok Kendaraan

2.2.3.1 Perilaku Belok Kendaraan Kondisi Ideal/*Ackermann*

Stabilitas kendaraan dapat dinilai ketika kendaraan tersebut mengalami gerakan belok. Kondisi ideal kendaraan saat melakukan gerakan belok dikenal dengan nama kondisi *Ackermann*. Kondisi *Ackermann* adalah kondisi dimana tidak terjadi sudut slip pada saat berbelok untuk semua roda (ban) sehingga arah gerak roda sama dengan arah bidang putar dari roda. Secara sederhana, gerakan kendaraan saat berbelok tampak seperti gambar di bawah ini:



Gambar 2.10 Kinematika kendaraan belok tanpa sudut slip

Keterangan:

O = pusat sumbu putar sesaat

R_{ack} = radius belok *ackermann* (ideal)

θ_i = sudut belok ideal

β = sudut slide slip kendaraan

δ_f = sudut steer rata-rata roda depan

Besarnya radius belok ideal (*ackermann*) secara sederhana dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$R_{ack} = \frac{a+b}{\delta_f} 57,29 \quad (2.10)$$

dimana:

R_{ack} : dalam satuan derajat

a,b : dalam satuan meter

δ_f : dalam satuan derajat

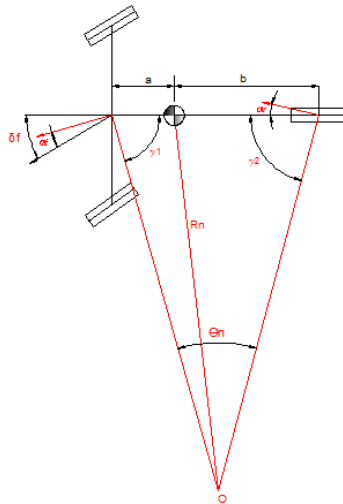
Sudut *side slip* (β) dapat dihitung secara sederhana dengan menggunakan persamaan trigonometri.

$$\sin \beta = \frac{b}{R_{ack}}$$

$$\beta = \arcsin \left(\frac{b}{R_{ack}} \right) \quad (2.11)$$

2.2.3.2 Perilaku Belok Kendaraan 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 yang rendah (gaya sentrifugal rendah). Gerakan kendaraan saat berbelok secara sederhana dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.11 Kinematika kendaraan berbelok dengan sudut slip

keterangan:

- θ_n = sudut belok nyata
- R_n = radius belok nyata
- α_f = sudut slip rata-rata roda depan
- α_r = sudut slip roda belakang
- O = pusat belok nyata

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. Dari persamaan 2.12 dapat diketahui besarnya radius belok nyata kendaraan dengan perumusan sebagai berikut:

$$R_n = \frac{a+b}{\theta_n} 57,29$$

$$R_n = \frac{a+b}{\delta_f + \alpha_r - \alpha_f} 57,29 \quad (2.12)$$

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 (α_r) lebih besar dibandingkan dengan sudut slip rata-rata roda depan (α_f).

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



Gambar 2.12 Kendaraan mengalami *oversteer*
(http://en.wikipedia.org/wiki/Understeer_and_oversteer)

b. Perilaku *Underster*

Kendaraan yang mengalami *understeer* merupakan kendaraan dengan kondisi sudut slip rata-rata roda depan (α_f) lebih besar dari pada sudut slip rata-rata roda belakang (α_r). Kendaraan yang mengalami *understeer* akan mengalami kesulitan saat berbelok, sehingga akan membutuhkan sudut

belok (δ_f) lebih besar dibandingkan dengan kondisi *ackermann*.

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

dengan $\alpha_f > \alpha_r$



Gambar 2.13 Kendaraan mengalami understeer
(http://en.wikipedia.org/wiki/Understeer_and_oversteer)

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^[1].

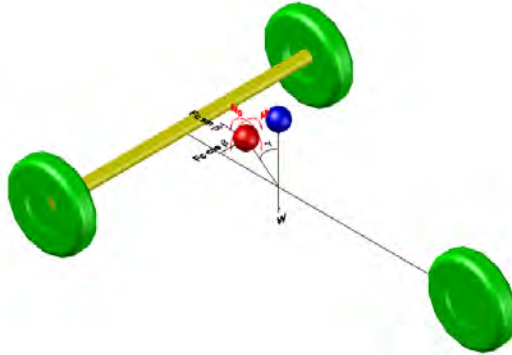
$$R_n = \frac{a+b}{\delta_f + \alpha_r - \alpha_f} 57,29$$

dengan $\alpha_f = \alpha_r$

2.2.4 Perumusan Gaya-Gaya dari Kendaraan Belok

Pada saat melakukan gerakan belok, kendaraan akan mengalami gaya sentrifugal. Untuk menambah kenyamanan penumpang, pada kendaraan dilengkapi dengan suspensi. Akibat penambahan suspensi ini, pegas pada suspensi akan saling menekan dan menarik bodi kendaraan sehingga apabila dilihat dari sisi frontal (depan) akan terlihat sedikit miring. Akibat kemiringan bodi ini, pada roda akan terjadi *transfer load* / perpindahan beban.

Gaya-gaya yang bekerja pada kendaraan saat berbelok secara umum dapat dilihat pada gambar CAD di bawah ini.



Gambar 2.14 Gaya-gaya dan momen pada kendaraan

Gaya sentrifugal yang terjadi pada kendaraan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$F_c = m \frac{V^2}{R_{ack}} \quad (2.13)$$

dimana:

- F_c = gaya setrifugal
- m = massa total kendaraan
- V = kecepatan kendaraan
- R_{ack} = radius belok *ackermann*

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}) adalah sebagai berikut:

$$F_{cf} = \frac{b}{a+b} F_c \text{ dan } F_{cr} = \frac{a}{a+b} F_c \quad (2.14)$$

Akibat dari gaya sentrifugal ini pula muncul momen guling / *rolling* (M_r) dan momen angguk / *pitching* (M_p).

$$\begin{aligned} \text{➤ } M_r &= F_c \cos \beta \cdot r_c \cos \gamma + W \cdot r_c \sin \gamma ; & (\gamma \ll) \\ M_r &= F_c \cos \beta \cdot r_c + W \cdot r_c \cdot \gamma \end{aligned} \quad (2.15)$$

$$\begin{aligned} \text{➤ } M_p &= (F_c \sin \beta - F_d) r_c \cos \psi + W \cdot r_c \cdot \sin \psi ; & (\psi \ll) \\ M_p &= (F_c \sin \beta - F_d) r_c + W \cdot r_c \cdot \psi \end{aligned} \quad (2.16)$$

dimana:

- r_c = jarak CG ke pusat guling (*roll center*)
- γ = sudut guling (*rolling angle*)

ψ = sudut angguk (*pitching angle*)

Selain gaya sentrifugal, kendaraan juga mengalami gaya hambat angin yang dipengaruhi oleh aerodinamika kendaraan. Besarnya gaya hambat angin / *drag force* (F_d) ditentukan dengan persamaan berikut:

$$F_d = \frac{1}{2} C_d \cdot \rho \cdot V_a^2 \cdot A_f \quad (2.17)$$

dimana:

F_d = gaya hambat angin (N)

C_d = koefisien gaya hambat angin

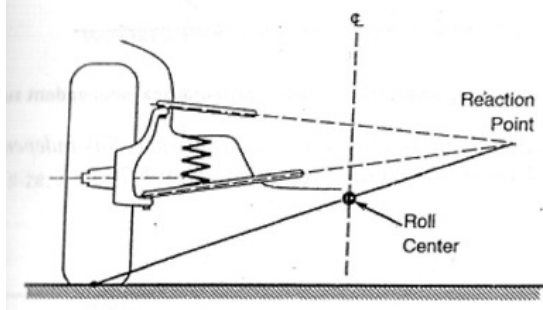
ρ = density udara (kg/m^3)

V_a = kecepatan relatif angin terhadap kendaraan (m/s)

A_f = luas frontal kendaraan (m^2)

- **Menentukan posisi pusat rolling (*roll center*)**

Pusat guling merupakan titik dimana jika gaya lateral diberikan pada titik itu maka sprung mass tidak berputar (*rolling*). Letak pusat guling tergantung pada sistem suspensi, oleh karena itu pusat guling sprung mass dapat juga ditentukan berdasarkan pusat putar dari masing-masing suspensi. Untuk kendaraan dengan sistem suspensi independen dengan *positive swing arm* (*double wishbone*), maka pusat guling dapat ditentukan secara grafis seperti pada gambar berikut



Gambar 2.15 Posisi pusat guling untuk “*positive swing arm independent suspension (double wishbone)*”

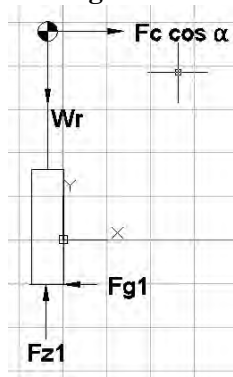
(Sutantra, N. & Sampurno, B., “*Teknologi Otomotif Edisi kedua*”, Guna Widya, Surabaya, 2010.)

2.2.4.1 Gaya-Gaya Arah Vertikal (sumbu z)

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 β 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



Gambar 2.16 Pengaruh gaya sentrifugal terhadap roda belakang

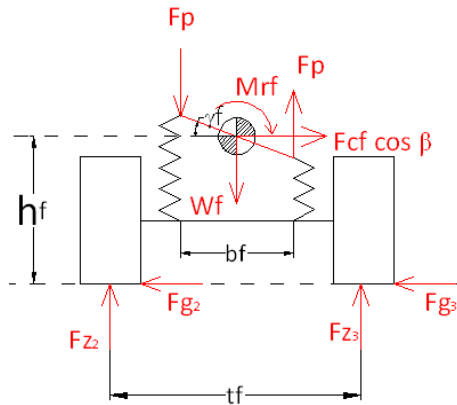
Karena roda belakang hanya berjumlah satu buah, maka tidak ada *transfer load* yang terjadi, sehingga gaya normal yang bekerja pada ban belakang hanya dipengaruhi oleh gaya berat saja. Sementara gaya sentrifugal dan momen *rolling* tidak berpengaruh pada gaya normal karena keduanya hanya memberikan gaya ke arah horizontal terhadap roda belakang.

$$F_{z1} = W_r \quad (2.18)$$

dimana:

F_{z1} = gaya normal pada roda belakang

- Analisis pada Roda Depan



Gambar 2.17 Pengaruh gaya sentrifugal pada momen *rolling* terhadap roda depan

Gaya normal yang bekerja pada kedua roda depan dipengaruhi oleh tiga gaya, yaitu gaya berat, gaya sentrifugal, momen *rolling*. Besarnya nilai dari gaya normal ban depan (F_{z2} dan F_{z3}) adalah:

- $$F_{z2} = \frac{W_f}{2} - \frac{F_{cf} \cdot \cos \beta \cdot h_f}{t_f} - \frac{M_{rf}}{t_f}$$

$$F_{z2} = \frac{W_f}{2} - \frac{\frac{b}{a+b} F_c \cdot \cos \beta \cdot h_f}{t_f} - \frac{\frac{b}{a+b} (F_c \cos \beta \cdot r_c + W \cdot r_c \cdot \gamma)}{t_f} \quad (2.19)$$

- $$F_{z3} = \frac{W_f}{2} + \frac{F_{cf} \cdot \cos \beta \cdot h_f}{t_f} + \frac{M_{rf}}{t_f}$$

$$F_{z3} = \frac{W_f}{2} + \frac{\frac{b}{a+b} F_c \cdot \cos \beta \cdot h_f}{t_f} + \frac{\frac{b}{a+b} (F_c \cos \beta \cdot r_c + W \cdot r_c \cdot \gamma)}{t_f} \quad (2.20)$$

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

$$M_{rf} = M_{sf}$$

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

$$\gamma = \frac{\frac{b}{a+b} F_c \cdot \cos \beta \cdot r_c}{k_{sf} \cdot \frac{b_f^2}{2} - W \cdot r_c} \quad (2.21)$$

b. Longitudinal Transfer Load

Perpindahan beban akibat beban longitudinal merupakan perpindahan yang terjadi karena gerkan *pitching*/angguk dari kendaraan saat kendaraan direm, dipercepat, atau sedang mengalami gerakan belok. Pada saat berbelok, akan timbul gaya sentrifugal searah dengan arah jari-jari nyata dari kendaraan. Gaya longitudinal ini dapat mempengaruhi defleksi pada ban sehingga *pneumatic trail* dari ban juga akan terpengaruh. Adanya pengaruh pada *pneumatic trail* secara umum mempengaruhi besarnya hambatan *rolling* dari ban. Secara umum harga rata-rata dari koefisien hambatan *rolling* untuk berbagai jenis ban telah dilakukan penelitian oleh J.J. Taborek. Tabel di bawah ini menunjukkan harga rata-rata dari koefisien hambatan *rolling* untuk berbagai jenis ban dan kondisi jalan.

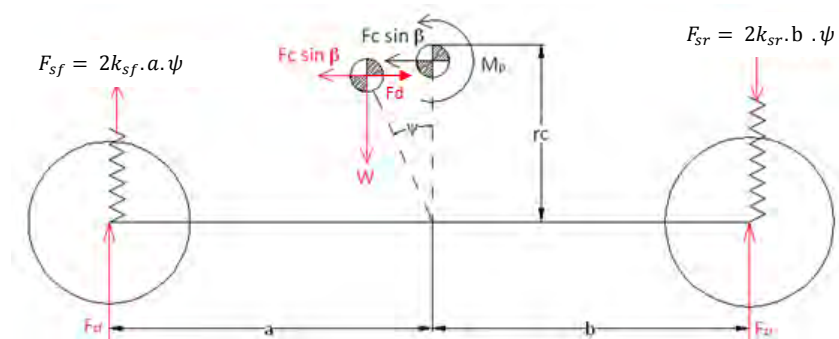
Tabel 2.1 Harga Rata-Rata Hambatan Rolling untuk Beberapa Jenis Ban dan Kondisi Jalan
(*Sutantra, N. & Sampurno, B., "Teknologi Otomotif Edisi kedua", Guna Widya, Surabaya, 2010.*)

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

Arah dari gaya sentrifugal ini membentuk sudut sebesar ψ terhadap sumbu y (sudut *pitching*). Apabila diuraikan terhadap sumbu- x , maka akan terjadi momen *pitching*. Momen *pitching* inilah yang menyebabkan terjadinya perpindahan beban terhadap gaya normal pada ban. Besarnya gaya yang diakibatkan oleh suspensi adalah sebesar:

$$F_{sf} = k_{sf} \cdot a \cdot \sin \psi$$

$$F_{sf} = k_{sf} \cdot a \cdot \psi$$



Gambar 2.18 Pengaruh gaya sentrifugal pada gerakan *pitching*

- **Analisis Roda Depan**

$$\begin{aligned}
 F_{zf} &= F_{zf} + F_{zf} \\
 &= \frac{(F_c \sin \beta - F_d)h}{a+b} + \frac{M_p}{a+b} \\
 F_{zf} &= \frac{(F_c \sin \beta - F_d)h}{a+b} + \frac{(F_c \sin \beta - F_d)r_c + W.r_c \cdot \psi}{a+b} \\
 F_{Z_2} = F_{Z_3} &= \frac{1}{2} F_{Z_f} = \frac{1}{2} \left(\frac{(F_c \sin \beta - F_d)h}{a+b} + \frac{(F_c \sin \beta - F_d)r_c + W.r_c \cdot \psi}{a+b} \right)
 \end{aligned} \tag{2.22}$$

- **Analisis Roda Belakang**

$$F_{Zr} = - \left(\frac{(F_c \sin \beta - F_d)h}{a+b} + \frac{(F_c \sin \beta - F_d)r_c + W.r_c \cdot \psi}{a+b} \right) \tag{2.23}$$

Terdapat nilai ψ yang belum diketahui. Untuk mencari besarnya ψ , dapat dicari dengan persamaan di bawah ini:

$M_{pitching}$ akibat gaya sentrifugal = $M_{pitching}$ diterima pegas suspensi

$$M_p = 2k_{sr}b^2 \cdot \psi + 2k_{sf} \cdot a^2 \cdot \psi$$

$$(F_c \sin \beta - F_d) r_c + W \cdot r_c \cdot \psi = (2k_{sr}b^2 + 2k_{sf} \cdot a^2) \psi$$

$$\psi = \frac{(F_c \sin \beta - F_d) r_c}{(2k_{sr}b^2 + 2k_{sf} \cdot a^2 - W \cdot r_c)} \tag{2.24}$$

2.2.4.2 Gaya Total Arah Vertikal Pada Roda

Setelah mengetahui pengaruh perpindahan beban terhadap gaya yang dialami roda, maka untuk mengetahui gaya total ke arah vertikal yang dialami oleh masing-masing roda dapat

dilakukan dengan menjumlahkan F_z akibat *lateral transfer load* dengan F_z akibat *longitudinal transfer load*.

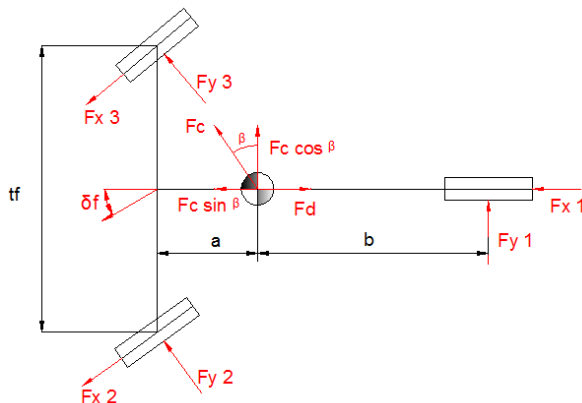
$$F_{z1} = W_r - \left(\frac{(F_c \sin \beta - F_d)h}{a+b} + \frac{(F_c \sin \beta - F_d) r_c + W.r_c.\psi}{a+b} \right) \quad (2.25)$$

$$F_{z2} = \frac{W_f}{2} - \frac{\frac{b}{a+b} F_c \cos \beta \cdot h_f}{t_f} - \frac{\frac{b}{a+b} (F_c \cos \beta \cdot r_c + W.r_c.\psi)}{t_f} + \frac{1}{2} \left(\frac{(F_c \sin \beta - F_d)h}{a+b} + \frac{(F_c \sin \beta - F_d) r_c + W.r_c.\psi}{a+b} \right) \quad (2.26)$$

$$F_{z3} = \frac{W_f}{2} + \frac{\frac{b}{a+b} F_c \cos \beta \cdot h_f}{t_f} + \frac{\frac{b}{a+b} (F_c \cos \beta \cdot r_c + W.r_c.\psi)}{t_f} + \frac{1}{2} \left(\frac{(F_c \sin \beta - F_d)h}{a+b} + \frac{(F_c \sin \beta - F_d) r_c + W.r_c.\psi}{a+b} \right) \quad (2.27)$$

2.2.4.3 Gaya-Gaya Arah Horizontal (sumbu x dan y)

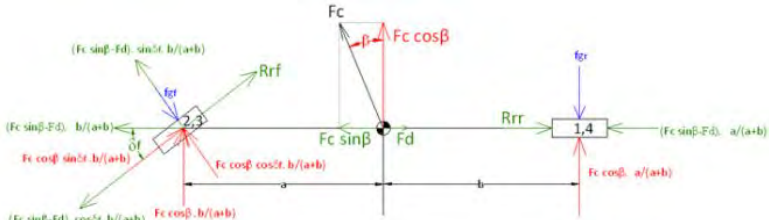
Selain gaya arah sumbu-z, pada saat berbelok kendaraan juga mengalami gaya arah sumbu-x dan sumbu-y. Pada gambar di bawah, diperlihatkan gambar FBD suatu kendaraan saat berbelok tampak dari atas.



Gambar 2.19 Gaya pada arah-x dan arah-y

Untuk lebih memudahkan dalam menganalisis, gambar di atas disederhanakan menjadi model sepeda (model dengan 2 roda). Gambar di bawah merupakan penyederhanaan dari model

mobil (4 roda) ke model sepeda (2 roda). Arah dari gaya sentrifugal adalah searah dengan jari-jari nyata dari kendaraan. Pada saat berbelok, roda depan akan mengalami perubahan posisi dari posisi awalnya (posisi lurus). roda depan akan bergeser sebesar δ_f terhadap sumbu-x awal. Oleh karena itu untuk menentukan besarnya gaya-gaya yang bekerja pada sumbu x dan sumbu y (F_x dan F_y), gaya sentrifugal yang bekerja pada titik pusat berat perlu diuraikan kepada roda belakang dan roda depan. Untuk roda depan, gaya sentrifugal yang sudah diuraikan sebelumnya perlu diuraikan lagi menurut arah dari roda kendaraan.



Gambar 2.20 Gaya pada arah-x dan arah-y dengan model sepeda

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:

$$\bullet \quad Fx_1 = \frac{a}{2(a+b)} (F_c \cdot \sin \beta - F_d) - R_r \quad (2.28)$$

$$\bullet \quad Fx_2 = Fx_3 = \frac{b}{2(a+b)} (F_c \sin \beta - F_d) \cos \delta_f - \frac{b}{2(a+b)} F_c \cos \beta \sin \delta_f - R_r \quad (2.29)$$

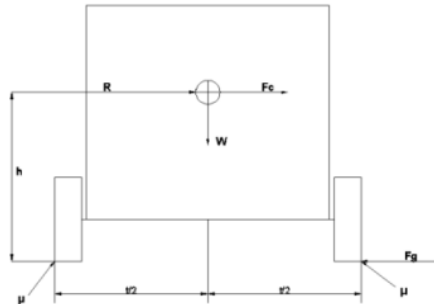
$$\bullet \quad Fy_1 = \frac{a}{2(a+b)} F_c \cdot \cos \beta \quad (2.30)$$

$$\bullet \quad Fy_2 = \frac{b}{2(a+b)} F_c \cos \beta \cos \delta_f + \frac{b}{2(a+b)} (F_c \sin \beta - F_d) \sin \delta_f \quad (2.31)$$

$$\bullet \quad Fy_3 = \frac{b}{2(a+b)} F_c \cos \beta \cos \delta_f + \frac{b}{2(a+b)} (F_c \sin \beta - F_d) \sin \delta_f \quad (2.32)$$

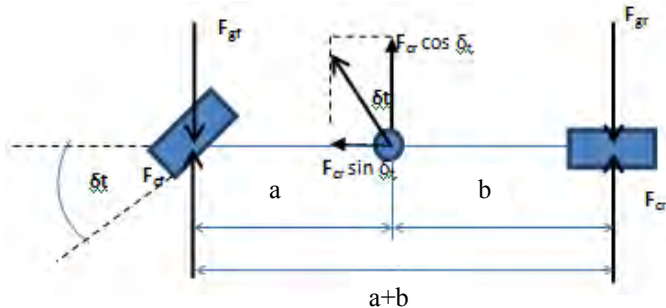
2.2.5 Dinamika Belok Model Kendaraan Sederhana

Kendaraan belok dengan model kendaraan sederhana dimaksudkan bahwa kendaraan dianggap rigid bodi sederhana dengan roda depan menjadi satu seperti pada gambar 2.21.



Gambar 2.21 Kendaraan model sederhana dengan belok datar

2.2.5.1 Analisis Skid



Gambar 2.22. Analisa skid dengan menggunakan model sepeda

Berdasarkan pemodelan di atas, didapatkan persamaan untuk menentukan gaya sentrifugal (F_c) sebagai berikut:

$$F_{cf} = \frac{b}{a+b} F_c \cos \delta_t \quad (2.33)$$

$$F_{cr} = \frac{a}{a+b} F_c \cos \delta_t \quad (2.34)$$

- **Analisis Roda Depan Skid**

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

$$F_{gf} = \frac{\mu}{a+b} (b \cdot W + F_c h \sin \delta_t - F_d \cdot h) \quad (2.35)$$

Di mana :

F_d = Gaya hambat angin (gaya drag)

h = tinggi CG dari tanah

Roda depan mengalami kondisi kritis jika $F_{c_f} = F_{g_f}$ dan akan mengalami skid jika $F_{c_f} > F_{g_f}$

- **Analisis Roda Belakang Skid**

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

$$F_{gr} = \frac{\mu}{a+b} (a \cdot W - F_c h \sin \delta_t + F_d \cdot h) \quad (2.36)$$

Roda belakang mengalami kondisi kritis jika $F_{c_r} = F_{g_r}$ dan akan mengalami skid jika $F_{c_r} > F_{g_r}$

- **Analisis guling**

Kondisi guling akan bisa terjadi kalau roda terluar kendaraan mulai terangkat atau gaya normal pada roda terluar adalah 0. Dengan demikian kondisi guling akan terjadi jika :

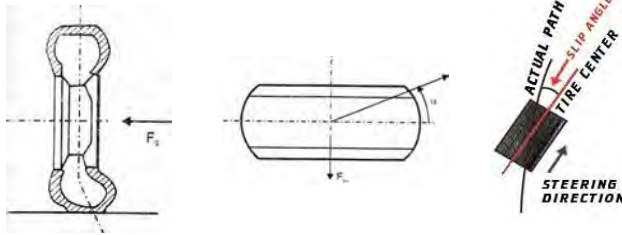
$$F_{z2} < 0$$

Sedangkan kondisi kritis jika :

$$F_{z2} = 0$$

2.2.6 Perumusan 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 α terhadap lintasan yang seharusnya. Sudut α inilah yang dinamakan sudut slip.



Gambar 2.23 Sudut slip akibat deformasi pada ban

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)

Mobil yang diteliti pada Tugas akhir ini menggunakan ban jenis radial berpola (*pattern*). Karena itu persamaan yang digunakan untuk menghitung besarnya sudut slip adalah persamaan sudut slip untuk ban radial baru. Untuk kendaraan penumpang, dirumuskan besarnya sudut slip untuk ban radial baru adalah:

$$\alpha_{rb} = \frac{C_{rp}}{C_{rs}} \cdot \frac{C_{rx}}{C_{ro}} [0.087935(F_y \alpha)^{0.79008} - 0.005277(F_z)] \quad (2.37)$$

dimana:

α_{rb} = sudut slip ban radial baru dan gundul ; F_y dan F_z dalam satuan pound

$$C_{rb} = 0.00301003 (F_y \alpha)^{1.207861} \quad ; F_y \text{ dalam satuan pound}$$

$$C_{rg} = 0.0023636 (F_y \alpha)^{1.222203} \quad ; F_y \text{ dalam satuan pound}$$

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

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

P = tekanan ban (psi)

P_s = tekanan ban standar 25 psi

$$C_{rx} = \left[\frac{F_y \alpha + 0.107927 (F_x)}{161.1398} \right]^{\frac{1}{0.474998}} \quad ; F_y \text{ dan } F_x \text{ dalam satuan pound}$$

$$C_{ro} = \left[\frac{F_y \alpha}{161.1398} \right]^{\frac{1}{0.474998}} \quad ; \text{ Fy dan Fx dalam satuan pound}$$

2.2.7 Spesifikasi Ukuran Ban

Ban yang beredar di pasaran diberikan semacam kode untuk mengetahui jenis ban dan beberapa karakteristik dari ban tersebut. Salah satu kode/penandaan pada ban yang biasanya ditulis pada dinding ban ditunjukkan seperti pada gambar berikut.



Gambar 2.24 Salah Satu Contoh Kodifikasi Ban^[6]

Gambar 2.24 di atas menunjukkan penandaan dari salah satu ban. Pada gambar di atas, diberikan contoh penandaan jenis ban dengan kode P 205 / 75 R 15. Penandaan seperti ini mengandung arti sebagai berikut:

- Suku pertama (P) menandakan tipe dari ban, yaitu tipe penumpang/ *passenger*. Selain tipe P, terdapat 2 tipe ban yang lain.
 - P = untuk kendaraan penumpang/*Passenger*.
 - T = untuk pemakaian sementara/*Temporary*.
 - C = untuk kendaraan komersil/*Comercial*.
- Suku kedua (205) menandakan lebar ban dalam satuan mm.
- Suku ketiga (65) menandakan aspek rasio dari ban (persentase dinding ban terhadap lebar ban, artinya tinggi dinding ban adalah sebesar 65% lebar ban dalam mm).
- Suku keempat (R), merupakan tipe konstruksi dari ban.
 - R = Radial.
 - B = Bias dengan sabuk/*Belted*.
 - D = Bias.

- Suku kelima (15) merupakan diameter dari ban dengan satuan inch.
- Suku keenam (89) merupakan indeks beban (89 menunjukkan beban maksimum ban sebesar 580 kg).
- Suku keenam (H) merupakan indeks kecepatan (H menunjukkan kecepatan maksimum pemakaian ban adalah 210 km/h)



Gambar 2.25 Ilustrasi Ukuran Ban

2.2.8 Indeks Understeer (*Understeer Index*) dan Kecepatan Karakteristik

Understeer Index (K_{US}) dapat diartikan sebagai besaran yang dapat mengidentifikasi perilaku arah dari kendaraan yang mengalami gerakan belok. *Understeer index* dapat secara rinci dipakai dalam analisis berikut:

Berdasar pada persamaan 2.12, maka didapatkan persamaan sebagai berikut:

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

$$\delta_f = \frac{a+b}{R_n} \cdot 57,29 + \alpha_f - \alpha_r \quad (2.38)$$

Besarnya sudut slip depan (α_f) dan sudut slip belakang (α_r) tergantung pada besarnya gaya sentrifugal. Hubungan antara sudut slip (α) dengan konstanta kekakuan lateral (K) adalah sebagai berikut.

$$\alpha = K \frac{v^2}{g.R} \quad (2.39)$$

Untuk sudut slip roda depan dan roda belakang adalah sebagai berikut.

$$\text{Roda depan} \quad \alpha_f = K_f \frac{v^2}{g.R} \quad (2.40)$$

$$\text{Roda belakang} \quad \alpha_r = K_r \frac{v^2}{g.R} \quad (2.41)$$

Substitusi persamaan 2.38 dan 2.39 ke persamaan 2.36

$$\begin{aligned} \delta_f &= \frac{a+b}{R_n} \cdot 57,29 + \alpha_f - \alpha_r \\ \delta_f &= \frac{a+b}{R_n} \cdot 57,29 + K_f \frac{v^2}{g.R} - K_r \frac{v^2}{g.R} \\ \delta_f &= \frac{a+b}{R_n} \cdot 57,29 + (K_f - K_r) \frac{v^2}{g.R} \end{aligned} \quad (2.42)$$

Dimana $K_f - K_r = K_{us}$, maka

$$\delta_f = \frac{a+b}{R_n} \cdot 57,29 + K_{us} \frac{v^2}{g.R} \quad (2.43)$$

Sehingga:

$$\begin{aligned} K_{us} \frac{v^2}{g.R} &= \alpha_f - \alpha_r \\ K_{us} &= (\alpha_f - \alpha_r) \frac{g.R}{v^2} \end{aligned} \quad (2.44)$$

Kecepatan karakteristik (V_{cr}) merupakan kecepatan dimana pada kendaraan terjadi gerakan *yaw* yang berkembang dengan sangat cepat sehingga kendaraan sudah sangat sulit untuk dikendalikan dan dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$V_{ch} = \sqrt{\frac{57,29 (a+b) \cdot g}{K_{us}}} \quad (2.45)$$

BAB III METODOLOGI

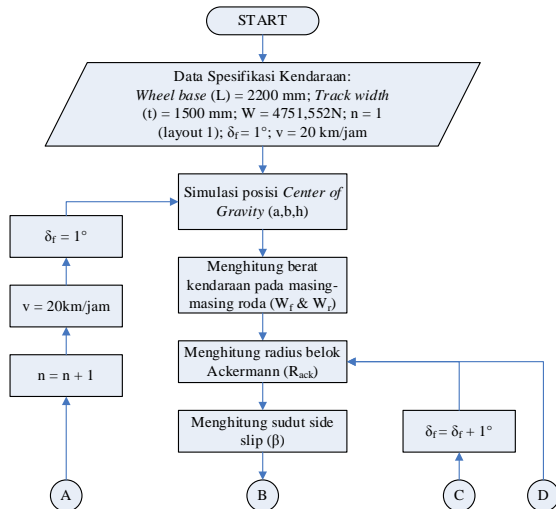
3.1 Prosedur Penelitian

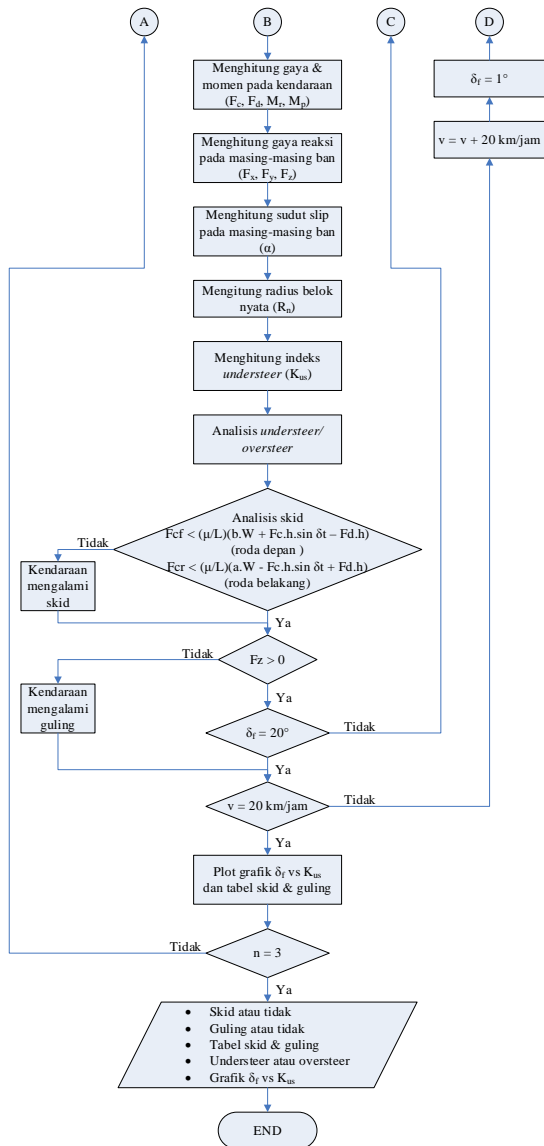
Pada penelitian kali ini, prosedur penelitian dilakukan dengan tiga tahapan yang akan dilakukan sebagai berikut:

- Tahap pertama adalah studi literatur tentang pengembangan berbagai macam mobil roda tiga yang sudah ada dan mencari kelebihan dan kekurangannya
- Tahap kedua adalah menentukan konfigurasi dan spesifikasi awal yang akan digunakan dalam perancangan mobil roda tiga yang akan dibangun
- Tahap ketiga adalah dilakukan analisis terhadap kestabilan pada kendaraan tersebut. Analisis dilakukan dengan metode Kalkulasi Quasi Dinamis. Quasi Dinamis merupakan analisis kendaraan yang sedang bergerak (dinamis), tetapi dianalisa seolah-olah dalam kondisi statis.

3.2 Flowchart

3.2.1 Flowchart Perhitungan





Gambar 3.1 Flowchart perhitungan

3.3 Prosedur Perhitungan

3.3.1 Analisis Stabilitas dengan Variabel Kecepatan dan Sudut Belok terhadap Perubahan Layout Generator Set dan Baterai

Langkah-langkah yang perlu dilakukan dalam perhitungan stabilitas kendaraan HyVI dengan metode kalkulasi quasi dinamis adalah sebagai berikut:

- Menentukan data-data dari spesifikasi kendaraan yang akan dibuat sebagai data input. Data yang diutuhkan adalah dimensi kendaraan yang meliputi *track width* dan *wheel base*, lokasi *Center of Gravity*, kekakuan pegas suspensi, *rolling resistance*, koefisien *drag* dan *frontal area*.
- Mencari posisi *Center of Gravity* dengan *software* Solidworks 2013
- menghitung besarnya berat di roda depan dan belakang

$$W_f = \frac{W.b}{(a+b)} ; W_r = \frac{W.a}{(a+b)}$$

- Mencari besarnya radius belok *Ackermann*

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

- Menghitung sudut *side slip* kendaraan

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

- Menghitung gaya dan momen yang ada pada kendaraan saat melakukan gerakan belok (F_c, F_d, M_r, M_p)
- Menghitung gaya reaksi yang diterima oleh tiap-tiap ban pada arah sumbu x,y,dan z ($F_x, F_y, \text{ dan } F_z$)
- Menghitung sudut slip ban ($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$). Sudut slip roda depan (α_f) merupakan rata-rata dari kedua sudut slip pada ban depan sebelah kiri dan kanan $\left(\frac{\alpha_2 + \alpha_3}{2} \right)$

- Menghitung besarnya radius nyata

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

- i. Menghitung besarnya *Understeer Index* (K_{US})

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

- j. Analisis kondisi kendaraan, apakah mengalami *understeer* atau *oversteer*
- k. Analisis skid, apakah kendaraan mengalami skid depan, skid belakang, atau tidak mengalami skid. Kendaraan akan skid jika $F_c > F_g$

$$F_c = \frac{M \cdot V^2}{R} \cdot h ; F_g = W \cdot \mu$$

- l. Analisis guling / analisis gaya vertikal pada roda 2 (F_{z2}), apakah roda 2 terangkat atau tidak. Kendaraan akan mengalami guling jika $F_{z2} < 0$

BAB IV PERHITUNGAN DAN ANALISIS DATA

4.1 Data dan Spesifikasi Kendaraan

Mobil HyVI (yang merupakan kependekan dari Hybrid Vehicle ITS) merupakan mobil beroda tiga yang dirancang oleh mahasiswa teknik Mesin ITS. Mobil ini telah menggunakan teknologi hybrid series, yaitu motor listrik sebagai penggerak utama dan generator sebagai support untuk menambah daya jelajah kendaraan. Mobil HyVI dirancang dengan konfigurasi *reverse-trike* (dua roda di depan dan satu roda di belakang), dengan kapasitas penumpang 2 orang.



(a)

(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Gambar 4.1 Rancangan mobil HyVI tampak pandangan isometric (a,b), depan (c), belakang (d), atas (e), samping (f)

Adapun rancangan spesifikasi mobil HyVI dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.1 Spesifikasi Teknis Mobil HyVI

Dimensi	
Panjang	3300mm
Lebar	1700mm
Tinggi	1200mm
<i>Ground clearance</i>	200mm
<i>Wheel base (L)</i>	2200mm
<i>Track width (t_r)</i>	1500mm
<i>Jarak suspense depan (b_r)</i>	1060mm
Berat	
Massa kendaraan	284,358kg
Masa penumpang	100kg x 2 orang
Massa total	484,358kg
Berat total	4751,55N
Aerodinamika	
Luasan frontal (Af)	1,7m ²
Massa jenis udara	1,23kg/m ³
Koefisien drag	0,3
Roda	
Jumlah roda	3
Jenis ban	Radial
Jari-jari roda	560mm

Setelah didapatkan rancangan spesifikasi kendaraan, maka selanjutnya menentukan variasi *layout* kendaraan. Adapun variasi *layout* kendaraan yang akan dianalisis dalam Tugas Akhir ini ada 3 macam seperti yang tercantum pada tabel 4.2.

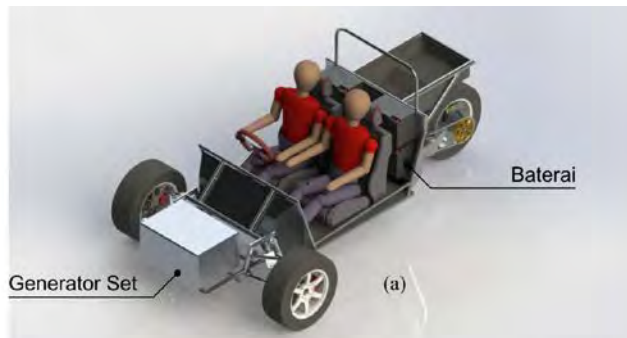
Tabel 4.2 Variasi Rancangan *Layout* Mobil HyVI

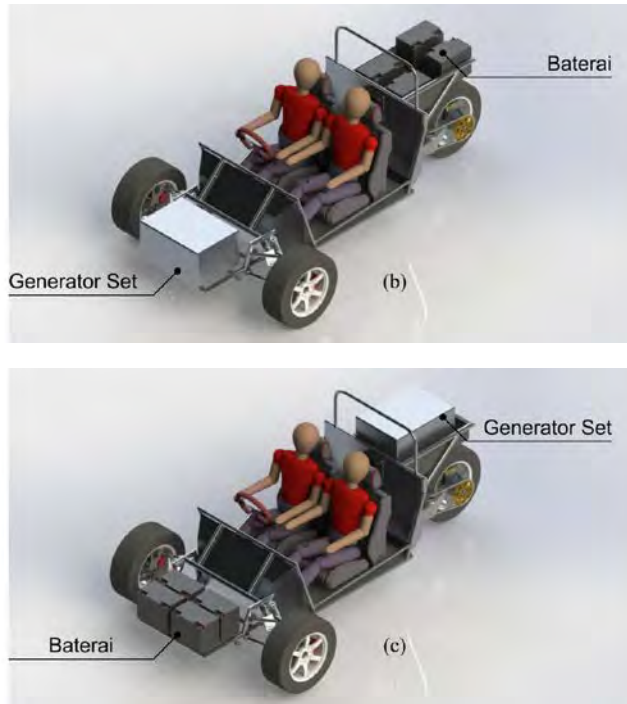
Variasi <i>Layout</i>	Posisi CG			Berat	
	a	b	h	Wf	Wr
<i>Layout 1</i> (Genset depan, baterai tengah)	0,9 m	1,4 m	0,5 5m	2807, 73N	1943, 82N
<i>Layout 2</i> (Genset depan, baterai belakang)	0,98 6m	1,21 4m	0,5 8	2621, 99N	2129, 56N
<i>Layout 3</i> (Genset belakang, baterai depan)	0,71 m	0,79 m	0,5 4m	3218, 1N	1533, 46N

Keterangan:

- a = Jarak dari titik berat (CG) ke sumbu roda depan
- b = Jarak dari titik berat (CG) ke sumbu roda belakang
- h = Jarak dari titik berat (CG) ke permukaan tanah
- Wf = Berat di roda depan kendaraan
- Wr = Berat di roda belakang kendaraan

Untuk rancangan *layout* yang lebih jelas dapat dilihat pada gambar 4.2 berikut:





Gambar 4.2 Rancangan *layout* kendaraan untuk *layout* 1 (a), *layout* 2 (b), dan *layout* 3 (c)

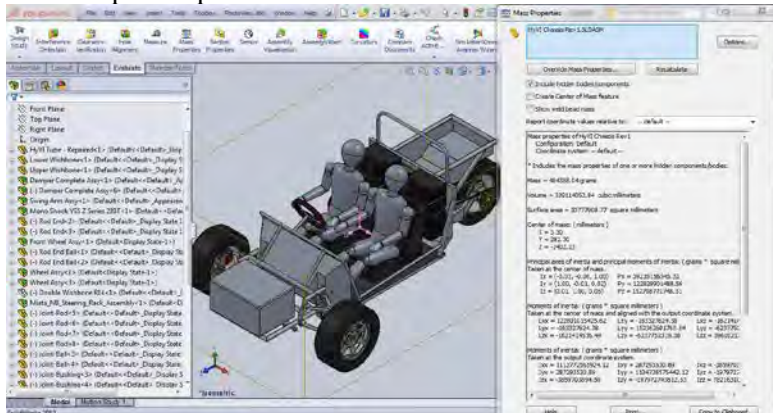
4.2. Analisis Stabilitas Kendaraan

4.2.1. Contoh Perhitungan Stabilitas

Pada contoh perhitungan kali ini, data yang dipakai sebagai dasar dalam perhitungan adalah pada *Layout* 1 dengan kondisi berjalan dengan kecepatan 40 km/jam dengan sudut belok (δ_f) sebesar 10° . Dalam perhitungan ini, posisi titik berat (*Center of Gravity*) sudah ditentukan pada variasi rancangan posisi titik berat.

4.2.1.1 Perhitungan Posisi Titik Berat

Pada Tugas Akhir ini, posisi titik berat didapatkan melalui software Solidworks. Pada gambar rancangan total (*assembly*) di software Solidworks 2013, massa dan posisi pusat massa / titik berat kendaraan dapat diketahui melalui perintah Mass Properties pada tab Evaluate.



Gambar 4.3 Analisis posisi titik berat mobil HyVI pada software Solidworks 2013

Pada gambar di atas didapatkan posisi titik berat adalah sebagai berikut:

Sumbu lateral (X) : 3,3mm; (dianggap 0, berat mobil dianggap simetri kiri-kanan)

Sumbu vertikal (Y) : 282,3mm

Sumbu longitudinal (Z) : 1402,23mm

Jarak posisi titik berat yang didapat dari Solidworks merupakan jarak dari CG ke titik acuan (origin). Pada gambar assembly kendaraan, jarak origin ke sumbu roda depan adalah 508,57mm dan jarak origin ke permukaan tanah sebesar 269,05mm. Sehingga posisi titik berat kendaraan dari sumbu roda depan dan permukaan tanah dapat dihitung.

Jarak dari CG ke sumbu roda depan
 = *Jarak dari CG ke origin*
 – *Jarak dari origin ke sumbu roda depan*

$$\begin{aligned} a &= 1402,23\text{mm} - 508,57\text{mm} \\ a &= 893,43\text{mm} \text{ (dibulatkan menjadi } 0,9\text{m)} \\ b &= L - a \\ b &= 2,2\text{m} - 0,9\text{m} = 1,3\text{m} \end{aligned} \quad (4.1)$$

Jarak dari CG ke permukaan tanah
 = *Jarak dari CG ke origin*
 + *Jarak dari origin ke permukaan tanah*

$$\begin{aligned} h &= 282,3\text{mm} + 269,05\text{mm} \\ h &= 551,35\text{mm} \text{ (dibulatkan menjadi } 0,55\text{m)} \end{aligned} \quad (4.2)$$

Berat kendaraan pada roda depan dan roda belakang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

- Berat pada roda depan

$$\begin{aligned} W \cdot b &= (a + b)W_f \\ W_f &= \frac{W \cdot b}{(a + b)} \\ W_f &= \frac{4751,55\text{N} \cdot 1,3\text{m}}{2,2\text{m}} \\ W_f &= 2807,735\text{N} \end{aligned} \quad (4.3)$$

- Berat pada roda belakang

$$\begin{aligned} W \cdot a &= (a + b)W_r \\ W_r &= \frac{W \cdot a}{(a + b)} \\ W_r &= \frac{4751,55\text{N} \cdot 0,9\text{m}}{2,2\text{m}} \\ W_r &= 1943,817\text{N} \end{aligned} \quad (4.4)$$

4.2.1.2 Perhitungan Radius Ackermann (R_{ack}) dan Sudut Side Slip (β)

- Besarnya radius Ackermann (Rack) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.10

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

$$R_{ack} = \frac{0,9m + 1,3m}{10^\circ} 57,29$$

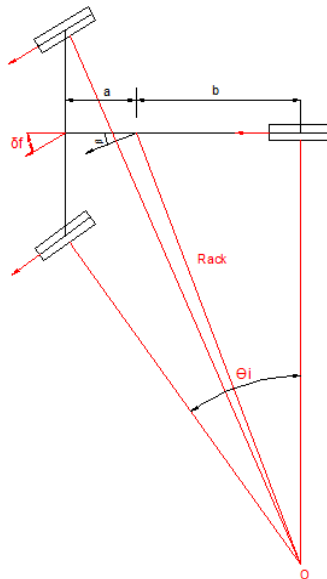
$$R_{ack} = 12,604m \quad (4.5)$$

- Besarnya sudut side slip dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.11

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

$$\beta = \text{arc. sin} \left(\frac{1,3m}{12,604} \right)$$

$$\beta = 5,92^\circ \quad (4.6)$$



Gambar 4.4 Kinematika kendaraan belok

4.2.1.3 Perhitungan Gaya Sentrifugal (F_c)

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

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

$$V = 11,111 \text{ m/s} \quad (4.7)$$

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

$$F_c = 484,358 \text{ kg} \frac{(11,111 \text{ m/s})^2}{12,604 \text{ m}}$$

$$F_c = 4744,4 \text{ N} \quad (4.8)$$

$$\bullet F_c \sin \beta = 1682,87 (\sin 5,92^\circ) = 489,4 \text{ N} \quad (4.9)$$

$$\bullet F_c \cos \beta = 1682,87 (\cos 5,92^\circ) = 4719,1 \text{ N} \quad (4.10)$$

4.2.1.4 Perhitungan Gaya Hambat Angin

Berdasarkan persamaan 2.17 dapat dihitung gaya hambat angin yang dialami kendaraan sebagai berikut:

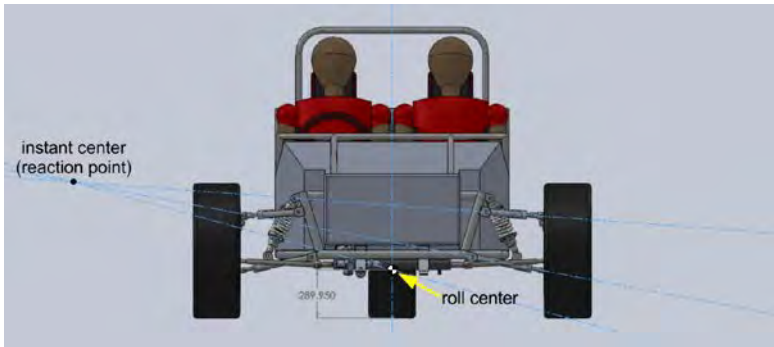
$$F_d = \frac{1}{2} C_d \cdot \rho \cdot V_a^2 \cdot A_f$$

$$F_d = \frac{1}{2} \cdot 0,3 \cdot 1,23 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(11,111 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 \cdot 1,7 \text{ m}^2$$

$$F_d = 38,722 \text{ N} \quad (4.11)$$

4.2.1.5 Perhitungan Sudut Guling (*Rolling*) dan Sudut Angguk (*Pitching*)

Sebelum melakukan perhitungan sudut guling dan sudut angguk, nilai r_c perlu ditentukan terlebih dahulu dengan mencari titik pusat guling (*roll center*). Titik pusat guling dapat ditemukan dari proyeksi wishbone atas dan bawah seperti pada gambar berikut:



Gambar 4.5 Posisi titik pusat guling (*roll center*)

Dari gambar rancangan kendaran di atas didapatkan posisi titik pusat guling 289,95mm dari permukaan tanah. Sehingga nilai r_c dapat dihitung dengan persamaan berikut:

Jarak dari CG ke titik pusat guling

= *Jarak dari CG ke permukaan tanah*

+ *Jarak dari titik pusat guling ke permukaan tanah*

$$r_c = 551,35\text{mm} - 289,95\text{mm}$$

$$r_c = 261,4\text{mm} \text{ (dibulatkan menjadi } 0,26\text{m)} \quad (4.12)$$

- **Sudut Guling (Rolling)**

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

$$\gamma = \frac{\frac{1,3}{2,2} 4719,1 \cdot 0,26}{50722,16 \cdot \frac{1,06^2}{2} - 4751,55 \cdot 0,26}$$

$$\gamma = 0,027^\circ \quad (4.13)$$

- **Sudut Angguk (Pitching)**

$$\psi = \frac{(F_c \sin \beta - F_d) r_c}{(2k_{sr} b^2 + 2k_{sf} \cdot a^2 - W \cdot r_c)}$$

$$\psi = \frac{(489,4 - 38,722) \cdot 0,26}{(2 \cdot 58525,57 \cdot 1,3^2 + 2 \cdot 50722,16 \cdot 0,9^2 - 4751,55 \cdot 0,26)}$$

$$\psi = 0,001^\circ \quad (4.14)$$

4.2.1.6 Perhitungan Gaya Normal (F_z)

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

$$F_{z1} = W_r - \left(\frac{(F_c \sin \beta - F_d) h}{a + b} + \frac{(F_c \sin \beta - F_d) r_c + W \cdot r_c \cdot \psi}{a + b} \right)$$

$$\begin{aligned}
 F_{z1} &= W_r \\
 &- \left(\frac{(489,4 - 38,722)0,55}{2,2} \right) \\
 &+ \frac{(489,4 - 38,722)0,26 + 4751,55 \cdot 0,26 \cdot 0,056}{2,2} \\
 F_{z1} &= 1777N
 \end{aligned} \tag{4.15}$$

• **Gaya Normal pada Roda 2 (Roda Kiri Depan)**

$$\begin{aligned}
 F_{z2} &= \frac{W_f}{2} - \frac{\frac{b}{a+b} F_c \cdot \cos \beta \cdot h_f}{t_f} \\
 &- \frac{\frac{b}{a+b} (F_c \cos \beta \cdot r_c + W \cdot r_c \cdot \gamma)}{t_f} \\
 &+ \frac{1}{2} \left(\frac{(F_c \sin \beta - F_d)h}{a+b} \right) \\
 &+ \frac{(F_c \sin \beta - F_d) \cdot r_c + W \cdot r_c \cdot \psi}{a+b} \\
 F_{z2} &= \frac{2807,73}{2} - \frac{\frac{1,3}{2,2} 4719,1 \cdot 0,55}{1,5} \\
 &- \frac{\frac{1,3}{2,2} (4719,1 \cdot 0,26 + 4751,55 \cdot 0,26 \cdot 0,027)}{1,5} \\
 &+ \frac{1}{2} \left(\frac{(489,4 - 38,722) 0,55}{2,2} \right) \\
 &+ \frac{(489,4 - 38,722) \cdot 0,26 + 4751,55 \cdot 0,26 \cdot 0,001}{2,2} \\
 F_{z2} &= 933N
 \end{aligned} \tag{4.16}$$

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

$$F_{z3} = \frac{W_f}{2} + \frac{\frac{b}{a+b} F_c \cdot \cos \beta \cdot h_f}{t_f} + \frac{\frac{b}{a+b} (F_c \cos \beta \cdot r_c + W \cdot r_c \cdot \gamma)}{t_f} + \frac{1}{2} \left(\frac{(F_c \sin \beta - F_d) h}{a+b} + \frac{(F_c \sin \beta - F_d) \cdot r_c + W \cdot r_c \cdot \psi}{a+b} \right)$$

$$\begin{aligned} F_{z3} &= \frac{2807,73}{2} + \frac{\frac{1,3}{2,2} 4719,1 \cdot 0,55}{1,5} \\ &+ \frac{\frac{1,3}{2,2} (4719,1 \cdot 0,26 + 4751,55 \cdot 0,26 \cdot 0,027)}{1,5} \\ &+ \frac{1}{2} \left(\frac{(489,4 - 38,722) 0,55}{2,2} + \frac{(489,4 - 38,722) \cdot 0,26 + 4751,55 \cdot 0,26 \cdot 0,001}{2,2} \right) \\ F_{z3} &= 2042N \end{aligned} \tag{4.17}$$

4.2.1.7 Perhitungan Gaya Lateral (F_y)

- **Gaya Lateral pada Roda Belakang**

$$\begin{aligned} F_{y1} &= \frac{a}{2(a+b)} F_c \cdot \cos \beta \\ F_{y1} &= \frac{0,9}{2(2,2)} 4719,1 \\ F_{y1} &= 965N \end{aligned} \tag{4.18}$$

- **Gaya Lateral pada Roda Depan**

$$Fy_2 = Fy_3 = \frac{b}{2(a+b)} F_c \cos \beta \cos \delta_f + \frac{b}{2(a+b)} (F_c \sin \beta - F_d) \sin \delta_f$$

$$Fy_2 = Fy_3 = \frac{1,3}{2(2,2)} 4719,1 \cdot \cos 10^\circ + \frac{1,3}{2(2,2)} (489,4 - 38,722) \sin 10^\circ$$

$$Fy_2 = Fy_3 = 1396N \quad (4.19)$$

4.2.1.8 Perhitungan Gaya Longitudinal (F_x)

- **Gaya Longitudinal pada Roda Belakang**

$$Fx_1 = \frac{a}{2(a+b)} (F_c \cdot \sin \beta - F_d) - R_r$$

$$Fx_1 = \frac{a}{2(a+b)} (F_c \cdot \sin \beta - F_d) - f_r \cdot Fz_1$$

$$Fx_1 = \frac{0,9}{2(2,2)} (489,4 - 38,722) - 0,8 \cdot 1777$$

$$Fx_1 = -50N \text{ (tanda negatif menunjukkan bahwa gaya ke arah belakang mobil)} \quad (4.20)$$

- **Gaya Longitudinal pada Roda Depan**

$$Fx_2 = \frac{b}{2(a+b)} (F_c \sin \beta - F_d) \cos \delta_f - \frac{b}{2(a+b)} F_c \cos \beta \sin \delta_f - R_r$$

$$Fx_2 = \frac{b}{2(a+b)} (F_c \sin \beta - F_d) \cos \delta_f - \frac{b}{2(a+b)} F_c \cos \beta \sin \delta_f - f_r \cdot Fz_2$$

$$Fx_2 = \frac{1,3}{2(2,2)} (489,4 - 38,722) \cos 10^\circ - \frac{1,3}{2(2,2)} 4719,1 \sin 10^\circ - 0,08 \cdot 933$$

$$F_{x_2} = -186N \text{ (tanda negatif menunjukkan bahwa gaya ke arah belakang mobil)} \quad (4.21)$$

$$F_{x_3} = \frac{b}{2(a+b)} (F_c \sin \beta - F_d) \cos \delta_f - \frac{b}{2(a+b)} F_c \cos \beta \sin \delta_f - R_r$$

$$F_{x_3} = \frac{b}{2(a+b)} (F_c \sin \beta - F_d) \cos \delta_f - \frac{b}{2(a+b)} F_c \cos \beta \sin \delta_f - f_r \cdot F_{z_3}$$

$$F_{x_3} = \frac{1,3}{2(2,2)} (489,4 - 38,722) \cos 10^\circ - \frac{1,3}{2(2,2)} 4719,1 \sin 10^\circ - 0,08 \cdot 2042$$

$$F_{x_3} = -274N \text{ (tanda negatif menunjukkan bahwa gaya ke arah belakang mobil)} \quad (4.22)$$

4.2.1.9 Perhitungan Sudut Slip (α)

Mobil yang diteliti pada Tugas Akhir ini menggunakan ban jenis radial. Persamaan yang digunakan untuk menghitung besarnya sudut slip adalah persamaan dengan anggapan kondisi ban radial baru.

$$\alpha_{rb} = \frac{C_{rp}}{C_{rs}} \cdot \frac{C_{rx}}{C_{ro}} [0.087935(F_y \alpha)^{0.79008} - 0.005277(F_z)]$$

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

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

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

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

• Perhitungan C_{rp} dan C_{rs}

Nilai tekanan ban kendaraan (P) diasumsikan sebesar 33psi, sedangkan tekanan ban standar (P_s) adalah sebesar 25psi

$$\begin{aligned}
 C_{rp} &= 33.5 + 5.30 (P) - 0.0916 (P)^2 \\
 C_{rp} &= 33.5 + 5.30 (33) - 0.0916 (33)^2 \\
 C_{rp} &= 108,648
 \end{aligned} \tag{4.23}$$

$$\begin{aligned}
 C_{rs} &= 33.5 + 5.30 (P_s) - 0.0916 (P_s)^2 \\
 C_{rs} &= 33.5 + 5.30 (25) - 0.0916 (25)^2 \\
 C_{rs} &= 108,75
 \end{aligned} \tag{4.24}$$

• **Perhitungan C_{rx} pada masing-masing roda**

Berdasarkan persamaan di atas, perhitungan C_{rx} untuk masing-masing roda adalah sebagai berikut, dengan catatan nilai F_x dan F_y dalam satuan pound.

- Roda 1

$$\begin{aligned}
 C_{rx1} &= \left[\frac{F_{y1\alpha} + 0.107927 (F_{x1})}{161.1398} \right]^{\frac{1}{0.474998}} \\
 C_{rx1} &= \left[\frac{216,99 + 0.107927 (-11,2404)}{161.1398} \right]^{\frac{1}{0.474998}} \\
 C_{rx1} &= 1,849
 \end{aligned} \tag{4.25}$$

- Roda 2

$$\begin{aligned}
 C_{rx2} &= \left[\frac{F_{y2\alpha} + 0.107927 (F_{x2})}{161.1398} \right]^{\frac{1}{0.474998}} \\
 C_{rx2} &= \left[\frac{313,8683 + 0.107927 (-41,7236)}{161.1398} \right]^{\frac{1}{0.474998}} \\
 C_{rx2} &= 3,948
 \end{aligned} \tag{4.26}$$

- Roda 3

$$\begin{aligned}
 C_{rx3} &= \left[\frac{F_{y3\alpha} + 0.107927 (F_{x3})}{161.1398} \right]^{\frac{1}{0.474998}} \\
 C_{rx3} &= \left[\frac{313,8683 + 0.107927 (-61,6705)}{161.1398} \right]^{\frac{1}{0.474998}} \\
 C_{rx3} &= 3,89
 \end{aligned} \tag{4.27}$$

• **Perhitungan Cro pada masing-masing roda**

Berdasarkan persamaan di atas, perhitungan Crx untuk masing-masing roda adalah sebagai berikut:

- Roda 1

$$C_{ro1} = \left[\frac{F_{y1}\alpha}{161.1398} \right]^{\frac{1}{0.474998}}$$

$$C_{ro1} = \left[\frac{216,9919}{161.1398} \right]^{\frac{1}{0.474998}}$$

$$C_{ro1} = 1,871$$

(4.28)

- Roda 2 & 3

$$C_{ro2} = C_{ro3} = \left[\frac{F_y\alpha}{161.1398} \right]^{\frac{1}{0.474998}}$$

$$C_{ro2} = C_{ro3} = \left[\frac{313,8683}{161.1398} \right]^{\frac{1}{0.474998}}$$

$$C_{ro2} = C_{ro3} = 4070$$

(4.29)

• **Perhitungan sudut slip pada masing-masing roda**

- Roda 1

$$\alpha_1 = \frac{C_{rp}}{C_{rs}} \cdot \frac{C_{rx1}}{C_{ro1}} [0.087935(F_{y1}\alpha)^{0.79008} - 0.005277(F_{z1})]$$

$$\alpha_1 = \frac{108,68}{108,75} \cdot \frac{1,849}{1,871} [0.087935(216,99)^{0.79008} - 0.005277(399,515)]$$

$$\alpha_1 = 4,008^\circ$$

(4.30)

- Roda 2

$$\alpha_2 = \frac{C_{rp}}{C_{rs}} \cdot \frac{C_{rx2}}{C_{ro2}} [0.087935(F_{y2}\alpha)^{0.79008} - 0.005277(F_{z2})]$$

$$\alpha_2 = \frac{108,68}{108,75} \cdot \frac{3,948}{4,07} [0.087935(313,8633)^{0.79008} - 0.005277(209,649)]$$

$$\alpha_2 = 6,929^\circ$$

(4.31)

o Roda 3

$$\alpha_3 = \frac{C_{rp}}{C_{rs}} \cdot \frac{C_{rx3}}{C_{ro3}} \left[0.087935 (F_{y3} \alpha)^{0.79008} - 0.005277 (F_{z3}) \right]$$

$$\alpha_3 = \frac{108,68}{108,75} \cdot \frac{3,89}{4,07} \left[0.087935 (313,8633)^{0.79008} - 0.005277 (209,649) \right]$$

$$\alpha_3 = 5,572^\circ \quad (4.32)$$

$$\text{Sudut slip rata-rata roda depan} : \alpha_f = \frac{\alpha_2 + \alpha_3}{2} = \frac{6,929 + 5,572}{2} = 6,251^\circ \quad (4.33)$$

$$\text{Sudut slip roda belakang} : \alpha_r = \alpha_1 = 4,008^\circ \quad (4.34)$$

4.2.1.10 Perhitungan Radius Belok Nyata

Radius belok nyata dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.12

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

$$R_n = \frac{2,2m}{10^\circ + 4,008^\circ - 6,251^\circ} 57,29$$

$$R_n = 10,295m \quad (4.34)$$

4.2.1.11 Perhitungan Indeks *Understeer*

Indeks *Understeer* (K_{us}) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.44. Apabila K_{us} bernilai negatif (-) maka kendaraan berada dalam kondisi *oversteer*. Sebaliknya, apabila K_{us} bernilai positif (+) maka kendaraan berada dalam kondisi *understeer*.

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

$$K_{us} = (6,251 - 4,008) \frac{9,81 \cdot 10,295}{11,111^2}$$

$$K_{us} = 1,834 \quad (4.35)$$

K_{us} bernilai positif (+), artinya kendaraan berada dalam kondisi *understeer*.

4.2.1.12 Perhitungan Kecepatan Karakteristik

Kecepatan karakteristik dapat dihitung menggunakan persamaan 2.45. Apabila nilai kecepatan karakteristik lebih besar dari kecepatan yang digunakan, maka kendaraan tersebut masih dapat dikendalikan.

$$V_{ch} = \sqrt{\frac{57,29 (a+b) \cdot g}{K_{us}}}$$

$$V_{ch} = \sqrt{\frac{57,29 (2,2) \cdot 9,81}{1,834}}$$

$$V_{ch} = 25,963 \text{ m/s} = 93,465 \quad (4.36)$$

Nilai V_{ch} lebih besar dari kecepatan yang digunakan yaitu 40 km/jam ($V_{ch} > v$), artinya kendaraan masih dapat dikendalikan.

4.2.2 Analisis Skid dan Guling

Analisis skid dan guling dilakukan dengan menggunakan data yang sama seperti pada contoh perhitungan diatas, yaitu pada *Layout* 1 dengan kecepatan 40 k m/jam (11,111 m/s) dan sudut belok (δ_f) sebesar 10°

4.2.2.1 Analisis Roda Depan Skid

Untuk mengetahui apakah roda depan mengalami skid, perlu diketahui besarnya F_{cf} dan F_{gf} . Roda depan akan mengalami skid jika $F_{cf} > F_{gf}$. Dari persamaan 2.33 dan 2.35 dapat dihitung besarnya F_{cf} dan F_{gf}

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

$$F_{cf} = \frac{1,3}{2,2} 4744,4 \cos 10^\circ$$

$$F_{cf} = 2760,909 \text{ N} \quad (4.37)$$

$$F_{gf} = \frac{\mu}{a+b} (b \cdot W + F_c h \sin \delta_t - F_a \cdot h)$$

$$F_{gf} = \frac{1,36}{2,2} (1,3 \cdot 4751,55 + 4744,4 \cdot 0,55 \sin 10^\circ - 38,722 \cdot 0,55)$$

$$F_{gf} = 4087,014 \text{ N} \quad (4.38)$$

Dari perhitungan diatas didapatkan nilai $F_{cf} < F_{gf}$, artinya roda depan tidak mengalami skid.

4.2.2.2 Analisis Roda Belakang Skid

Untuk mengetahui apakah roda depan mengalami skid, perlu diketahui besarnya F_{cf} dan F_{gf} . Roda depan akan mengalami skid jika $F_{cf} > F_{gf}$. Dari persamaan 2.33 dan 2.35 dapat dihitung besarnya F_{cf} dan F_{gf}

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

$$F_{cr} = \frac{0,9}{2,2} 4744,4 \cos 10^\circ$$

$$F_{cr} = 1911,399N \quad (4.39)$$

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

$$F_{gr} = \frac{1,36}{2,2} (0,9 \cdot 4751,55 + 4744,4 \cdot 0,55 \sin 10^\circ - 38,722 \cdot 0,55)$$

$$F_{gr} = 2911,827N \quad (4.40)$$

Dari perhitungan didapatkan nilai $F_{cr} < F_{gr}$, artinya roda belakang tidak mengalami skid.

4.2.2.3 Analisis Guling

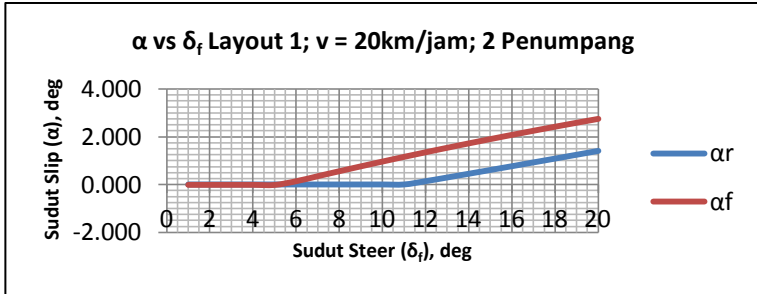
Untuk mengetahui apakah kendaraan mengalami kondisi guling (roda terangkat), perlu diketahui besarnya gaya normal (F_z) pada masing-masing roda. Apabila F_z bernilai negatif (-) maka roda berada dalam kondisi terangkat. Dari data 4.14, 4.15, 4.16 didapatkan nilai F_z sebagai berikut:

$$F_{z1} = 1777N ; F_{z2} = 933N ; F_{z3} = 2042N$$

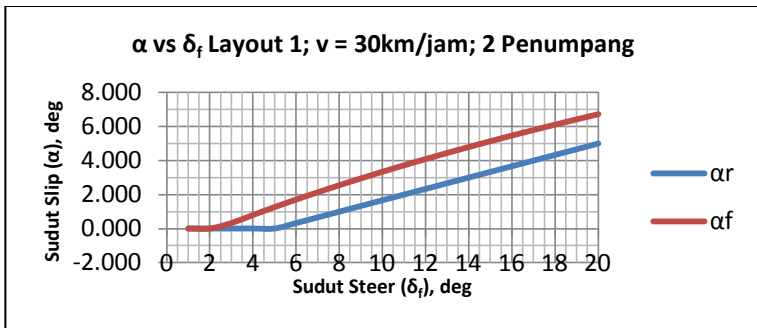
Nilai F_z di ketiga roda bernilai positif, artinya tidak ada roda yang terangkat dan kendaraan tidak dalam kondisi guling.

4.2.3 Analisis Grafik

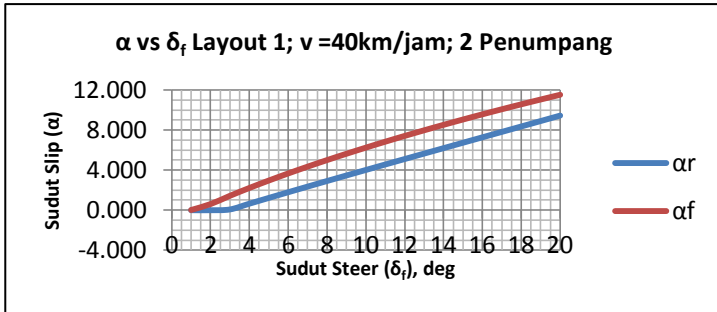
4.2.3.1 Grafik Pengaruh Perubahan Sudut *Steer* terhadap Sudut Slip pada *Layout 1*



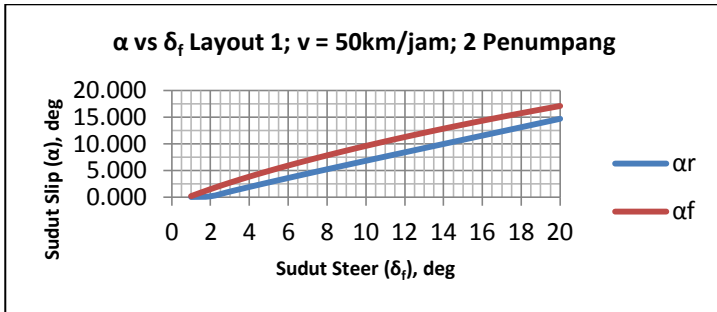
(a)



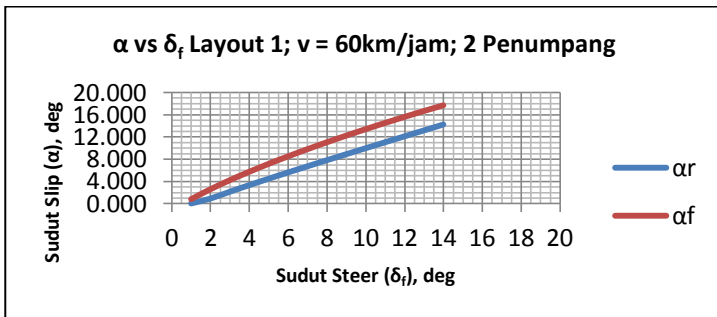
(b)



(c)



(d)

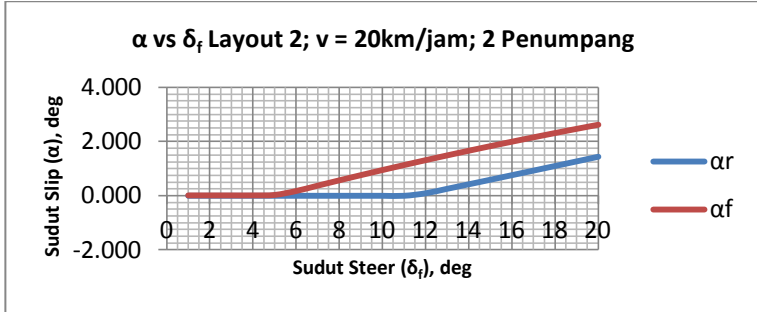


(e)

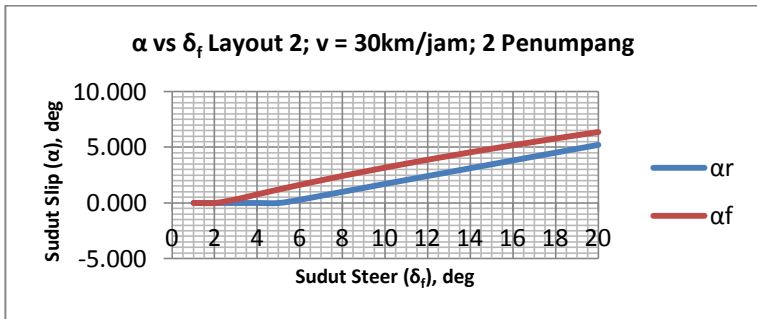
Gambar 4.6 Grafik hubungan sudut *steer* terhadap sudut slip roda belakang dan roda depan pada *layout* 1 dengan muatan dua penumpang

Gambar di atas merupakan grafik yang menggambarkan hubungan sudut *steer* (δ_f) terhadap sudut slip (α) pada jalan datar dengan dua penumpang untuk *layout* 1. Grafik di atas memvariasikan kecepatan kendaraan dari 20km/jam, 30km/jam, 40km/jam, 50km/jam, hingga 60km/jam. Pada kecepatan 20km/jam (gambar 4.4a), dengan sudut sudut *steer* 1° hingga 4° , roda belum mengalami slip. Roda depan mulai mengalami slip pada sudut *steer* di atas 4° , sedangkan roda belakang mulai mengalami slip pada sudut *steer* diatas 11° . Pada kecepatan 30km/jam (gambar 4.4b), dengan sudut sudut *steer* 1° hingga 2° , roda belum mengalami slip. Roda depan mulai mengalami slip pada sudut *steer* di atas 2° , sedangkan roda belakang mulai mengalami slip pada sudut *steer* diatas 5° . Pada kecepatan 40km/jam (gambar 4.4c), dengan sudut sudut *steer* 1° , roda belum mengalami slip. Roda depan mulai mengalami slip pada sudut *steer* di atas 1° , sedangkan roda belakang mulai mengalami slip pada sudut belok diatas 2° . Pada kecepatan 50km/jam (gambar 4.4d) dan 60km/jam (gambar 4.4e), roda depan sudah mengalami slip pada sudut *steer* 1° , sedangkan roda belakang mulai mengalami slip pada sudut *steer* diatas 1° . Sedangkan untuk kecepatan 60km/jam sendiri, perhitungan dihentikan hingga sudut *steer* 14° , karena lebih dari itu roda depan bagian kiri mulai terangkat. Dari kelima grafik diatas tampak bahwa sudut slip yang terjadi semakin besar dengan bertambahnya sudut *steer* yang diberikan oleh pengemudi. Selain itu terlihat juga dengan semakin bertambahnya kecepatan, dengan sudut *steer* yang sama, sudut slip yang terjadi menjadi semakin besar.

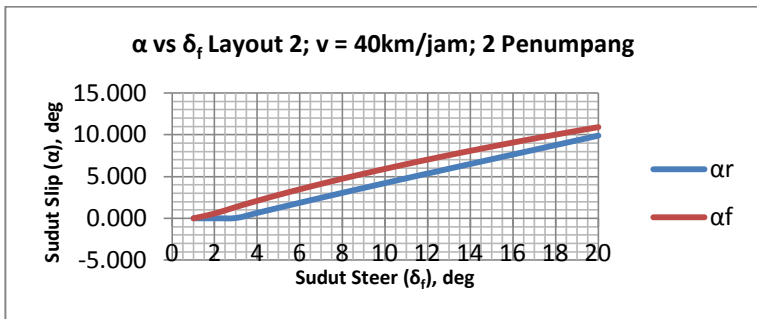
4.2.3.2 Grafik Pengaruh Perubahan Sudut *Steer* terhadap Sudut Slip pada *Layout 2*



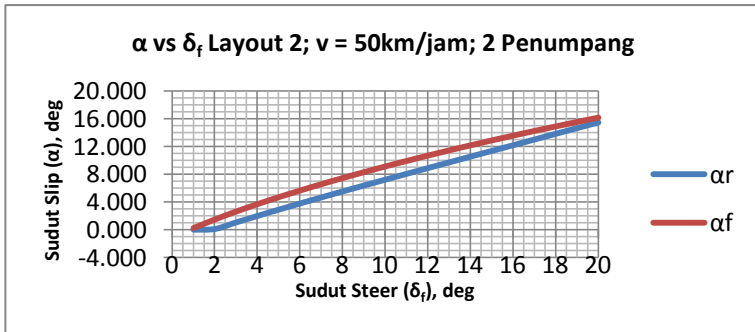
(a)



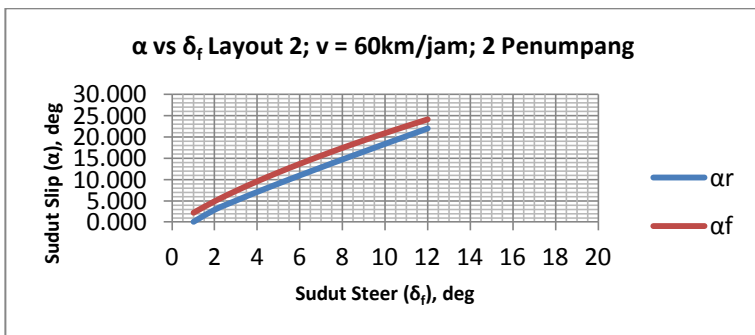
(b)



(c)



(d)



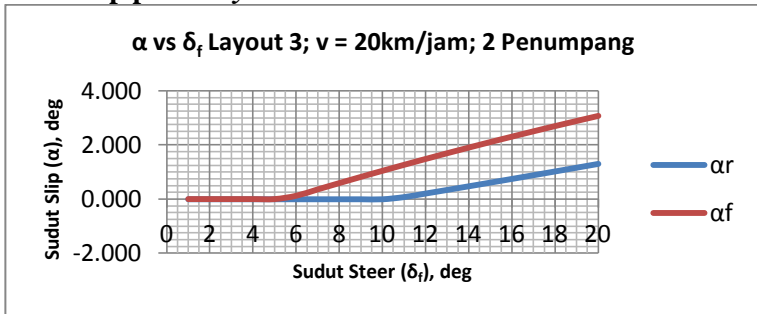
(e)

Gambar 4.7 Grafik hubungan sudut *steer* terhadap sudut slip roda belakang dan roda depan pada *layout 2* dengan muatan dua penumpang

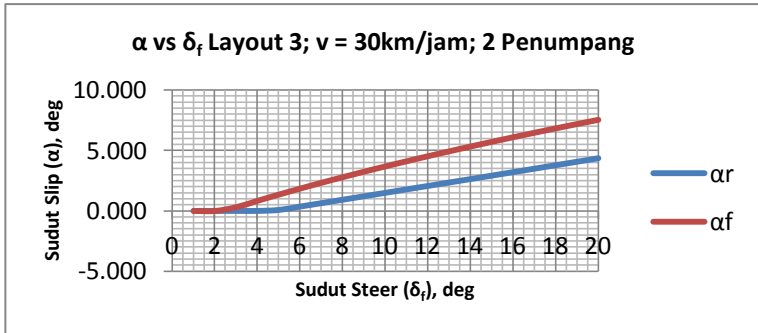
Gambar di atas merupakan grafik yang menggambarkan hubungan sudut *steer* (δ_f) terhadap sudut slip (α) pada jalan datar dengan dua penumpang untuk *layout 2*. Grafik di atas memvariasikan kecepatan kendaraan dari 20km/jam, 30km/jam, 40km/jam, 50km/jam, hingga 60km/jam. Pada kecepatan 20km/jam (gambar 4.5a), dengan sudut *steer* 1° hingga 4°, roda belum mengalami slip. Roda depan mulai mengalami slip pada sudut *steer* di atas 4°, sedangkan roda belakang mulai mengalami slip pada sudut *steer* di atas 11°. Pada kecepatan 30km/jam (gambar 4.5b), dengan sudut *steer* 1° hingga 2°,

roda belum mengalami slip. Roda depan mulai mengalami slip pada sudut *steer* di atas 2° , sedangkan roda belakang mulai mengalami slip pada sudut *steer* di atas 5° . Pada kecepatan 40km/jam (gambar 4.5c), dengan sudut *steer* 1° , roda belum mengalami slip. Roda depan mulai mengalami slip pada sudut *steer* di atas 1° , sedangkan roda belakang mulai mengalami slip pada sudut *steer* di atas 2° . Pada kecepatan 50km/jam (gambar 4.5d) dan 60km/jam (gambar 4.5e), roda depan sudah mengalami slip pada sudut *steer* 1° , sedangkan roda belakang mulai mengalami slip pada sudut *steer* di atas 1° . Sedangkan untuk kecepatan 60km/jam sendiri, perhitungan dihentikan hingga sudut *steer* 12° , karena lebih dari itu roda depan bagian kiri mulai terangkat. Dari kelima grafik di atas juga tampak bahwa sudut slip yang terjadi semakin besar dengan bertambahnya sudut *steer* yang diberikan oleh pengemudi. Selain itu terlihat juga dengan semakin bertambahnya kecepatan, dengan sudut *steer* yang sama, sudut slip yang terjadi menjadi semakin besar.

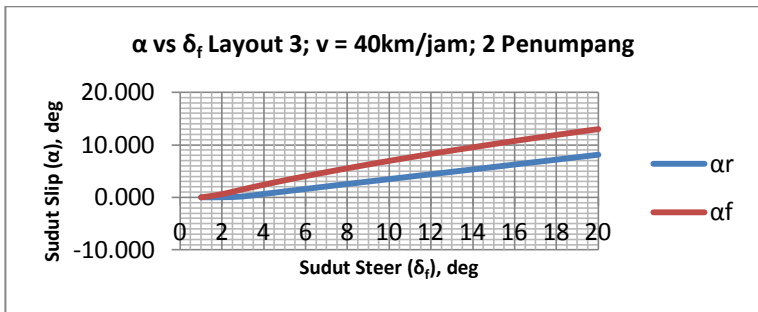
4.2.3.3 Grafik Pengaruh Perubahan Sudut *Steer* terhadap Sudut Slip pada *Layout 3*



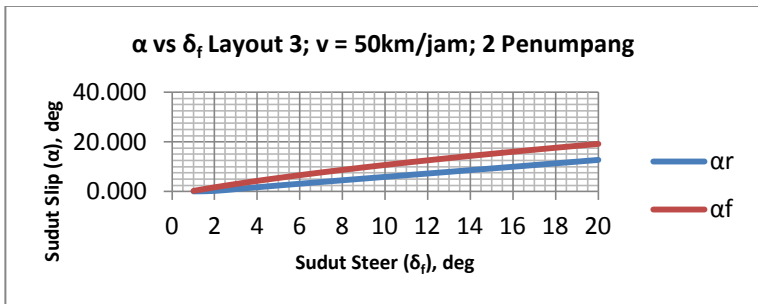
(a)



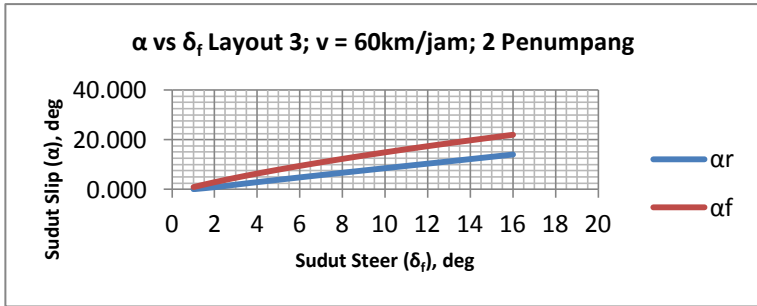
(b)



(c)



(d)



(e)

Gambar 4.8 Grafik hubungan sudut *steer* terhadap sudut slip roda belakang dan roda depan pada *layout* 3 dengan muatan dua penumpang

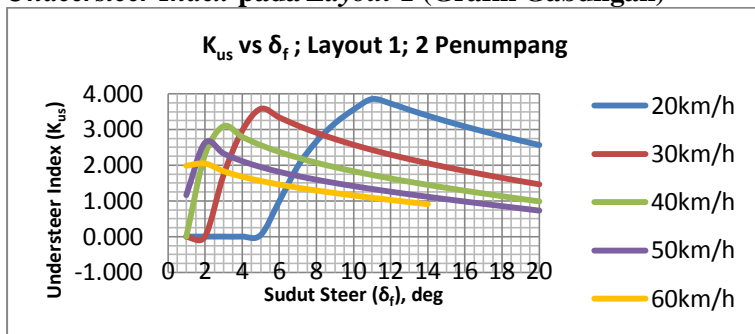
Gambar di atas merupakan grafik yang menggambarkan hubungan sudut *steer* (δ_f) terhadap sudut slip (α) pada jalan datar dengan dua penumpang untuk *layout* 3. Grafik di atas memvariasikan kecepatan kendaraan dari 20km/jam, 30km/jam, 40km/jam, 50km/jam, hingga 60km/jam. Pada kecepatan 20km/jam (gambar 4.5a), dengan sudut *steer* 1° hingga 5°, roda belum mengalami slip. Roda depan mulai mengalami slip pada sudut *steer* di atas 5°, sedangkan roda belakang mulai mengalami slip pada sudut *steer* di atas 10°. Pada kecepatan 30km/jam (gambar 4.5b), dengan sudut *steer* 1° hingga 2°, roda belum mengalami slip. Roda depan mulai mengalami slip pada sudut *steer* di atas 2°, sedangkan roda belakang mulai mengalami slip pada sudut *steer* di atas 4°. Pada kecepatan 40km/jam (gambar 4.5c), dengan sudut *steer* 1°, roda belum mengalami slip. Roda depan mulai mengalami slip pada sudut *steer* di atas 1°, sedangkan roda belakang mulai mengalami slip pada sudut *steer* di atas 2°. Pada kecepatan 50km/jam (gambar 4.5d) dan 60km/jam (gambar 4.5e), roda depan sudah mengalami slip pada sudut *steer* 1°, sedangkan roda belakang mulai mengalami slip pada sudut *steer* di atas 1°. Sedangkan untuk kecepatan 60km/jam sendiri, perhitungan dihentikan hingga sudut *steer* 16°, karena lebih dari itu roda depan bagian kiri mulai

terangkat. Dari kelima grafik diatas juga tampak bahwa sudut slip yang terjadi semakin besar dengan bertambahnya sudut *steer* yang diberikan oleh pengemudi. Selain itu terlihat juga dengan semakin bertambahnya kecepatan, dengan sudut *steer* yang sama, sudut slip yang terjadi menjadi semakin besar.

Dari grafik dan data pada *layout* 1, 2, dan 3 di atas terlihat jelas hubungan antara besarnya sudut *steer* dan kecepatan belok kendaraan dengan besarnya sudut slip. Semakin besar sudut *steer* yang diberikan oleh pengemudi, maka sudut slip yang terjadi juga menjadi semakin besar. Hal ini disebabkan karena radius belok dari kendaraan menjadi semakin kecil. Radius belok yang semakin kecil mengakibatkan gaya sentrifugal yang dialami oleh kendaraan menjadi semakin besar. Selain itu semakin besar kecepatan belok, maka sudut slip yang terbentuk akan semakin besar. Kecepatan belok yang semakin tinggi juga menyebabkan gaya sentrifugal yang diterima oleh kendaraan menjadi semakin besar sehingga sudut slip yang terbentuk menjadi semakin besar.

Gaya sentrifugal yang besar mengakibatkan munculnya gaya lateral yang dapat mendorong roda ke arah samping. Dorongan ini mengakibatkan ban tidak mampu mempertahankan bentuknya sehingga merubah arah/lintasan dari ban.

4.2.3.4 Grafik Pengaruh Perubahan Sudut *Steer* terhadap *Understeer Index* pada *Layout* 1 (Grafik Gabungan)



Gambar 4.9 Grafik hubungan sudut *steer* terhadap *understeer index* pada *layout* 1 dengan muatan dua penumpang

Dari grafik diatas tampak perubahan nilai K_{us} untuk sudut *steer* 1° hingga 20° pada kecepatan 20km/jam, 30km/jam, 40km/jam, 50km/jam, 60km/jam pada *layout* 1.

Pada kecepatan 20km/jam (garis warna biru) untuk sudut belok 1° hingga 4° kendaraan cenderung netral (tidak mengalami *understeer* maupun *oversteer*), hal ini ditunjukkan dengan kurva yang datar pada nilai K_{us} 0. Setelah sudut belok lebih dari 4° kendaraan mulai mengalami *understeer* ditunjukkan dengan garis yang naik hingga akhirnya maksimum pada sudut belok 11° dengan nilai K_{us} sebesar 3,855. Setelah itu untuk sudut belok lebih dari 11° nilai K_{us} berangsur-angsur turun hingga minimum pada sudut belok 20° (sudut belok maksimum) dengan nilai K_{us} sebesar 2,567.

Pada kecepatan 30km/jam (garis warna merah) untuk sudut belok 1° hingga 2° kendaraan cenderung netral (tidak mengalami *understeer* maupun *oversteer*), hal ini ditunjukkan dengan kurva yang datar pada nilai K_{us} 0. Setelah sudut belok lebih dari 2° kendaraan mulai mengalami *understeer* ditunjukkan dengan garis yang naik hingga akhirnya maksimum pada sudut belok 5° dengan nilai K_{us} sebesar 3,577. Setelah itu untuk sudut belok lebih dari 5° nilai K_{us} berangsur-angsur turun hingga minimum pada sudut belok 20° (sudut belok maksimum) dengan nilai *understeer index* sebesar 1,466.

Pada kecepatan 40km/jam (garis warna hijau) untuk sudut belok 1° kendaraan masih dalam kondisi netral (tidak mengalami *understeer* maupun *oversteer*). Setelah sudut belok lebih dari 1° kendaraan mulai mengalami *understeer* ditunjukkan dengan garis yang naik hingga akhirnya maksimum pada sudut belok 3° dengan nilai K_{us} sebesar 3,097. Setelah itu untuk sudut belok lebih dari 3° nilai K_{us} berangsur-angsur turun hingga minimum pada sudut belok 20° (sudut belok maksimum) dengan nilai *understeer index* sebesar 0,99.

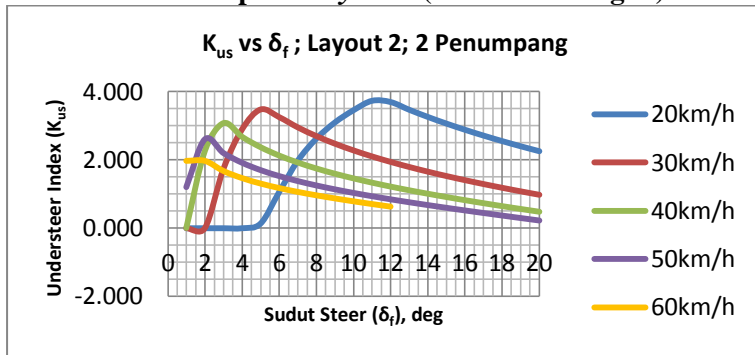
Pada kecepatan 50km/jam (garis warna ungu) untuk sudut belok 1° kendaraan sudah mengalami kondisi *understeer* dengan nilai K_{us} sebesar 1,164. Setelah itu nilai K_{us} naik hingga bernilai

maksimum sebesar 2,663 pada sudut belok 2° . Kemudian untuk sudut belok lebih dari 2° nilai K_{us} berangsur-angsur turun hingga minimum pada sudut belok 20° (sudut belok maksimum) dengan nilai *understeer index* sebesar 0,73.

Pada kecepatan 60km/jam (garis warna kuning) untuk sudut belok 1° kendaraan sudah mengalami kondisi *understeer* dengan nilai K_{us} sebesar 1,992. Setelah itu nilai K_{us} naik hingga bernilai maksimum sebesar 2,055 pada sudut belok 2° . Kemudian untuk sudut belok lebih dari 2° nilai K_{us} berangsur-angsur turun hingga minimum pada sudut belok 14° dengan nilai *understeer index* sebesar 0,905. Perhitungan dihentikan hingga sudut belok 14° karena untuk sudut belok lebih dari 14° roda depan bagian kiri sudah mulai terangkat.

Dari grafik gabungan diatas tampak bahwa pada *layout 1* secara umum kendaraan cenderung berada pada kondisi *understeer*. Namun nilai *understeer* berangsur-angsur turun dari titik maksimumnya dengan bertambahnya kecepatan, atau dengan kata lain kendaraan cenderung menuju ke kondisi netral.

4.2.3.5 Grafik Pengaruh Perubahan Sudut *Steer* terhadap *Understeer Index* pada *Layout 2* (Grafik Gabungan)



Gambar 4.10 Grafik hubungan sudut *steer* terhadap *understeer index* pada *layout 2* dengan muatan dua penumpang

Dari grafik diatas tampak perubahan nilai K_{us} untuk sudut *steer* 1° hingga 20° pada kecepatan 20km/jam, 30km/jam, 40km/jam, 50km/jam, dan 60km/jam pada *layout* 2.

Pada kecepatan 20km/jam (garis warna biru) untuk sudut belok 1° hingga 4° kendaraan cenderung netral (tidak mengalami *understeer* maupun *oversteer*), hal ini ditunjukkan dengan kurva yang datar pada nilai K_{us} 0. Setelah sudut belok lebih dari 4° kendaraan mulai mengalami *understeer* ditunjukkan dengan garis yang naik hingga akhirnya maksimum pada sudut belok 11° dengan nilai K_{us} sebesar 3,722. Setelah itu untuk sudut belok lebih dari 11° nilai K_{us} berangsur-angsur turun hingga minimum pada sudut belok 20° (sudut belok maksimum) dengan nilai K_{us} sebesar 2,249.

Pada kecepatan 30km/jam (garis warna merah) untuk sudut belok 1° hingga 2° kendaraan cenderung netral (tidak mengalami *understeer* maupun *oversteer*), hal ini ditunjukkan dengan kurva yang datar pada nilai K_{us} 0. Setelah sudut belok lebih dari 2° kendaraan mulai mengalami *understeer* ditunjukkan dengan garis yang naik hingga akhirnya maksimum pada sudut belok 5° dengan nilai K_{us} sebesar 3,471. Setelah itu untuk sudut belok lebih dari 5° nilai K_{us} berangsur-angsur turun hingga minimum pada sudut belok 20° (sudut belok maksimum) dengan nilai *understeer* index sebesar 0,975.

Pada kecepatan 40km/jam (garis warna hijau) untuk sudut belok 1° kendaraan masih dalam kondisi netral (tidak mengalami *understeer* maupun *oversteer*). Setelah sudut belok lebih dari 1° kendaraan mulai mengalami *understeer* ditunjukkan dengan garis yang naik hingga akhirnya maksimum pada sudut belok 3° dengan nilai K_{us} sebesar 3,071. Setelah itu untuk sudut belok lebih dari 3° nilai K_{us} berangsur-angsur turun hingga minimum pada sudut belok 20° (sudut belok maksimum) dengan nilai *understeer* index sebesar 0,475.

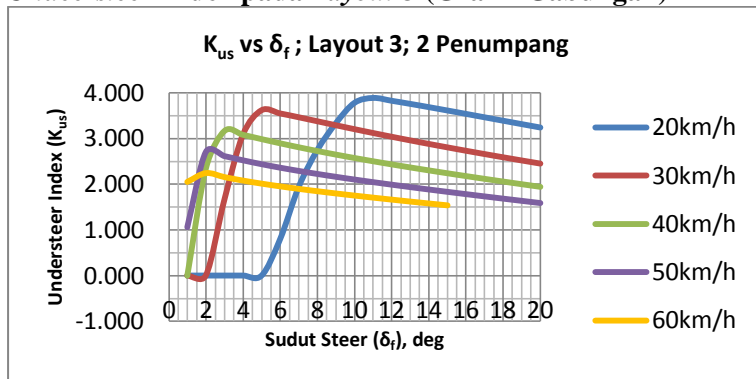
Pada kecepatan 50km/jam (garis warna ungu) untuk sudut belok 1° kendaraan sudah mengalami kondisi *understeer* dengan nilai K_{us} sebesar 1,202. Setelah itu nilai K_{us} naik hingga bernilai

maksimum sebesar 2,603 pada sudut belok 2° . Kemudian untuk sudut belok lebih dari 2° nilai K_{us} berangsur-angsur turun hingga minimum pada sudut belok 20° (sudut belok maksimum) dengan nilai *understeer index* sebesar 0,225.

Pada kecepatan 60km/jam (garis warna kuning) untuk sudut belok 1° dan 2° kendaraan sudah mengalami kondisi *understeer* dengan nilai K_{us} sebesar 1,963. Setelah itu untuk sudut belok lebih dari 2° nilai K_{us} berangsur-angsur turun hingga minimum pada sudut belok 12° dengan nilai *understeer index* sebesar 0,631. Perhitungan dihentikan hingga sudut belok 12° karena untuk sudut belok lebih dari 12° roda depan bagian kiri sudah mulai terangkat.

Dari grafik gabungan diatas tampak bahwa pada *layout 2* secara umum kendaraan cenderung berada pada kondisi *understeer*. Namun nilai *understeer* berangsur-angsur turun dari titik maksimumnya dengan bertambahnya kecepatan, atau dengan kata lain kendaraan cenderung menuju ke kondisi netral.

4.2.3.6 Grafik Pengaruh Perubahan Sudut *Steer* terhadap *Understeer Index* pada *Layout 3* (Grafik Gabungan)



Gambar 4.11 Grafik hubungan sudut *steer* terhadap *understeer index* pada *layout 3* dengan muatan dua penumpang

Dari grafik diatas tampak perubahan nilai K_{us} untuk sudut *steer* 1° hingga 20° pada kecepatan 20km/jam, 30km/jam, 40km/jam, 50km/jam, 60km/jam pada *layout* 3.

Pada kecepatan 20km/jam (garis warna biru) untuk sudut belok 1° hingga 5° kendaraan cenderung netral (tidak mengalami *understeer* maupun *oversteer*), hal ini ditunjukkan dengan kurva yang datar pada nilai K_{us} 0. Setelah sudut belok lebih dari 5° kendaraan mulai mengalami *understeer* ditunjukkan dengan garis yang naik hingga akhirnya maksimum pada sudut belok 11° dengan nilai K_{us} sebesar 3,888. Setelah itu untuk sudut belok lebih dari 11° nilai K_{us} berangsur-angsur turun hingga minimum pada sudut belok 20° (sudut belok maksimum) dengan nilai K_{us} sebesar 3,240.

Pada kecepatan 30km/jam (garis warna merah) untuk sudut belok 1° hingga 2° kendaraan cenderung netral (tidak mengalami *understeer* maupun *oversteer*), hal ini ditunjukkan dengan kurva yang datar pada nilai K_{us} 0. Setelah sudut belok lebih dari 2° kendaraan mulai mengalami *understeer* ditunjukkan dengan garis yang naik hingga akhirnya maksimum pada sudut belok 5° dengan nilai K_{us} sebesar 3,617. Setelah itu untuk sudut belok lebih dari 5° nilai K_{us} berangsur-angsur turun hingga minimum pada sudut belok 20° (sudut belok maksimum) dengan nilai *understeer* index sebesar 2,448.

Pada kecepatan 40km/jam (garis warna hijau) untuk sudut belok 1° kendaraan masih dalam kondisi netral (tidak mengalami *understeer* maupun *oversteer*). Setelah sudut belok lebih dari 1° kendaraan mulai mengalami *understeer* ditunjukkan dengan garis yang naik hingga akhirnya maksimum pada sudut belok 3° dengan nilai K_{us} sebesar 3,161. Setelah itu untuk sudut belok lebih dari 3° nilai K_{us} berangsur-angsur turun hingga minimum pada sudut belok 20° (sudut belok maksimum) dengan nilai *understeer* index sebesar 1,941.

Pada kecepatan 50km/jam (garis warna ungu) untuk sudut belok 1° kendaraan sudah mengalami kondisi *understeer* dengan nilai K_{us} sebesar 1,063. Setelah itu nilai K_{us} naik hingga bernilai

maksimum sebesar 2,703 pada sudut belok 2° . Kemudian untuk sudut belok lebih dari 2° nilai K_{us} berangsur-angsur turun hingga minimum pada sudut belok 20° (sudut belok maksimum) dengan nilai *understeer* index sebesar 1,59.

Pada kecepatan 60km/jam (garis warna kuning) untuk sudut belok 1° kendaraan sudah mengalami kondisi *understeer* dengan nilai K_{us} sebesar 2,047. Setelah itu nilai K_{us} naik hingga bernilai maksimum sebesar 2,240 pada sudut belok 2° . Kemudian untuk sudut belok lebih dari 2° nilai K_{us} berangsur-angsur turun hingga minimum pada sudut belok 16° dengan nilai *understeer* index sebesar 1,330. Perhitungan dihentikan hingga sudut belok 16° karena untuk sudut belok lebih dari 16° roda depan bagian kiri sudah mulai terangkat dan pada sudut belok 18° roda belakang juga mulai terangkat.

Dari grafik gabungan diatas tampak bahwa pada *layout 3* secara umum kendaraan cenderung berada pada kondisi *understeer*. Namun nilai *understeer* berangsur-angsur turun dari titik maksimumnya dengan bertambahnya kecepatan, atau dengan kata lain kendaraan cenderung menuju ke kondisi netral.

4.2.3.7 Perbandingan Analisis Skid dan Guling (Rolling) pada *Layout 1, 2, dan 3*

Tabel 4.3 Tabel Analisis Skid dan Guling Gabungan

v (km/h)	Layout 1			Layout 2			Layout 3		
	δf (deg)			δf (deg)			δf (deg)		
	Skid		Rolling	Skid		Rolling	Skid		Rolling
	F	R		F	R		F	R	
20	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe
30	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe
40	18	Safe	Safe	18	19	Safe	18	Safe	Safe
50	10	11	Safe	10	10	Safe	10	12	Safe
60	7	7	15	7	7	13	7	8	17 (rolling 2) 19 (rolling 1&2)

Keterangan tabel:

Safe : kendaraan tidak mengalami skid maupun guling

Skid : kendaraan mengalami skid

Rolling : satu atau beberapa roda pada kendaraan terangkat
(roda ditunjukkan dengan angka, rolling2 artinya
roda 2 terangkat)

Pada tabel di atas, didapatkan hasil analisis skid dan guling pada ketiga *layout* dari kecepatan 20km/jam hingga 60km/jam. Pada kecepatan 20km/jam tidak terjadi skid maupun guling pada ketiga *layout*. Begitu pula pada kecepatan 30km/jam, tidak terjadi skid maupun guling pada ketiga *layout*.

Pada kecepatan 40km/jam, untuk *layout* 1 mulai terjadi skid di roda depan pada sudut belok 18° . Sedangkan untuk *layout* 2 mulai terjadi skid di roda depan pada sudut belok 18° dan skid di roda belakang pada sudut belok 19° . Untuk *layout* 3 mulai terjadi skid di roda depan pada sudut belok 18° . Untuk kecepatan 40km/jam pada semua *layout* tidak ada roda yang terangkat, artinya kendaraan tidak mengalami guling pada ketiga *layout*.

Pada kecepatan 50km/jam, untuk *layout* 1 mulai terjadi skid di roda depan pada sudut belok 10° dan skid di roda belakang pada sudut belok 11° . Sedangkan untuk *layout* 2 mulai terjadi skid di roda depan dan belakang pada sudut belok 10° . Untuk *layout* 3 mulai terjadi skid di roda depan pada sudut belok 10° dan skid di roda belakang pada sudut belok 12° . Untuk kecepatan 50km/jam pada semua *layout* tidak ada roda yang terangkat, artinya kendaraan tidak mengalami guling pada ketiga *layout*.

Pada kecepatan 60km/jam, untuk *layout* 1 mulai terjadi skid di roda depan dan belakang pada sudut belok 7° , serta roda depan bagian kiri mulai terangkat pada sudut belok 15° . Untuk *layout* 2 mulai terjadi skid di roda belakang dan depan pada sudut belok 7° , serta roda depan bagian kiri mulai terangkat pada sudut belok 13° . Sedangkan untuk *layout* 3 mulai terjadi skid di roda belakang pada sudut belok 7° dan skid di roda depan pada sudut belok 8° , serta roda depan bagian kiri mulai terangkat pada sudut belok 17° dan roda belakang mulai terangkat pada sudut belok 19° .

Dari tabel analisis skid dan guling di atas didapatkan karakteristik skid dan guling dari masing-masing *layout*.

- Layout 1* : mempunyai ketahanan skid lebih baik dari *layout 2* dan ketahanan guling paling baik dari ketiga *layout*
- Layout 2* : mempunyai ketahanan skid paling buruk dari ketiga *layout* (cenderung mengalami skid pada sudut belok lebih rendah), serta memiliki ketahanan guling yang paling buruk pula (roda cenderung terangkat pada sudut belok lebih rendah)
- Layout 3* : mempunyai ketahanan skid paling baik (cenderung mengalami skid pada sudut belok lebih tinggi), namun memiliki ketahanan guling lebih buruk dari *layout 1* (meskipun roda depan bagian kiri cenderung terangkat pada sudut belok lebih tinggi, akan tetapi roda belakang juga terangkat jika sudut belok dinaikkan lagi)

Dari karakteristik ketiga *layout* tersebut didapatkan urutan *layout* yang paling baik hingga paling buruk yaitu *layout 1*; *layout 3*; dan *layout 2*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari analisis yang telah dilakukan dalam tugas akhir ini, dapat diambil beberapa kesimpulan, antara lain:

1. Kendaraan ini memiliki kecenderungan untuk *understeer* dengan karakteristik nilai indeks *understeer* (K_{us}) bertambah seiring bertambahnya sudut *steer*, kemudian turun setelah titik puncaknya.
2. Pergeseran posisi *center of gravity* ke arah depan kendaraan akan menyebabkan bertambahnya nilai indeks *understeer* (K_{us}), begitu juga sebaliknya, pergeseran posisi *center of gravity* ke arah belakang akan menyebabkan berkurangnya nilai indeks *understeer* (K_{us}).
3. Dari hasil analisis nilai indeks *understeer* (K_{us}) dan kecepatan karakteristik didapatkan hasil sebagai berikut:
 - a. Nilai indeks *understeer* (K_{us}) paling besar untuk *layout* 1 adalah sebesar 3,855 pada kecepatan 20km/jam di sudut *steer* 11° , dengan nilai kecepatan karakteristik 64,469km/jam.
 - b. Nilai indeks *understeer* (K_{us}) paling besar untuk *layout* 2 adalah sebesar 3,722 pada kecepatan 20km/jam di sudut *steer* 11° , dengan nilai kecepatan karakteristik 65,615km/jam.
 - c. Nilai indeks *understeer* (K_{us}) paling besar untuk *layout* 3 adalah sebesar 3,888 pada kecepatan 20km/jam di sudut *steer* 11° , dengan nilai kecepatan karakteristik 64,2km/jam.

Dari ketiga *layout* diatas, nilai kecepatan yang digunakan masih lebih kecil daripada nilai kecepatan karakteristik. Artinya untuk *layout* 1, *layout* 2, dan *layout* 3 pada kondisi *understeer* paling besar, kendaraan ini masih dapat dikendalikan.

4. Dari hasil analisis skid dan guling didapatkan hasil sebagai berikut:

- a. Untuk *layout 1*, pada kecepatan 40km/jam kendaraan mulai mengalami skid depan di sudut *steer* 18° , pada kecepatan 50km/jam kendaraan mulai mengalami skid depan di sudut *steer* 10° dan skid belakang di sudut *steer* 11° , sedangkan pada kecepatan 60km/jam kendaraan mulai mengalami skid depan dan belakang di sudut *steer* 7° , dan roda 2 terangkat (guling) di sudut *steer* 15° .
 - b. Untuk *layout 2*, pada kecepatan 40km/jam kendaraan mulai mengalami skid depan di sudut *steer* 18° dan skid belakang di sudut *steer* 19° , pada kecepatan 50km/jam kendaraan mulai mengalami skid depan dan skid belakang di sudut *steer* 10° , sedangkan pada kecepatan 60km/jam kendaraan mulai mengalami skid depan di sudut *steer* 10° dan skid belakang di sudut *steer* 12° , dan roda 2 terangkat (guling) di sudut *steer* 13° .
 - c. Untuk *layout 3*, pada kecepatan 40km/jam kendaraan mulai mengalami skid depan di sudut *steer* 18° , pada kecepatan 50km/jam kendaraan mulai mengalami skid depan di sudut *steer* 10° dan skid belakang di sudut *steer* 12° , sedangkan pada kecepatan 60km/jam kendaraan mulai mengalami skid depan di sudut *steer* 7° dan skid belakang di sudut *steer* 8° , dan roda 2 terangkat (guling) di sudut *steer* 17° , serta roda 1 terangkat (guling) di sudut *steer* 19° .
5. Kecepatan jelajah paling aman untuk kendaraan ini adalah sebesar 50km/jam, karena pada kecepatan tersebut kendaraan belum mengalami kondisi guling baik pada *layout 1*, *layout 2*, maupun *layout 3* untuk sudut *steer* 1° hingga 20° .
 6. Dari ketiga *layout* yang direncanakan, *layout* yang terbaik adalah *layout 1* (posisi baterai di tengah dan generator set di depan), dengan ketahanan skid dan guling lebih baik dibanding kedua *layout* lainnya. Dengan demikian *layout*

yang digunakan pada proses *manufacturing* kendaraan adalah *layout* 1.

5.2 Saran

Penelitian ini masih memiliki banyak kekurangan, karenanya penulis mempunyai beberapa saran untuk kelanjutan pengembangan kendaraan hybrid pada umumnya, dan khususnya untuk kendaraan HyVI, antara lain:

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut tentang kekuatan rangka kendaraan ini, sehingga dapat diciptakan kendaraan yang selain stabil, juga kuat secara konstruksi.
2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut tentang handling dari kendaraan
3. Perlu adanya penelitian lebih lanjut tentang manajemen energi dari kendaraan hybrid ini, sehingga sistem hybrid dapat berjalan secara maksimal dan efisien dan dapat membantu mengurangi penggunaan BBM.
4. Perubahan sistem hybrid dari seri ke paralel untuk mengurangi penggunaan space dan mengurangi bobot kendaraan, serta meningkatkan performa kendaraan ditinjau dari kecepatan dan akselerasinya.
5. Perlu dilakukan uji jalan untuk menguji kestabilan dan performa kendaraan ini secara nyata.
6. Pada saat proses *manufacturing* hendaknya peneliti mengontrol kesesuaian antara rancangan dengan proses pengerjaan kendaraan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sutantra, N. & Sampurno, B., 2010, “Teknologi Otomotif Edisi kedua”, Surabaya: Guna Widya.
- [2] Riley, Robert Q., “Dynamic Stability of Three-Wheeled Vehicles in Automotive-Type Applications”,
<<http://www.rqriley.com/3-wheel.htm>> (diakses 5 Desember 2012)
- [3] George, Patrick E., “How Three-wheel Cars Work”,<
<http://auto.howstuffworks.com/three-wheel-car.htm>>
(diakses 6 Desember 2012)
- [4] Veeco, “Veeco RT World Premiere”,
<<http://veeco.pt/en/index.html>> (diakses 6 Desember 2012)
- [5] Society of Automotive Engineer, 2008, “SAE J670-2008 Vehicle Dynamics Terminology”
- [6] Bridgestone, 2007, “Understanding Tyre Markings”

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIOGRAFI PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya pada 8 Mei 1990. Merupakan anak pertama dari 4 (empat) bersaudara. Penulis selama hidupnya telah menempuh pendidikan formal di SD Negeri Alun-alun Contong 1 Surabaya, SMP Negeri 3 Surabaya, dan SMA Negeri 6 Surabaya. Setelah lulus pendidikan SMA tahun 2008, penulis melanjutkan pendidikan tingkat sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya melalui jalur SNMPTN (Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri) dengan pilihan kedua Jurusan Teknik Mesin ITS.

Di jurusan Teknik Mesin ITS, penulis mengambil bidang studi Desain. Selama perkuliahan penulis aktif dalam berbagai kegiatan kemahasiswaan dan tercatat sebagai pengurus aktif LBMM ITS sebagai Anggota Divisi Roda Dua tahun 2010-2011. Penulis juga tergabung dalam ITS Team - Sapuangin untuk mengikuti kompetisi internasional Shell Eco Marathon Asia 2012 di Sepang International Circuit, Malaysia. Serta kembali tergabung dalam Sapuangin Speed Team untuk mengikuti kompetisi SAE Student Formula Japan 2013 di Ogasayama Sports Park, Shizuoka, Jepang. Setelah itu penulis terlibat dalam proyek Mobil Listrik Nasional (Molina) dan pengembangan engine SINJAI (Mesin Jawa Timur). Penulis dapat dihubungi melalui email dengan alamat bagus_kusuma51@yahoo.com

LAMPIRAN

Lampiran A – Analisis Stabilitas tiap Layout

Tabel A1 - Analisis Stabilitas pada Layout 1, Kecepatan 20km/jam									
Steering Angle	Centrifugal Force	Normal Force			Slip Angle		Understeer Index	Characteristic Velocity	
		F_{z1}	F_{z2}	F_{z3}	α_f	α_r		Kus	Vcr
δ_f	F_c	F_{z1}	F_{z2}	F_{z3}	α_f	α_r			m/s
(deg)	(N)	(N)	(N)	(N)	(deg)	(deg)			
1	118.610	1947	1388	1416	0.000	0.000	0.000	n/a	n/a
2	237.219	1946	1375	1431	0.000	0.000	0.000	n/a	n/a
3	355.829	1943	1362	1446	0.000	0.000	0.000	n/a	n/a
4	474.439	1940	1350	1461	0.000	0.000	0.000	n/a	n/a
5	593.048	1936	1338	1477	0.005	0.000	0.041	174.223	627.202
6	711.658	1931	1327	1494	0.152	0.000	0.988	35.381	127.370
7	830.267	1925	1316	1510	0.362	0.000	1.971	25.046	90.165
8	948.877	1918	1305	1528	0.570	0.000	2.665	21.538	77.538
9	1067.487	1911	1295	1545	0.775	0.000	3.175	19.735	71.046
10	1186.096	1902	1286	1563	0.975	0.000	3.559	18.639	67.100
11	1304.706	1893	1277	1582	1.171	0.000	3.855	17.908	64.469
12	1423.316	1882	1269	1601	1.364	0.132	3.729	18.210	65.555
13	1541.925	1871	1261	1620	1.552	0.287	3.553	18.655	67.156
14	1660.535	1859	1253	1640	1.736	0.443	3.388	19.103	68.771
15	1779.145	1846	1246	1660	1.916	0.600	3.233	19.556	70.403
16	1897.754	1832	1240	1680	2.093	0.758	3.086	20.016	72.057
17	2016.364	1817	1234	1701	2.266	0.916	2.947	20.483	73.739
18	2134.973	1801	1229	1722	2.436	1.075	2.815	20.959	75.453
19	2253.583	1784	1224	1743	2.602	1.235	2.688	21.446	77.206
20	2372.193	1766	1220	1765	2.764	1.395	2.567	21.946	79.004

Tabel A2 - Analisis Stabilitas pada Layout 1, Kecepatan 30km/jam									
Steering Angle	Centrifugal Force	Normal Force			Slip Angle		Understeer Index	Characteristic Velocity	
		F_{z1}	F_{z2}	F_{y3}	α_f	α_r		Kus	Vcr
δ_f (deg)	Fc (N)	(N)	(N)	(N)	(deg)	(deg)			(m/s)
1	266.872	1951	1369	1432	0.000	0.000	0.000	n/a	n/a
2	533.743	1948	1339	1465	0.000	0.000	0.000	n/a	n/a
3	800.615	1943	1310	1499	0.321	0.000	1.719	26.821	96.555
4	1067.487	1936	1282	1534	0.796	0.000	2.956	20.453	73.631
5	1334.358	1926	1255	1570	1.257	0.000	3.577	18.593	66.934
6	1601.230	1915	1230	1607	1.702	0.317	3.338	19.246	69.284
7	1868.102	1902	1205	1644	2.131	0.650	3.109	19.942	71.790
8	2134.973	1887	1182	1683	2.546	0.984	2.909	20.615	74.214
9	2401.845	1869	1159	1723	2.949	1.317	2.732	21.272	76.580
10	2668.717	1850	1138	1764	3.340	1.650	2.573	21.920	78.913
11	2935.588	1829	1118	1805	3.719	1.982	2.428	22.565	81.234
12	3202.460	1805	1099	1848	4.089	2.314	2.295	23.212	83.563
13	3469.332	1780	1081	1891	4.449	2.644	2.171	23.866	85.917
14	3736.203	1752	1064	1936	4.800	2.974	2.055	24.532	88.314
15	4003.075	1723	1048	1981	5.143	3.303	1.945	25.214	90.769
16	4269.947	1691	1034	2027	5.477	3.632	1.841	25.917	93.301
17	4536.818	1657	1020	2074	5.804	3.961	1.741	26.646	95.926
18	4803.690	1622	1008	2121	6.123	4.290	1.646	27.407	98.663
19	5070.562	1584	997	2170	6.435	4.618	1.554	28.204	101.533
20	5337.434	1544	988	2219	6.741	4.947	1.466	29.044	104.558

Tabel A3 - Analisis Stabilitas pada Layout 1, Kecepatan 40km/jam												
Steering Angle	Centrifugal Force	Normal Force			Slip Angle		Understeer Index	Characteristic Velocity				
		δ_f	F_c	F_{z1}	F_{z2}	F_{y3}		α_f	α_r	Kus	Vcr	
		(deg)	(N)	(N)	(N)	(N)		(deg)	(deg)		m/s	km/h
1	474.439	1956	1342	1453	0.000	0.000	0.000	n/a	n/a			
2	948.877	1951	1289	1512	0.592	0.000	2.289	23.244	83.678			
3	1423.316	1942	1238	1572	1.421	0.078	3.097	19.981	71.931			
4	1897.754	1929	1188	1634	2.204	0.652	2.800	21.014	75.652			
5	2372.193	1913	1141	1698	2.949	1.226	2.567	21.948	79.014			
6	2846.631	1893	1095	1763	3.660	1.794	2.376	22.812	82.123			
7	3321.070	1869	1052	1830	4.342	2.355	2.214	23.629	85.066			
8	3795.508	1842	1010	1899	5.000	2.911	2.074	24.418	87.906			
9	4269.947	1812	970	1970	5.635	3.462	1.948	25.192	90.692			
10	4744.385	1777	933	2042	6.251	4.008	1.834	25.963	93.465			
11	5218.824	1739	897	2116	6.847	4.552	1.729	26.738	96.258			
12	5693.262	1698	863	2191	7.428	5.092	1.632	27.528	99.101			
13	6167.701	1652	831	2268	7.992	5.631	1.540	28.339	102.021			
14	6642.139	1604	802	2346	8.542	6.167	1.452	29.180	105.048			
15	7116.578	1551	774	2427	9.077	6.703	1.369	30.058	108.209			
16	7591.017	1495	748	2508	9.600	7.238	1.288	30.982	111.535			
17	8065.455	1435	725	2591	10.110	7.773	1.210	31.961	115.060			
18	8539.894	1372	704	2676	10.608	8.307	1.135	33.006	118.822			
19	9014.332	1305	684	2762	11.094	8.842	1.061	34.130	122.868			
20	9488.771	1234	667	2850	11.569	9.376	0.990	35.348	127.252			

Tabel A4 - Analisis Stabilitas pada Layout 1, Kecepatan 50km/jam												
Steering Angle	Centrifugal Force	Normal Force			Slip Angle		Understeer Index	Characteristic Velocity				
		δ_f	Fc	F _{z1}	F _{z2}	F _{y3}		α_f	α_r	Kus	Vcr	
		(deg)	(N)	(N)	(N)	(deg)		(deg)	m/s		km/h	
1	741.310	1963	1307	1481	0.222	0.000	1.164	32.595	117.342			
2	1482.620	1955	1224	1573	1.527	0.134	2.633	21.672	78.019			
3	2223.931	1941	1144	1667	2.736	1.017	2.335	23.011	82.838			
4	2965.241	1921	1067	1763	3.864	1.885	2.121	24.144	86.918			
5	3706.551	1896	993	1863	4.929	2.734	1.955	25.149	90.537			
6	4447.861	1864	922	1965	5.942	3.566	1.818	26.077	93.876			
7	5189.171	1828	854	2070	6.914	4.384	1.701	26.959	97.052			
8	5930.482	1785	789	2178	7.848	5.191	1.598	27.818	100.146			
9	6671.792	1737	727	2288	8.749	5.990	1.504	28.671	103.216			
10	7413.102	1683	668	2401	9.622	6.782	1.418	29.531	106.312			
11	8154.412	1624	612	2516	10.468	7.568	1.337	30.409	109.474			
12	8895.723	1559	559	2634	11.289	8.351	1.261	31.317	112.742			
13	9637.033	1488	509	2754	12.087	9.131	1.188	32.265	116.153			
14	10378.343	1412	463	2877	12.864	9.908	1.117	33.263	119.748			
15	11119.653	1330	420	3002	13.621	10.685	1.049	34.325	123.569			
16	11860.963	1242	380	3129	14.359	11.460	0.983	35.463	127.667			
17	12602.274	1149	343	3259	15.079	12.236	0.918	36.694	132.099			
18	13343.584	1050	310	3392	15.781	13.012	0.855	38.037	136.934			
19	14084.894	946	280	3526	16.466	13.788	0.792	39.517	142.260			
20	14826.204	835	253	3663	17.136	14.566	0.730	41.163	148.185			

Tabel A5 - Analisis Stabilitas pada Layout 1, Kecepatan 60km/jam										
Steering Angle	Centrifugal Force	Normal Force			Slip Angle		Understeer Index	Characteristic Velocity		
		δ_f	Fc	F _{z1}	F _{z2}	F _{y3}		α_f	α_r	Kus
(deg)	(N)	(N)	(N)	(N)	(deg)	(deg)		m/s	km/h	
1	1067.487	1972	1264	1515	0.810	0.000	1.992	24.917	89.700	
2	2134.973	1960	1145	1647	2.603	0.888	2.055	24.532	88.314	
3	3202.460	1939	1030	1782	4.229	2.119	1.838	25.938	93.378	
4	4269.947	1911	919	1922	5.738	3.306	1.683	27.106	97.582	
5	5337.434	1874	812	2065	7.159	4.458	1.561	28.141	101.309	
6	6404.920	1829	710	2212	8.511	5.582	1.460	29.102	104.767	
7	7472.407	1777	612	2363	9.804	6.687	1.372	30.025	108.089	
8	8539.894	1715	518	2518	11.047	7.775	1.292	30.933	111.359	
9	9607.380	1646	428	2677	12.247	8.852	1.219	31.846	114.646	
10	10674.867	1569	344	2839	13.406	9.920	1.151	32.779	118.003	
11	11742.354	1483	263	3005	14.530	10.981	1.086	33.744	121.478	
12	12809.840	1390	187	3175	15.621	12.037	1.024	34.755	125.119	
13	13877.327	1288	116	3348	16.680	13.090	0.963	35.826	128.975	
14	14944.814	1178	49	3525	17.711	14.141	0.905	36.972	133.100	
15	16012.301	1060	-13	3705	18.715	15.190	0.847	38.210	137.556	
16	17079.787	934	-71	3888	19.693	16.240	0.790	39.561	142.418	
17	18147.274	800	-124	4076	20.646	17.290	0.734	41.049	147.775	
18	19214.761	657	-172	4266	21.575	18.341	0.678	42.706	153.743	
19	20282.247	506	-215	4460	22.482	19.394	0.622	44.575	160.469	
20	21349.734	348	-253	4657	23.367	20.449	0.567	46.709	168.152	
Note:		Front wheel roll								

Tabel A6 - Analisis Stabilitas pada Layout 2, Kecepatan 20km/jam									
Steering Angle	Centrifugal Force	Normal Force			Slip Angle		Understeer Index	Characteristic Velocity	
		δ_f	F_c	F_{z1}	F_{z2}	F_{y3}		α_f	α_r
(deg)	(N)	(N)	(N)	(N)	(deg)	(deg)		m/s	km/h
1	118.610	2133	1295	1324	0.000	0.000	0.000	n/a	n/a
2	237.219	2132	1281	1339	0.000	0.000	0.000	n/a	n/a
3	355.829	2129	1268	1354	0.000	0.000	0.000	n/a	n/a
4	474.439	2126	1255	1370	0.000	0.000	0.000	n/a	n/a
5	593.048	2122	1243	1386	0.017	0.000	0.137	94.934	341.763
6	711.658	2118	1231	1403	0.163	0.000	1.059	34.164	122.991
7	830.267	2112	1220	1420	0.362	0.000	1.972	25.042	90.152
8	948.877	2105	1209	1437	0.559	0.000	2.617	21.738	78.256
9	1067.487	2098	1199	1455	0.752	0.000	3.090	20.004	72.013
10	1186.096	2089	1189	1473	0.941	0.000	3.447	18.939	68.182
11	1304.706	2080	1179	1492	1.127	0.000	3.722	18.226	65.615
12	1423.316	2070	1170	1511	1.308	0.093	3.684	18.320	65.953
13	1541.925	2059	1162	1531	1.485	0.257	3.458	18.909	68.071
14	1660.535	2047	1154	1551	1.658	0.422	3.250	19.506	70.223
15	1779.145	2035	1146	1571	1.828	0.589	3.056	20.116	72.417
16	1897.754	2021	1139	1591	1.994	0.757	2.874	20.740	74.664
17	2016.364	2007	1133	1612	2.156	0.925	2.704	21.382	76.975
18	2134.973	1991	1126	1634	2.315	1.094	2.544	22.045	79.362
19	2253.583	1975	1121	1655	2.470	1.263	2.393	22.733	81.838
20	2372.193	1958	1116	1678	2.622	1.433	2.249	23.449	84.418

Tabel A7 - Analisis Stabilitas pada Layout 2, Kecepatan 30km/jam									
Steering Angle	Centrifugal Force	Normal Force			Slip Angle		Understeer Index	Characteristic Velocity	
		F_{z1}	F_{z2}	F_{y3}	α_f	α_r		Kus	Vcr
(deg)	(N)	(N)	(N)	(N)	(deg)	(deg)			m/s
1	266.872	2137	1275	1340	0.000	0.000	0.000	n/a	n/a
2	533.743	2134	1244	1373	0.000	0.000	0.000	n/a	n/a
3	800.615	2129	1215	1408	0.324	0.000	1.734	26.700	96.121
4	1067.487	2122	1186	1443	0.774	0.000	2.888	20.691	74.487
5	1334.358	2113	1158	1480	1.211	0.000	3.471	18.875	67.949
6	1601.230	2102	1132	1517	1.631	0.294	3.246	19.518	70.264
7	1868.102	2090	1106	1556	2.037	0.649	2.947	20.483	73.739
8	2134.973	2075	1082	1595	2.429	1.005	2.692	21.432	77.156
9	2401.845	2058	1058	1635	2.809	1.360	2.470	22.376	80.552
10	2668.717	2039	1036	1677	3.178	1.714	2.273	23.324	83.966
11	2935.588	2019	1014	1719	3.536	2.068	2.096	24.287	87.432
12	3202.460	1996	994	1761	3.884	2.420	1.936	25.275	90.989
13	3469.332	1971	975	1805	4.222	2.771	1.788	26.298	94.672
14	3736.203	1945	957	1850	4.552	3.121	1.651	27.367	98.521
15	4003.075	1916	940	1895	4.874	3.471	1.523	28.495	102.581
16	4269.947	1886	924	1942	5.187	3.820	1.402	29.695	106.902
17	4536.818	1853	909	1989	5.493	4.168	1.288	30.985	111.545
18	4803.690	1819	896	2037	5.792	4.516	1.179	32.384	116.581
19	5070.562	1782	883	2086	6.084	4.863	1.075	33.917	122.102
20	5337.434	1744	872	2136	6.369	5.211	0.975	35.618	128.223

Tabel A8 - Analisis Stabilitas pada Layout 2, Kecepatan 40km/jam									
Steering Angle	Centrifugal Force	Normal Force			Slip Angle		Understeer Index	Characteristic Velocity	
δ_f	F _c	F _{z1}	F _{z2}	F _{y3}	α_f	α_r	Kus	V _{cr}	
(deg)	(N)	(N)	(N)	(N)	(deg)	(deg)		m/s	km/h
1	474.439	2143	1247	1362	0.000	0.000	0.000	n/a	n/a
2	948.877	2137	1193	1422	0.582	0.000	2.257	23.403	84.252
3	1423.316	2129	1140	1483	1.367	0.040	3.071	20.065	72.234
4	1897.754	2116	1089	1546	2.109	0.654	2.671	21.516	77.458
5	2372.193	2101	1040	1611	2.813	1.267	2.365	22.865	82.313
6	2846.631	2081	992	1678	3.485	1.874	2.120	24.148	86.934
7	3321.070	2059	947	1746	4.130	2.473	1.917	25.398	91.432
8	3795.508	2032	903	1816	4.751	3.066	1.742	26.638	95.898
9	4269.947	2002	861	1888	5.350	3.652	1.589	27.893	100.413
10	4744.385	1969	822	1961	5.930	4.234	1.452	29.181	105.051
11	5218.824	1932	784	2036	6.492	4.812	1.327	30.524	109.886
12	5693.262	1892	748	2112	7.038	5.386	1.212	31.944	114.998
13	6167.701	1848	714	2190	7.568	5.958	1.104	33.465	120.475
14	6642.139	1801	681	2269	8.085	6.527	1.003	35.118	126.424
15	7116.578	1750	651	2350	8.587	7.095	0.906	36.938	132.977
16	7591.017	1696	623	2433	9.077	7.661	0.814	38.973	140.304
17	8065.455	1638	597	2517	9.554	8.227	0.725	41.287	148.633
18	8539.894	1577	573	2602	10.020	8.792	0.640	43.967	158.281
19	9014.332	1512	551	2689	10.474	9.356	0.556	47.142	169.711
20	9488.771	1443	531	2777	10.917	9.921	0.475	51.009	183.631

Tabel A9 - Analisis Stabilitas pada Layout 2, Kecepatan 50km/jam									
Steering Angle	Centrifugal Force	Normal Force			Slip Angle		Understeer Index	Characteristic Velocity	
		δ_f	Fc	F _{z1}	F _{z2}	F _{y3}		α_f	α_r
(deg)	(N)	(N)	(N)	(N)	(deg)	(deg)		m/s	km/h
1	741.310	2150	1211	1390	0.231	0.000	1.202	32.073	115.462
2	1482.620	2142	1126	1484	1.469	0.101	2.603	21.793	78.456
3	2223.931	2128	1044	1580	2.613	1.046	2.200	23.709	85.354
4	2965.241	2109	964	1679	3.681	1.975	1.916	25.406	91.460
5	3706.551	2084	887	1780	4.687	2.883	1.700	26.971	97.097
6	4447.861	2054	813	1884	5.646	3.772	1.525	28.470	102.491
7	5189.171	2019	742	1991	6.563	4.645	1.379	29.947	107.809
8	5930.482	1978	674	2100	7.444	5.505	1.251	31.440	113.185
9	6671.792	1931	609	2212	8.295	6.355	1.137	32.983	118.740
10	7413.102	1879	546	2326	9.117	7.197	1.032	34.608	124.590
11	8154.412	1821	487	2443	9.913	8.033	0.936	36.351	130.864
12	8895.723	1758	431	2562	10.686	8.864	0.845	38.254	137.713
13	9637.033	1690	377	2684	11.436	9.691	0.759	40.367	145.323
14	10378.343	1616	327	2808	12.166	10.515	0.676	42.760	153.937
15	11119.653	1537	280	2935	12.876	11.336	0.597	45.526	163.894
16	11860.963	1452	236	3063	13.567	12.157	0.519	48.800	175.681
17	12602.274	1361	195	3195	14.240	12.976	0.444	52.791	190.048
18	13343.584	1266	158	3328	14.897	13.795	0.370	57.840	208.222
19	14084.894	1164	123	3464	15.536	14.614	0.297	64.557	232.405
20	14826.204	1058	92	3602	16.160	15.434	0.225	74.185	267.067

Tabel A10 - Analisis Stabilitas pada Layout 2, Kecepatan 60km/jam									
Steering Angle	Centrifugal Force	Normal Force			Slip Angle		Understeer Index	Characteristic Velocity	
		δ_f	Fc	F _{z1}	F _{z2}	F _{y3}		α_f	α_r
(deg)	(N)	(N)	(N)	(N)	(deg)	(deg)		m/s	km/h
1	1067.487	2159	1168	1425	0.789	0.000	1.963	25.097	90.348
2	2134.973	2147	1045	1560	2.488	0.910	1.963	25.096	90.345
3	3202.460	2127	926	1698	4.028	2.228	1.669	27.220	97.991
4	4269.947	2100	811	1840	5.455	3.499	1.462	29.080	104.687
5	5337.434	2064	701	1987	6.799	4.730	1.303	30.804	110.893
6	6404.920	2021	594	2137	8.077	5.931	1.173	32.472	116.900
7	7472.407	1970	492	2290	9.298	7.108	1.061	34.144	122.919
8	8539.894	1911	393	2447	10.471	8.268	0.961	35.867	129.123
9	9607.380	1844	299	2608	11.602	9.414	0.870	37.688	135.676
10	10674.867	1769	210	2773	12.695	10.549	0.786	39.654	142.754
11	11742.354	1686	124	2941	13.752	11.676	0.707	41.823	150.563
12	12809.840	1595	43	3113	14.778	12.796	0.631	44.267	159.363
13	13877.327	1497	-33	3288	15.774	13.912	0.558	47.086	169.509
14	14944.814	1390	-106	3467	16.742	15.024	0.486	50.419	181.508
15	16012.301	1276	-173	3649	17.683	16.134	0.417	54.483	196.139
16	17079.787	1154	-237	3835	18.599	17.243	0.348	59.632	214.677
17	18147.274	1024	-295	4023	19.490	18.351	0.280	66.504	239.413
18	19214.761	886	-350	4216	20.359	19.459	0.212	76.398	275.033
19	20282.247	740	-399	4411	21.205	20.568	0.144	92.568	333.244
20	21349.734	586	-444	4610	22.029	21.678	0.077	126.939	456.979

Note: Front wheel roll

Tabel A11 - Analisis Stabilitas pada Layout 3, Kecepatan 20km/jam									
Steering Angle	Centrifugal Force	Normal Force			Slip Angle		Understeer Index	Characteristic Velocity	
		F_{z1}	F_{z2}	F_{y3}	α_f	α_r		Kus	Vcr
δ_f	F_c	F_{z1}	F_{z2}	F_{y3}	α_f	α_r			m/s
(deg)	(N)	(N)	(N)	(N)	(deg)	(deg)			
1	118.610	1536	1592	1623	0.000	0.000	0.000	n/a	n/a
2	237.219	1535	1578	1639	0.000	0.000	0.000	n/a	n/a
3	355.829	1532	1564	1655	0.000	0.000	0.000	n/a	n/a
4	474.439	1529	1551	1672	0.000	0.000	0.000	n/a	n/a
5	593.048	1524	1538	1689	0.000	0.000	0.000	n/a	n/a
6	711.658	1519	1526	1707	0.122	0.000	0.802	39.276	141.394
7	830.267	1512	1514	1726	0.357	0.000	1.944	25.217	90.779
8	948.877	1504	1503	1744	0.589	0.000	2.748	21.210	76.358
9	1067.487	1496	1492	1764	0.818	0.000	3.337	19.248	69.294
10	1186.096	1486	1482	1783	1.042	0.000	3.782	18.082	65.094
11	1304.706	1475	1472	1804	1.263	0.080	3.888	17.833	64.200
12	1423.316	1464	1464	1824	1.479	0.212	3.826	17.978	64.719
13	1541.925	1451	1455	1845	1.691	0.345	3.758	18.139	65.301
14	1660.535	1437	1447	1867	1.898	0.480	3.686	18.314	65.930
15	1779.145	1423	1440	1889	2.102	0.615	3.613	18.499	66.595
16	1897.754	1407	1434	1911	2.302	0.752	3.539	18.692	67.292
17	2016.364	1390	1428	1934	2.498	0.889	3.464	18.893	68.015
18	2134.973	1372	1423	1957	2.691	1.028	3.389	19.101	68.762
19	2253.583	1353	1418	1980	2.880	1.166	3.315	19.314	69.531
20	2372.193	1334	1414	2004	3.066	1.306	3.240	19.534	70.321

Tabel A12 - Analisis Stabilitas pada Layout 3, Kecepatan 30km/jam									
Steering Angle	Centrifugal Force	Normal Force			Slip Angle		Understeer Index	Characteristic Velocity	
δ_f	Fc	F _{z1}	F _{z2}	F _{y3}	α_f	α_r	Kus	Vcr	
(deg)	(N)	(N)	(N)	(N)	(deg)	(deg)		m/s	km/h
1	266.872	1540	1572	1640	0.000	0.000	0.000	n/a	n/a
2	533.743	1537	1539	1676	0.000	0.000	0.000	n/a	n/a
3	800.615	1531	1508	1713	0.309	0.000	1.664	27.262	98.143
4	1067.487	1523	1478	1751	0.839	0.000	3.086	20.017	72.063
5	1334.358	1513	1449	1790	1.352	0.078	3.617	18.490	66.564
6	1601.230	1500	1421	1830	1.849	0.357	3.545	18.676	67.232
7	1868.102	1485	1395	1871	2.329	0.640	3.461	18.900	68.041
8	2134.973	1468	1370	1914	2.794	0.924	3.374	19.143	68.916
9	2401.845	1449	1346	1957	3.246	1.209	3.287	19.396	69.826
10	2668.717	1427	1323	2001	3.685	1.493	3.201	19.654	70.756
11	2935.588	1403	1302	2047	4.112	1.778	3.117	19.917	71.702
12	3202.460	1377	1282	2093	4.528	2.062	3.035	20.183	72.660
13	3469.332	1348	1263	2141	4.934	2.347	2.956	20.453	73.632
14	3736.203	1317	1246	2189	5.331	2.632	2.878	20.727	74.617
15	4003.075	1284	1229	2238	5.719	2.917	2.802	21.005	75.617
16	4269.947	1249	1215	2288	6.098	3.203	2.729	21.287	76.634
17	4536.818	1211	1202	2339	6.470	3.489	2.656	21.575	77.670
18	4803.690	1171	1190	2391	6.833	3.776	2.585	21.869	78.727
19	5070.562	1129	1179	2444	7.190	4.063	2.516	22.168	79.806
20	5337.434	1084	1170	2498	7.539	4.351	2.448	22.475	80.911

Tabel A13 - Analisis Stabilitas pada Layout 3, Kecepatan 40km/jam									
Steering Angle	Centrifugal Force	Normal Force			Slip Angle		Understeer Index	Characteristic Velocity	
		δ_f	Fc	F _{z1}	F _{z2}	F _{y3}		α_f	α_r
(deg)	(N)	(N)	(N)	(N)	(deg)	(deg)		m/s	km/h
1	474.439	1545	1542	1664	0.000	0.000	0.000	n/a	n/a
2	948.877	1539	1485	1728	0.611	0.000	2.343	22.973	82.703
3	1423.316	1529	1429	1793	1.533	0.149	3.161	19.776	71.195
4	1897.754	1515	1376	1861	2.407	0.633	3.077	20.047	72.170
5	2372.193	1497	1324	1931	3.238	1.118	2.983	20.360	73.295
6	2846.631	1474	1275	2002	4.033	1.598	2.892	20.678	74.442
7	3321.070	1448	1228	2075	4.797	2.074	2.805	20.995	75.583
8	3795.508	1417	1183	2151	5.534	2.547	2.723	21.309	76.712
9	4269.947	1383	1141	2228	6.247	3.017	2.645	21.620	77.832
10	4744.385	1344	1101	2307	6.939	3.485	2.571	21.930	78.947
11	5218.824	1301	1063	2387	7.611	3.952	2.500	22.240	80.063
12	5693.262	1255	1027	2470	8.265	4.418	2.431	22.551	81.184
13	6167.701	1204	994	2554	8.902	4.883	2.365	22.865	82.315
14	6642.139	1149	963	2640	9.523	5.349	2.300	23.184	83.461
15	7116.578	1090	934	2727	10.130	5.815	2.238	23.507	84.624
16	7591.017	1027	908	2816	10.723	6.281	2.176	23.836	85.810
17	8065.455	960	885	2907	11.303	6.749	2.116	24.173	87.021
18	8539.894	889	863	2999	11.871	7.218	2.057	24.517	88.262
19	9014.332	814	845	3093	12.426	7.689	1.999	24.871	89.537
20	9488.771	734	829	3189	12.970	8.161	1.941	25.236	90.849

Tabel A14 - Analisis Stabilitas pada Layout 3, Kecepatan 50km/jam									
Steering Angle	Centrifugal Force	Normal Force			Slip Angle		Understeer Index	Characteristic Velocity	
		δ_f	Fc	F _{z1}	F _{z2}	F _{y3}		α_f	α_r
(deg)	(N)	(N)	(N)	(N)	(deg)	(deg)		m/s	km/h
1	741.310	1552	1505	1695	0.199	0.000	1.063	34.108	122.789
2	1482.620	1543	1415	1794	1.651	0.193	2.703	21.390	77.002
3	2223.931	1527	1328	1897	2.998	0.934	2.612	21.757	78.324
4	2965.241	1505	1244	2003	4.256	1.665	2.520	22.150	79.741
5	3706.551	1476	1164	2111	5.446	2.381	2.436	22.529	81.104
6	4447.861	1441	1087	2223	6.580	3.084	2.360	22.891	82.409
7	5189.171	1400	1014	2338	7.668	3.779	2.289	23.241	83.669
8	5930.482	1352	944	2455	8.715	4.467	2.223	23.583	84.898
9	6671.792	1298	878	2576	9.727	5.150	2.161	23.920	86.110
10	7413.102	1238	815	2699	10.708	5.829	2.102	24.254	87.315
11	8154.412	1171	755	2825	11.660	6.506	2.045	24.589	88.520
12	8895.723	1098	700	2954	12.586	7.183	1.990	24.926	89.733
13	9637.033	1019	648	3085	13.488	7.859	1.937	25.267	90.960
14	10378.343	933	599	3219	14.367	8.536	1.885	25.613	92.207
15	11119.653	841	555	3356	15.225	9.214	1.834	25.966	93.479
16	11860.963	742	514	3495	16.063	9.893	1.784	26.328	94.782
17	12602.274	637	477	3637	16.882	10.575	1.734	26.700	96.120
18	13343.584	526	444	3782	17.682	11.259	1.686	27.083	97.499
19	14084.894	409	415	3928	18.466	11.946	1.637	27.479	98.924
20	14826.204	285	390	4077	19.232	12.636	1.590	27.889	100.401

Tabel A15 - Analisis Stabilitas pada Layout 3, Kecepatan 60km/jam										
Steering Angle	Centrifugal Force	Normal Force			Slip Angle		Understeer Index	Characteristic Velocity		
δ_f	Fc	F _{z1}	F _{z2}	F _{y3}	α_f	α_r	Kus	Vcr		
(deg)	(N)	(N)	(N)	(N)	(deg)	(deg)		m/s	km/h	
1	1067.487	1560	1459	1732	0.851	0.000	2.047	24.580	88.487	
2	2134.973	1547	1329	1876	2.847	0.822	2.240	23.496	84.586	
3	3202.460	1524	1204	2023	4.661	1.854	2.152	23.972	86.300	
4	4269.947	1492	1084	2176	6.345	2.852	2.075	24.409	87.874	
5	5337.434	1451	968	2332	7.934	3.823	2.008	24.812	89.324	
6	6404.920	1400	858	2493	9.446	4.775	1.948	25.192	90.690	
7	7472.407	1341	752	2658	10.895	5.714	1.893	25.556	92.001	
8	8539.894	1272	651	2828	12.289	6.643	1.842	25.911	93.279	
9	9607.380	1195	556	3001	13.635	7.565	1.793	26.261	94.539	
10	10674.867	1108	465	3179	14.939	8.484	1.746	26.609	95.793	
11	11742.354	1012	380	3360	16.205	9.400	1.701	26.959	97.052	
12	12809.840	906	300	3546	17.435	10.315	1.657	27.312	98.324	
13	13877.327	792	225	3735	18.632	11.231	1.615	27.671	99.617	
14	14944.814	668	155	3928	19.798	12.148	1.573	28.038	100.936	
15	16012.301	536	91	4125	20.936	13.068	1.531	28.414	102.289	
16	17079.787	394	32	4325	22.046	13.990	1.491	28.801	103.682	
17	18147.274	243	-21	4530	23.131	14.917	1.450	29.200	105.121	
18	19214.761	83	-69	4737	24.191	15.847	1.410	29.614	106.612	
19	20282.247	-86	-111	4949	25.228	16.782	1.370	30.045	108.162	
20	21349.734	-265	-147	5163	26.242	17.723	1.330	30.494	109.778	
Note:		Front wheel roll			Rear wheel roll					

Tabel B2 - Analisis Skid & Guling pada Kecepatan 30km/jam

V=30km/h	Layout 1			Layout 2			Layout 3		
	Skid		Rolling	Skid		Rolling	Skid		Rolling
	Depan	Belakang		Depan	Belakang		Depan	Belakang	
1	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe
2	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe
3	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe
4	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe
5	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe
6	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe
7	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe
8	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe
9	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe
10	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe
11	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe
12	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe
13	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe
14	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe
15	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe
16	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe
17	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe
18	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe
19	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe
20	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe

Tabel B3 - Analisis Skid & Guling pada Kecepatan 40km/jam

V=40km/h	Layout 1			Layout 2			Layout 3		
	Skid		Rolling	Skid		Rolling	Skid		Rolling
	Depan	Belakang		Depan	Belakang		Depan	Belakang	
1	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe
2	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe
3	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe
4	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe
5	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe
6	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe
7	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe
8	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe
9	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe
10	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe
11	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe
12	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe
13	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe
14	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe
15	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe
16	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe
17	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe
18	Skid	Safe	Safe	Skid	Safe	Safe	Skid	Safe	Safe
19	Skid	Safe	Safe	Skid	Skid	Safe	Skid	Safe	Safe
20	Skid	Safe	Safe	Skid	Skid	Safe	Skid	Safe	Safe

Tabel B4 - Analisis Skid & Guling pada Kecepatan 50km/jam

V=50km/h	Layout 1			Layout 2			Layout 3		
	Skid		Rolling	Skid		Rolling	Skid		Rolling
	Depan	Belakang		Depan	Belakang		Depan	Belakang	
1	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe
2	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe
3	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe
4	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe
5	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe
6	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe
7	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe
8	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe
9	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe
10	Skid	Safe	Safe	Skid	Skid	Safe	Skid	Safe	Safe
11	Skid	Skid	Safe	Skid	Skid	Safe	Skid	Safe	Safe
12	Skid	Skid	Safe	Skid	Skid	Safe	Skid	Skid	Safe
13	Skid	Skid	Safe	Skid	Skid	Safe	Skid	Skid	Safe
14	Skid	Skid	Safe	Skid	Skid	Safe	Skid	Skid	Safe
15	Skid	Skid	Safe	Skid	Skid	Safe	Skid	Skid	Safe
16	Skid	Skid	Safe	Skid	Skid	Safe	Skid	Skid	Safe
17	Skid	Skid	Safe	Skid	Skid	Safe	Skid	Skid	Safe
18	Skid	Skid	Safe	Skid	Skid	Safe	Skid	Skid	Safe
19	Skid	Skid	Safe	Skid	Skid	Safe	Skid	Skid	Safe
20	Skid	Skid	Safe	Skid	Skid	Safe	Skid	Skid	Safe

Tabel B5 - Analisis Skid & Guling pada Kecepatan 60km/jam

V=60km/h	Layout 1			Layout 2			Layout 3		
	Skid		Rolling	Skid		Rolling	Skid		Rolling
	Depan	Belakang		Depan	Belakang		Depan	Belakang	
1	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe
2	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe
3	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe
4	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe
5	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Skid	Skid	Safe
6	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Safe	Skid	Skid	Safe
7	Skid	Skid	Safe	Skid	Skid	Safe	Skid	Skid	Safe
8	Skid	Skid	Safe	Skid	Skid	Safe	Skid	Skid	Safe
9	Skid	Skid	Safe	Skid	Skid	Safe	Skid	Skid	Safe
10	Skid	Skid	Safe	Skid	Skid	Safe	Skid	Skid	Safe
11	Skid	Skid	Safe	Skid	Skid	Safe	Skid	Skid	Safe
12	Skid	Skid	Safe	Skid	Skid	Safe	Skid	Skid	Safe
13	Skid	Skid	Safe	Skid	Skid	Rolling 2	Skid	Skid	Safe
14	Skid	Skid	Safe	Skid	Skid	Rolling 2	Skid	Skid	Safe
15	Skid	Skid	Rolling 2	Skid	Skid	Rolling 2	Skid	Skid	Safe
16	Skid	Skid	Rolling 2	Skid	Skid	Rolling 2	Skid	Skid	Safe
17	Skid	Skid	Rolling 2	Skid	Skid	Rolling 2	Skid	Skid	Rolling 2
18	Skid	Skid	Rolling 2	Skid	Skid	Rolling 2	Skid	Skid	Rolling 2
19	Skid	Skid	Rolling 2	Skid	Skid	Rolling 2	Skid	Skid	Rolling 1&2
20	Skid	Skid	Rolling 2	Skid	Skid	Rolling 2	Skid	Skid	Rolling 1&2