



**PENGARUH SUDUT SLIP (*SLIP ANGLE*) TERHADAP
ROLLING RESISTANCE BAN TIPE 90/90-14 M/C 46P**

SKRIPSI

Oleh

**Muhammad Luqman Al Hakim
NIM 121910101087**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2016**



**PENGARUH SUDUT SLIP (*SLIP ANGLE*) TERHADAP
ROLLING RESISTANCE BAN TIPE 90/90-14 M/C 46P**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

**Muhammad Luqman Al Hakim
NIM 121910101087**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2016**

PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan puji syukur kepada Allah SWT serta dengan tulus ikhlas dan segala kerendahan hati skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Ibunda Nadhifah, Ayahanda Aminin yang tercinta atas semua cinta, kasih sayang, doa, pengorbanan, , dan dukungan selama ini;
2. Semua anggota keluarga atas doa dan dukungannya;
3. Guru-guru TK, MI, MTs, SMA sampai Perguruan Tinggi;
4. Keluarga Tim Mobil Listrik TITEN Universitas Jember yang telah memberikan dukungan dan motivasi;
5. Saudara Teknik Mesin 2012 yang telah memberikan motivasi dan doanya;
6. Almamater Universitas Jember yang saya banggakan;
7. Rakyat Indonesia melalui program beasiswa BIDIKMISI yang telah membiayai perkuliahan selama 4 tahun di Universitas Jember;
8. Seluruh teman-teman seperjuangan selama kuliah di Jember.

MOTTO

‘Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman di antara kamu dan orang-orang yang dibri ilmu pengetahuan beberapa derajat.
(Terjemahan Surat *Al-Mujadalah* ayat 11)

Sebaik-baik manusia adalah orang yang paling bermanfaat bagi manusia lainnya.
(HR. Thabrani dan Daruquthni)

Jika kamu ingin mengetahui rahasia alam semesta, berfikirilah dalam hal energi, frekuensi, dan vibrasi.
(Nikola Tesla)

Kegagalan hanya akan terjadi bila kita menyerah.
(BJ Habibie)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Luqman Al Hakim

NIM : 121910101087

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Pengaruh Sudut Slip (*Slip Angle*) terhadap *Rolling Resistance* Ban Tipe 90/90-14 M/C 46P” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 09 Desember 2016

Yang menyatakan,

(Muhammad Luqman Al Hakim)

NIM 121910101087

SKRIPSI

**PENGARUH SUDUT SLIP (*SLIP ANGLE*) TERHADAP *ROLLING*
RESISTANCE BAN TIPE 90/90-14 M/C 46P**

Oleh

Muhammad Luqman Al Hakim
NIM 121910101087

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Gaguk Djatisukanto, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Ir. Ahmad Syuhri, M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh Sudut Slip (*Slip Angle*) terhadap *Rolling Resistance* Ban Tipe 90/90-14 M/C 46P ” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Jumat, 09 Desember 2016

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua,

Sekretaris,

Dr. Gaguk Djatisukamto, S.T., M.T.
NIP 19690209 199802 1 001

Ir. Ahmad Syuhri, M.T.
NIP 19670123 199702 1 001

Anggota I,

Anggota II,

Dr. Agus Triono, S.T., M.T.
NIP 19700807 200212 1 001

Hary Sutjahjono, S.T., M.T.
NIP 19681205 199702 1 002

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM.
NIP. 196612151995032001

RINGKASAN

Pengaruh Sudut Slip (*Slip Angle*) terhadap *Rolling Resistance* Ban Tipe 90/90-14 M/C 46P; Muhammad Luqman Al Hakim, 121910101087; 2016: 53 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Kendaraan hemat bahan bakar dikembangkan terus-menerus agar diperoleh efek gas buang yang ramah lingkungan. Efisiensi bahan bakar dipengaruhi tiga faktor, yaitu: massa kendaraan (*mass*), hambatan aerodinamis (*aerodynamic resistance*), tahanan gelinding (*rolling resistance*).

Rolling resistance adalah gaya yang digunakan roda untuk melawan arah gerakan, setara dengan gaya yang dibutuhkan untuk menggerakkan roda bergerak maju. Sudut slip roda (*slip angle*) berpengaruh terhadap nilai *rolling resistance* ban. Sudut slip roda adalah sudut antara sumbu memanjang roda dengan arah gerakan roda. Roda berbelok pada jalan akan memiliki sudut slip (*slip angle*) dan nilai *rolling resistance*nya akan meningkat secara signifikan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh sudut slip (*slip angle*) terhadap *rolling resistance* ban tipe 90/90-14 M/C 46P. Penelitian ini menganalisis pengaruh variasi perubahan sudut slip (*slip angle*) sebesar 0°, 2°, 4°, 6°, 8°, 10°, dan 12°. Metode eksperimental digunakan untuk menemukan pengaruh sudut slip terhadap nilai-nilai seperti Gaya *Rolling Resistance Standar*, Koefisien *Rolling Resistance* serta luas kontak ban.

Perubahan sudut slip (*slip angle*) akan menaikkan nilai gaya *rolling resistance* dari ban tipe 90/90-14 M/C 46P. Gaya *rolling resistance* tertinggi terjadi pada sudut slip terbesar yaitu pada sudut 12° dengan nilai gaya *rolling resistance* sebesar 19,933 N pada beban normal 1011 N. Nilai Koefisien *Rolling Resistance* sebanding dengan nilai gaya *rolling resistance*nya. Nilai terbesar koefisien *rolling resistance* juga

terjadi pada sudut 12° dengan nilai 2,032%. Luas kontak ban paling besar didapatkan pada sudut 12° dengan nilai sebesar $4645,673 \text{ mm}^2$.



SUMMARY

THE EFFECT OF SLIP ANGLE ON ROLLING RESISTANCE OF 90/90-14 M/C 46P-TYPE TIRE; Muhammad Luqman Al Hakim, 121910101087; 2016; 61 page ;
Departement of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

Fuel-efficient vehicles is developed continously in order to obtained the effect of exhaust gases that are environmentally friendly. Fuel efficiency is influence by three factors: vehicle mass, aerodynamic resistance and rolling resistance.

Rolling resistance is a force applied to wheel against with the direction of movement, while a force is required to move the wheel forward. Wheel slip angle effects on the value of tires rolling resistance. Slip angle is the angle between the longitudinal axis of the wheel with the direction of wheel movement. The wheel turn in the road will have a slip angle and the value of rolling resistance will increase significantly.

This study aims to determine the effect of slip angle on rolling resistance of 90/90-14 M/C 46P type tire. This study analyzes the influence of variation of slip angle: 0 °, 2 °, 4 °, 6 °, 8 °, 10 ° and 12 °. The experimental method is used to find the effect of slip angle on the value of Standard Rolling Resistance Force, Rolling Resistance Coefficient, and tire contact area.

Change of slip angle will increase the value of the Standard Rolling Resistance Force of 90/90-14 M/C 46P type tire. The highest rolling resistance force is in the largest slip angle (12°) with 19,933 N at the normal load of 1011 N. Rolling Resistance Coefficient is proportional to the rolling resistance force. The highest Rolling Resistance Coefficient also occurs at the angle of 12° with 2,032%. The largest tire contact area is obtained at an angle of 12° with 4645,673mm².

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Pengaruh Sudut Slip (*Slip Angle*) terhadap Rolling Resistance Ban Tipe 90/90-14 M/C 46P”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Bapak Hari Arbiantara, S.T.,M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember;
3. Bapak Dr. Gaguk Djatisukamto, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
4. Bapak Ir. Ahmad Syuhri,M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota dan Dosen Pembimbing Akademik yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini serta memberikan pengarahan selama masa kuliah;
5. Bapak Dr. Agus Triono, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji I yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
6. Bapak Hary Sutjahjono, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji II yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
7. Bapak Muh. Nurkoyim, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Tim Mobil Listrik TITEN Universitas Jember;
8. Ibu Nadhifah dan Bapak Aminin yang telah menjadi orang tua yang sangat baik dalam hal mendidik, memberi nasehat demi kehidupan penulis yang lebih baik, selalu memberikan kasih sayang, perhatian, materi, dan serta doa yang selalu beliau haturkan setiap saat untuk penulis dan keluarga;

9. Kakak Laki-laki Aris Thofira dan Kakak Perempuan Dwi Nurfarida yang senantiasa memberikan dorongan dan doanya demi terselesaikannya masa kuliah penulis;
10. Keponakan penulis, Delshady Haidar Akhundzada yang selalu menghadirkan keceriaan dalam keluarga.
11. Dosen-Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah membimbing penulis selama menjadi mahasiswa;
12. Teman-teman kos danau toba 90: Ifan Alex, Roni, Ivan Jhon, Rendi yang selalu menghibur dan menemani saat suka dan duka;
13. Tim Mobil Listrik TITEN yang memberikan banyak pembelajaran dan pengalaman berharga bagi penulis;
14. Teman-teman Mahasiswa Teknik Mesin khususnya Teknik Mesin 2012;
15. Teman-teman penggiat Jamiyah Sholawat Al Banjari Universitas Jember;
16. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat

Jember, 07 Desember 2016

Penulis

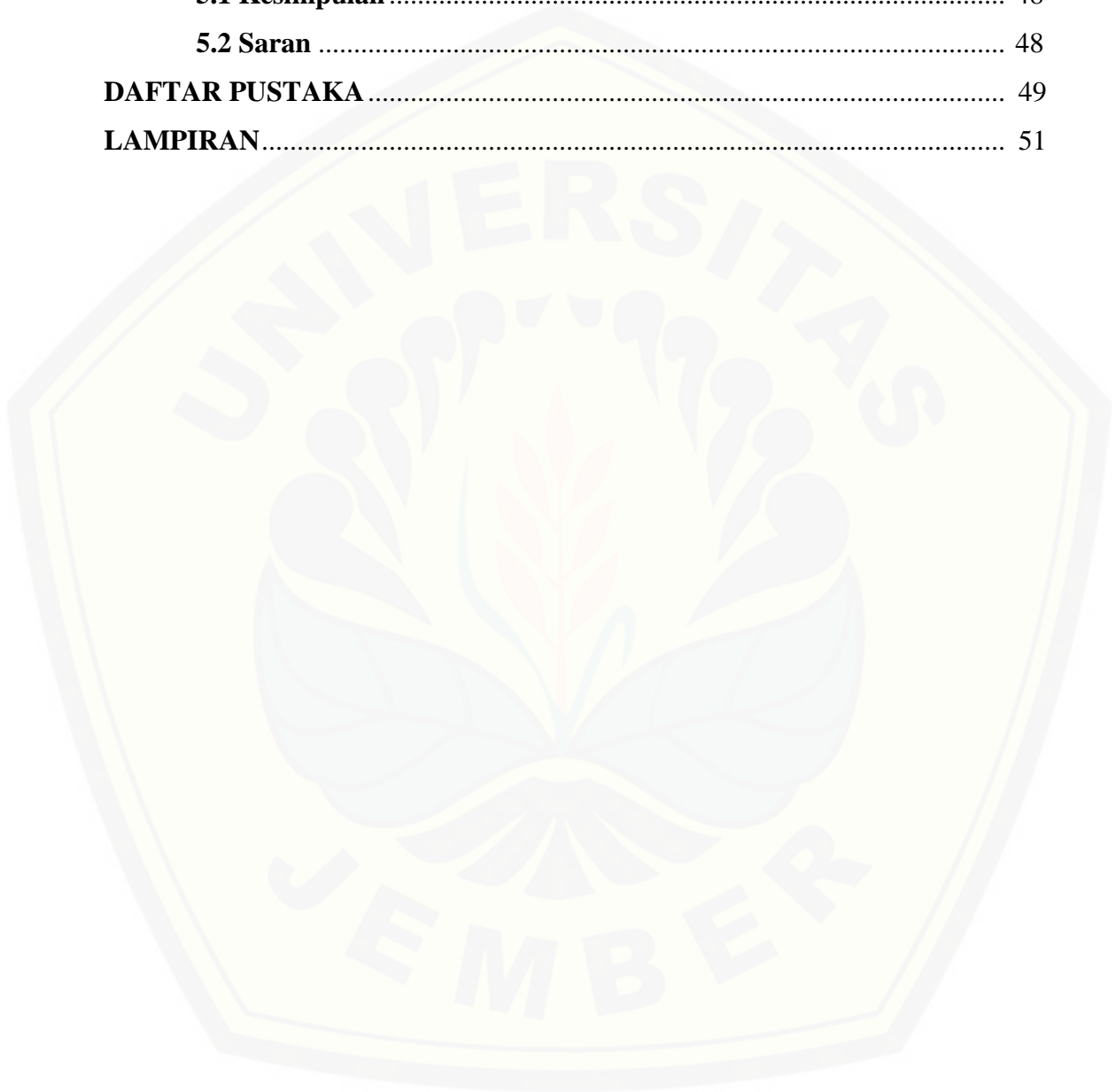
DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
PERSEMBAHAN	iii
MOTTO	iv
PERNYATAAN	v
PEMBIMBINGAN	vi
PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	x
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xviii
BAB 1. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan dan Manfaat	4
1.4.1 Tujuan.....	4
1.4.2 Manfaat	5
1.5 Hipotesis	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Ban	6
2.1.1 Fungsi ban.....	6
2.1.2 Tipe-tipe ban	6
2.1.3 Bagian-bagian utama ban dan fungsinya.	8

2.1.4 Sistem kode spesifikasi ban	10
2.1.5 Gaya-gaya pada ban.....	13
2.2 Rolling Resistance (RR)	15
2.2.1 Konsep dasar <i>rolling resistance</i>	15
2.2.2 Faktor yang mempengaruhi <i>rolling resistance</i>	17
2.3 Permukaan Jalan.....	18
2.4 Sudut Slip (<i>Slip Angle</i>)	20
2.4.1 Skema kemudi statis	21
2.4.2 Skema kemudi dinamis.....	22
2.5 Pengujian <i>Rolling Resistance</i>	24
2.5.1 Metode pengujian <i>rolling resistance</i>	24
2.5.2 Pengujian standar ISO 18164: 2005	26
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Waktu dan Tempat	32
3.2 Alat dan Bahan.....	32
3.2.1 Alat.....	32
3.2.2 Bahan	32
3.3 Variabel Penelitian.....	32
3.3.1 Variabel bebas.....	32
3.3.2 Variable kontrol	33
3.4 Prosedur Penelitian.....	33
3.4.1 Metode pengujian	33
3.4.2 Langkah pengujian.....	33
3.5 Pengambilan Data Pengujian.....	36
3.6 Diagram Alir Penelitian	37
BAB 4. PEMBAHASAN	
4.1 Tinjauan Umum	38
4.1 Data dan Hasil Pengujian.....	38
4.3 Analisis Data dan Pembahasan.....	41

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan	48
5.2 Saran	48
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN	51



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ban berdasarkan struktur.....	8
Gambar 2.2 Bagian-bagian utama ban.....	10
Gambar 2.3 Sistem kode spesifikasi ban	11
Gambar 2.4 Gaya yang bekerja pada ban.....	14
Gambar 2.5 Skema <i>rolling resistance</i>	15
Gambar 2.6 Skema lebar tapak ban.....	16
Gambar 2.7 Skema gaya berat, gaya gesek, dan <i>rolling resistance</i>	17
Gambar 2.8 Tampak atas dari ban dan pengukuran <i>slip angle</i> ban.....	20
Gambar 2.9 <i>Slip angle</i> terhadap koefisien <i>rolling resistance</i>	21
Gambar 2.10 Ketentuan geometri untuk sudut slip nol dari roda yang berputar selama kecepatan rendah.....	21
Gambar 2.11 Hubungan antara sudut potong roda, sudut slip dan posisi pusat radius belok.....	23
Gambar 2.12 Sudut slip ban depan saat berbelok ke kiri.....	23
Gambar 2.13 Sudut slip ban belakang saat berbelok ke kiri.....	24
Gambar 2.14 Contoh alat uji <i>rolling resistance</i>	25
Gambar 2.15 Free-body diagram dari sistem ban dan drum.....	28
Gambar 2.16 Skema gaya parasitif pada alat uji <i>rolling resistance</i>	29
Gambar 2.17 Skema gaya <i>rolling resistance</i> pada alat uji <i>rolling resistance</i> ..	27
Gambar 3.1 Alat Uji <i>Rolling Resistance</i>	34
Gambar 3.2 Pegas ukur Gaya Tangensial	35
Gambar 3.3 Skema pemberian beban dengan silinder pneumatik.....	36
Gambar 4.1 Pengukuran sudut slip ban.....	39
Gambar 4.2 Mekanisme silinder pemberi beban normal 1011 N.....	40

Gambar 4.3 Pengukuran menggunakan pegas ukur pada poros roda ban.....	40
Gambar 4.4 Grafik sudut slip terhadap Gaya <i>rolling resistance</i>	42
Gambar 4.5 Grafik sudut slip terhadap koefisien <i>rolling resistance</i>	43
Gambar 4.6 Grafik sudut slip dengan gaya <i>rolling resistance</i> standar dan koefisien <i>rolling resistance</i>	44
Gambar 4.7 Grafik sudut slip terhadap Gaya Parasitif.....	45
Gambar 4.8 Grafik sudut slip terhadap luas tapak ban.....	45
Gambar 4.9 Grafik sudut slip dengan luas kontak ban dan gaya <i>rolling resistance</i> standar.....	46
Gambar C.1 Foto pemasangan ban yang akan diuji.....	59
Gambar C.2 Pengaturan sudut slip.....	59
Gambar C.3 Busur derajat (alat ukur sudut slip).....	60
Gambar C.4 Pegas pengukur gaya tangensial.....	60

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kecepatan maksimum yang diizinkan pada ban.....	12
Tabel 2.2 Indek beban maksimum ban.....	13
Tabel 2.3 Tekstur permukaan jalan.....	19
Tabel 2.4 Kedalaman tekstur terhadap kecepatan.....	20
Tabel 2.5 Beban dan tekanan uji pada ban.....	27
Tabel A.1 Hasil pengukuran sebelum pembebanan.....	51
Tabel A.2 Data hasil pengukuran setelah pembebanan.....	52
Tabel A.3 Data hasil perhitungan.....	53
Tabel A.4 Nilai luas tapak ban.....	53

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri otomotif berupaya keras membuat terobosan teknologi terbaru untuk dapat bersaing merebut pasar otomotif. Konsumen pasar otomotif menuntut kendaraan yang efisien, dan nyaman. Kendaraan hemat bahan bakar dinantikan kehadirannya dewasa ini guna menjaga kelestarian alam karena efek gas buang yang dihasilkan.

Menurut Juhala (2014), Efisiensi bahan bakar dipengaruhi tiga faktor, yaitu: berat kendaraan (*mass*), hambatan aerodinamis (*aerodynamic resistance*), tahanan gelinding (*rolling resistance*). Wang, dkk. (2015) menyebutkan bahwa kenaikan 20% dari bobot kendaraan truk akan menaikkan 8% konsumsi energinya, setiap kenaikan 30% dari *aerodynamic resistance* kendaraan truk akan menaikkan 13% konsumsi energi dan setiap kenaikan 35% dari *rolling resistance* kendaraan truk akan menaikkan 9% konsumsi energi. California Energy Commission (2003) menginformasikan bahwa pengurangan 10% nilai *rolling resistance* ban akan menghemat bahan bakar 2% di jalan bebas hambatan dan 1% di jalan kota.

Rolling Resistance adalah tahanan terhadap roda yang akan dan telah menggelinding akibat adanya gaya gesekan antara roda dengan permukaan jalannya roda. *Rolling resistance* pada prinsipnya adalah momen yang digunakan roda untuk melawan arah gerakan, setara dengan gaya yang dibutuhkan untuk menggerakkan roda bergerak maju (Taghavifar dan Mardani, 2013). *Rolling resistance* bisa dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya: ban, kondisi jalan, bantalan, dan suspensi.

Sudut slip roda (*slip angle*) berpengaruh terhadap nilai *rolling resistance* ban. Sudut slip roda adalah sudut antara sumbu memanjang roda dengan arah gerakan roda. Sudut slip bisa terjadi karena permasalahan dinamika kendaraan yang terkait dengan pergerakan kendaraan pada permukaan jalan.

Sudut slip / *slip angle* (α) roda merupakan sudut antara sumbu memanjang roda dengan arah gerakan roda. Sudut ini terbentuk antara arah dari vektor kecepatan terhadap sumbu x dari roda. *Slip angle* (α) dan *Slip ratio* (λ) ternyata merugikan karena menyerap menyerap power mesin yang tersalur ke roda secara signifikan. Mobil balap Formula-1 (F-1) pada saat berbelok memiliki sudut slip yang lebih besar pengaruhnya terhadap konsumsi daya dari mesin. Pada *slip angle* (α) = 6 derajat dengan kecepatan 240 km/jam, power yang hilang bisa mencapai 215 HP atau lebih dari $\frac{1}{4}$ dari tenaga maksimum yang dipunyai mobil F1. Karet ban lunak mempunyai kelebihan sisi grip, hal ini berpengaruh juga terhadap konsumsi bahan bakar (Siahaan, 2007).

Industri otomotif telah mempunyai standar untuk melakukan pengujian *rolling resistance* ban. *Society of Automotive* (SAE) menetapkan standar untuk mengukur nilai *rolling resistance* yaitu: SAE J1269 dan SAE J2452. Sementara *International Organization for Standardization* (ISO) juga mempunyai standar untuk pengukuran *rolling resistance* yaitu: ISO 18164:2005 dan ISO 28580: 2009.

Geometri ban merupakan faktor lain yang secara signifikan meningkatkan nilai hambatan ban. Nilai optimum untuk *rolling resistance* dapat dicapai dengan pengoptimalan perbandingan rasio lebar ban dengan pelek bannya. Kemudian efek lain yang dapat mempengaruhi adalah rasio antara tinggi dan lebar ban.

Menurut *Transportation Research Board* (2006) dalam Juhala (2014), ban dengan tapak yang lebih kecil akan menghasilkan penghematan bahan bakar yang lebih baik, dibandingkan dengan ban dengan tapak besar pada waktu yang terbatas. Penghematan ini hanya akan terjadi jika ban tebal digunakan sampai pada lapisan yang lebih tipis. Berbagai jenis teknologi tapak ban sedang dikembangkan dengan tujuan mengurangi nilai *rolling resistance* tanpa memberi pengaruh yang signifikan terhadap keausan ban. Hal ini dapat dicapai dalam praktiknya melalui penentuan pada kedalaman alur, lebar, bentuk bahu ban, serta lebar penampang ban.

Ban dengan tipe 90/90-14 M/C 46P merupakan ban yang diaplikasikan untuk sepeda motor, khususnya jenis sepeda motor *matic*. Ban ini memiliki kemampuan

menahan beban ijin hingga 170 kg dan kecepatan yang diijinkan hingga 150 km/jam. Ban tipe tersebut digunakan untuk pelek dengan ukuran 14 inci.

Wong (1978) menyatakan bahwa penurunan nilai koefisien *rolling resistance* sangat kecil akibat peningkatan diameter ban ketika ban diuji pada permukaan keras seperti beton. Untuk pembebanan ban yang konstan, koefisien *rolling resistance* menurun pada aspek rasio ban, meskipun nilainya kecil. Itu artinya bahwa ban yang lebih lebar berbanding dengan tingginya, akan menghasilkan koefisien yang lebih rendah (Redrouthu dan Das, 2014).

Muttaqin (2015) menyatakan bahwa koefisien *rolling resistance* menunjukkan tren yang terus menurun pada setiap kenaikan tekanan udara ban. Pengujian tersebut dilakukan terhadap ban sepeda motor tipe radial ply. Mahfud (2016) melakukan kajian terhadap ban tipe radial yang sama bahwa nilai *rolling resistance* juga dipengaruhi oleh sifat *viscoelastic* ban. Nilai *viscoelastic* yang semakin tinggi menghasilkan nilai *displacement* dan luasan kontak ban dengan permukaan yang tinggi menyebabkan semakin tinggi pula nilai *rolling resistance*.

Jazar (2008) menginformasikan bahwa roda berbelok pada jalan akan memiliki sudut slip (*slip angle*) dan nilai *rolling resistance*nya akan mengalami kenaikan yang signifikan. Hal ini dikarenakan gaya longitudinal yang melawan arah gerakan dari gaya *rolling resistance* dan memunculkan gaya lateral ban. Gaya *rolling resistance* diperoleh dari penjumlahan gaya longitudinal dan gaya lateral dari ban tersebut. Spesifikasi kendaraan dan roda tidak disebutkan secara jelas pada penelitian tersebut.

Kontes Mobil Hemat Energi (KMHE) merupakan kompetisi kendaraan hemat energi. Kompetisi ini diselenggarakan oleh Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi. Kompetisi tersebut menuntut para peserta untuk merancang serta melombakan mobil dengan konsumsi energi paling hemat. Kompetisi ini merupakan sarana untuk menjawab permasalahan krisis energi yang sedang dihadapi dunia, khususnya Indonesia.

Ban tipe 90/90-14 M/C 46P merupakan ban yang sesuai dengan regulasi dalam KMHE. Penelitian akan dilakukan terhadap sudut slip (*slip angle*) pada ban

tipe 90/90-14 M/C 46P. Penelitian ini dianggap penting karena berpengaruh terhadap nilai *rolling resistance*, yang dapat mempengaruhi konsumsi energi pada kendaraan tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka dapat ditetapkan rumusan masalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh *slip angle* ban tipe 90/90-14 M/C 46P terhadap nilai gaya *rolling resistance*.
2. Bagaimana pengaruh *slip angle* ban tipe 90/90-14 M/C 46P terhadap koefisien *rolling resistance*.

1.3 Batasan Masalah

Dalam menyusun tugas akhir ini agar pembahasannya tidak melebar maka dibuat suatu batasan permasalahan, yaitu:

1. Putaran motor listrik pada alat uji dijalankan pada kecepatan konstan
2. Kondisi ban dianggap baik
3. Tekanan ban dikondisikan ke dalam tekanan standar penggunaan kendaraan
4. Beban kendaraan diasumsikan ke dalam beban yang diberikan melalui silinder pneumatik
5. Kekasaran permukaan drum uji diabaikan
6. Pengujian dilakukan hanya pada satu tipe dan merk ban sepeda motor.
7. Bentuk alur/*tread* ban diabaikan.
8. Gaya resistif akibat bantalan dan sistem transmisi alat uji diabaikan

1.4 Tujuan dan Manfaat

1.4.1 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh *slip angle* ban terhadap besarnya gaya *rolling resistance*.
2. Mengetahui koefisien *rolling resistance* pada ban tipe 90/90-14 M/C 46P berdasarkan perubahan *slip angle*.

1.4.2 Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian pada ini adalah:

1. Sebagai bahan masukan untuk memperoleh kendaraan dengan efisiensi energi yang baik.
2. Dapat dihasilkan kendaraan yang mempunyai stabilitas yang baik pada saat berbelok.
3. Sebagai pijakan untuk penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan mekanisme *rolling resistance* pada kendaraan.

1.5 Hipotesis

Sudut slip (*slip angle*) ban tipe 90/90-14 M/C 46P semakin besar akan menyebabkan nilai *rolling resistance* akan semakin besar. Gaya longitudinal dan gaya lateral dari ban akan mempengaruhi besarnya nilai *rolling resistance*. Besarnya nilai *rolling resistance* juga diakibatkan dari luasan kontak permukaan ban yang lebih lebar karena posisi slip ban.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Ban

Ban merupakan salah satu komponen terpenting dari kendaraan karena perannya dalam fungsi keamanan, stabilitas arah serta kenyamanan kendaraan. Dalam aplikasinya ban kendaraan dibedakan berdasarkan kondisi operasi, berdasarkan tipe dan ukuran, serta berdasarkan struktur dari *carcass* atau *casing*.

2.1.1 Fungsi ban

Ban kendaraan memiliki kegunaan antara lain sebagai berikut.

- a. Ban berfungsi menghubungkan kendaraan di permukaan jalan, sehingga kendaraan bisa menggelinding.
- b. Beban kendaraan menyebabkan ban terdefleksi sampai tekanan bidang kontak rata – rata seimbang dengan tekanan udara ban.
- c. Gesekan antara ban dengan jalan raya menyebabkan kendaraan mampu menggelinding, berhenti, dan berbelok.
- d. Desain tapak ban dibutuhkan untuk menangani efek kompleks dari cuaca seperti: permukaan jalan yang basah, kering, dan tertutup salju.
- e. Desain grip ban berfungsi untuk mengeluarkan air dari bidang kontak dengan permukaan jalan.
- f. Ban berfungsi sebagai pegas/peredam sistem kendaraan saat melewati permukaan jalan yang tidak rata.

2.1.2 Tipe-tipe ban

Ban diklasifikasikan menjadi tiga jenis berdasarkan struktur carcass atau casingnya, yaitu: ban bias, ban bias dengan sabuk, dan ban radial. Ketiga jenis struktur ban tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.1 dan dideskripsikan sebagai berikut.

a. Ban bias

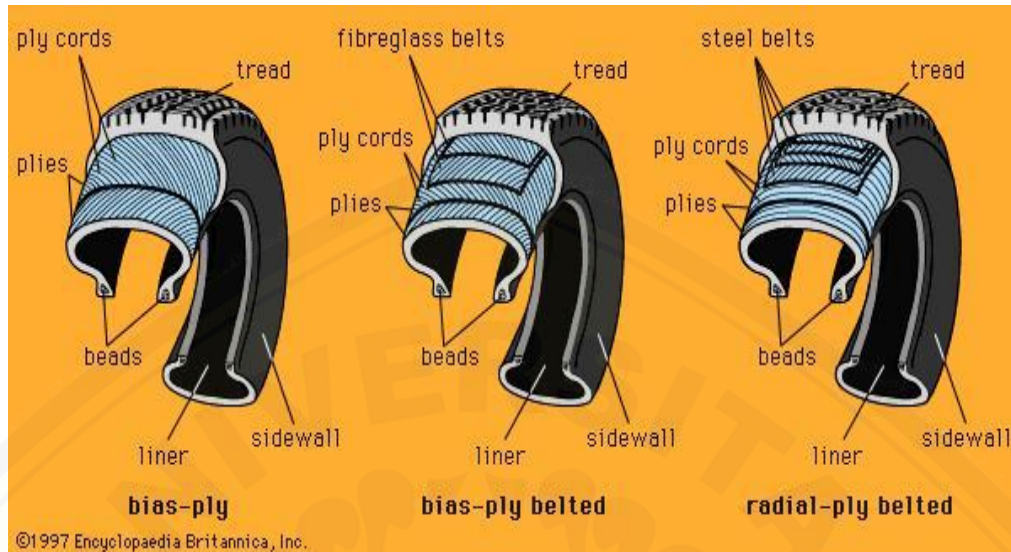
Ban bias yang sering juga disebut ban dengan serat silang dimana serat-serat penguat pada *carcass* atau casing disusun menyilang. Ban dengan struktur bias paling banyak dipakai. Ban ini dibuat dari banyak lembar *cord* yang digunakan sebagai rangka (*frame*) dari ban. *Cord* ditenun dengan cara zig-zag membentuk sudut 40 sampai 65 derajat sudut terhadap keliling lingkaran ban.

b. Ban bias dengan sabuk

Ban bias dengan sabuk disebut juga ban semi radial. Ban jenis ini mempunyai serat-serat penguat pada *carcass* yang disusun menyilang seperti pada ban bias. Bagian luar dari ban ini ditambahkan beberapa lapis sabuk sebagai stabilisasi terhadap kinerja ban.

c. Ban radial

Ban radial mempunyai serat-serat penguat pada *carcass* yang disusun secara radial. Ban radial umumnya mempunyai aspek ratio yaitu perbandingan tinggi dan lebar lebih kecil dari ban bias. Ban radial dengan aspek ratio yang kecil secara umum mempunyai kemampuan yang lebih besar untuk menahan gaya ke samping. Konstruksi *carcass cord* ban radial membentuk sudut 90 derajat terhadap keliling lingkaran ban. Jadi dilihat dari samping konstruksi *cord* adalah dalam arah radial terhadap pusat atau *crow*n dari ban. Bagian dari ban berhubungan langsung dengan permukaan jalan diperkuat oleh semacam sabuk pengikat yang dinamakan "*Breaker*" atau "*Belt*". Ban jenis ini hanya mengalami sedikit deformasi dalam bentuknya dari gaya sentrifugal, walaupun pada kecepatan tinggi. Ban radial ini juga mempunyai *rolling resistance* yang kecil.



Gambar 2.1 Ban berdasarkan struktur (Encyclopedia Britanica, Inc., 1997)

2.1.3 Bagian-bagian utama ban dan fungsinya

Ban mempunyai lapisan-lapisan yang tersusun menjadi satu struktur komposit. Lapisan-lapisan tersebut mempunyai fungsi sebagai berikut.

a. *Carcass*

Carcass ada di dalam ban. *Carcass* berfungsi menahan berat, guncangan, tumbukan dan tekanan angin. *Carcass* dibuat dari lembaran-lembaran *ply cord*. Karet yang membungkus/menutupi/melapisi *cord* tidak hanya melindungi kerusakan dari luar, tetapi juga mencegah geseran diantara *cord*.

b. *Tread*

Tread merupakan kulit luar dari ban. *Tread* melindungi *carcass* dari keausan dan kerusakan lain. “*Crown*” merupakan bagian dari *tread* yang berhubungan langsung dengan permukaan jalan. Bagian samping dari ban disebut “*side wall*” dan daerah pertemuannya dengan *tread* disebut “*shoulder*”. Permukaan *crown* mempunyai bermacam-macam alur/*pattern*. Alur-alur yang dibuat pada permukaan ban disebut “*groove*” atau “*non-skid*”. Dalamnya alur tersebut dinamakan “*non skid depth*”. Bagian dibawah *groove* (tidak termasuk tebal *cord*) dinamakan “*skid base*”. Bagian *side wall* dinamakan “*flexing area*”

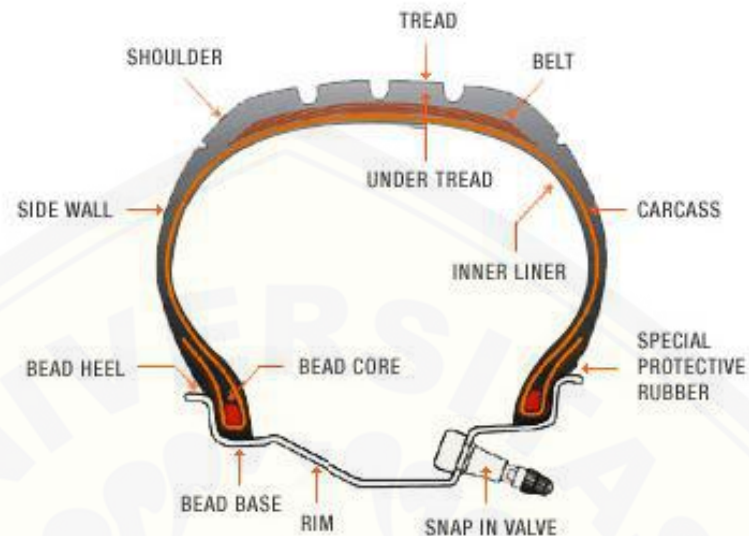
karena menerima sejumlah besar tekanan dan tarikan selama ban digunakan. *Shoulder* juga dinamakan “*buttress*” dan merupakan bagian yang menyangga *crown*. Daerah ini mempunyai konsentrasi karet yang paling tebal dan disini juga dibuat alur (*groove*) untuk mengeluarkan/melepaskan panas.

c. *Breaker*

Cord yang digunakan di dalam *carcass* dapat menjadi rusak karena tumbukan-tumbukan di jalan, seperti lubang-lubang, batu dan lain-lain. Jadi yang dinamakan “*breaker*” ditempatkan diantara *tread* dan *carcass* dengan maksud sebagai peredam guncangan/tumbukan. Sebagai tambahan, untuk mencegah “*separation*” (pemisah) dan untuk mengurangi perubahan tiba-tiba dari elastisitas, selembur karet disisipkan di antara *carcass* dan *breaker* supaya berfungsi sebagai *cushion* (bantalan).

d. *Bead*

Bead berfungsi untuk menahan kedua ujung dari *cord*, menjamin pemasangan yang kuat dari ban ke rim (pelek). “*Bead wire*” (kawat bead) adalah cincin yang terbuat dari kawat baja dengan kadar karbon yang tinggi. *Flipper* menutup/membungkus *bead wire* di dalamnya terisi “*bead filler*”, karet keras yang berbentuk segitiga (*apex rubber*). Bagian ujung yang berhubungan dengan pelek dan lebih dekat dengan pusat ban dinamakan “*bead toe*”.



Gambar 2.2 Bagian-bagian utama ban

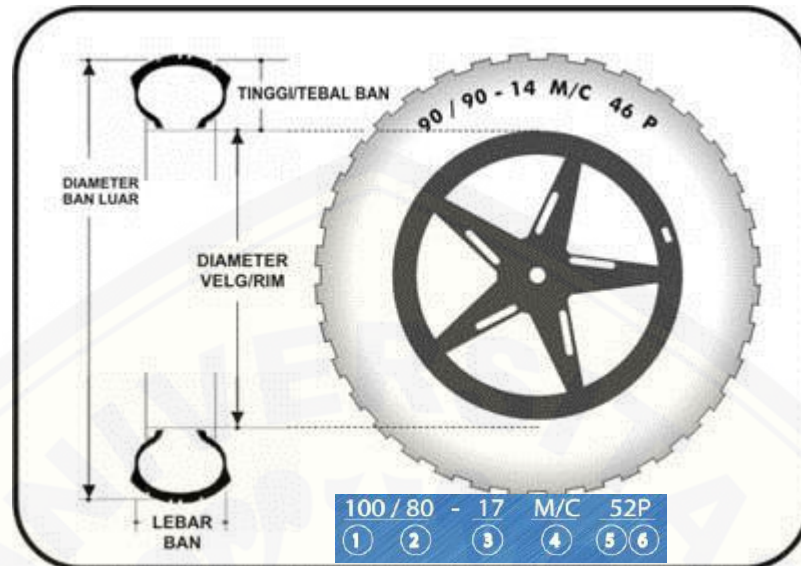
(<http://www.carid.com/images/hankook/info/tire-types-structure.html>)

2.1.4 Sistem kode spesifikasi ban

Ban mempunyai ukuran yang telah baku sebagaimana disepakati oleh berbagai pabrikan ban. Sistem kode spesifikasi ban terdapat pada *side wall*. Sistem kode ban lebih lanjut dapat dilihat pada Gambar 2.3.

a. Kode ukuran ban.

Ban motor yang dijual dipasaran memakai sistem ukuran metrik (metric system) dan sistem inchi (inch system). Salah satu contoh sistem kode spesifikasi ban termuat dalam Gambar 2.3 berikut.



Gambar 2.3 Sistem kode spesifikasi ban (<https://id.wikipedia.org/wiki/ban>)

Keterangan:

1. Ukuran lebar ban (mm)
2. Rasio lebar ban dan tinggi ban (%)
3. Diameter velg/rim (inchi)
4. Jenis Ban, M/C (untuk sepeda motor/ motorcycle)
5. Indeks beban maksimum (Load Indeks/LI)
6. Indeks kecepatan maksimum

b. Kode rasio ban

Kode rasio ban dinyatakan dalam persen (%) sehingga untuk mengetahui nilai tinggi ban sebenarnya dapat diketahui dengan rumus berikut.

$$\text{Tinggi Ban (h)} = \text{Rasio (\%)} \times \text{Lebar Ban (mm)}$$

c. Kode kecepatan maksimum yang diizinkan

Kode kecepatan maksimum ditulis dengan kode huruf seperti pada Tabel 2.1. Kode ini menunjukkan batas maksimal sebuah ban dipacu terus selama 1 jam dengan membawa beban sesuai spesifikasi standar.

Tabel 2.1 Kecepatan maksimum yang diizinkan pada ban (IRC Catalogue, 2014)

Kode	Kecepatan Maksimum (km/h)
B	50
C	60
D	65
E	70
F	80
G	90
J	100
K	110
L	120
M	130
N	140
P	150
Q	160
R	170
S	180
T	190
U	200
H	210
V	240
W	270
Y	300

d. Kode indeks beban maksimum

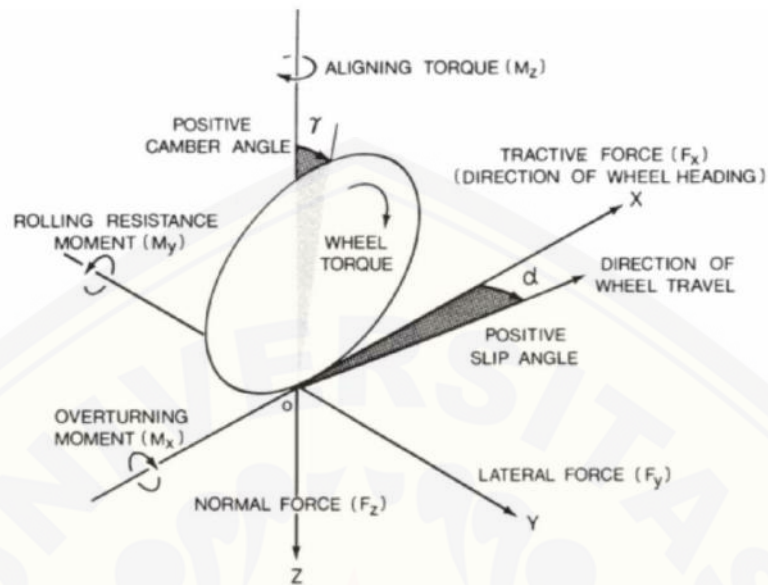
Indeks beban maksimum yang dapat ditahan oleh ban dalam keadaan dingin biasanya dicantumkan dalam dinding ban. Indeks beban maksimum ban/ Load Indeks (LI) ditampilkan dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Indek beban maksimum ban (IRC Catalogue, 2014)

LI	Kg	LI	Kg	LI	Kg	LI	Kg
0	45,0	22	85,0	44	160	66	300
1	46,2	23	87,5	45	165	67	307
2	47,5	24	90,0	46	170	68	315
3	48,7	25	92,5	47	175	69	325
4	50,0	26	95,0	48	180	70	335
5	51,5	27	97,5	49	185	71	345
6	53,0	28	100,0	50	190	72	355
7	54,5	29	103,0	51	195	73	365
8	56,0	30	106,0	52	200	74	375
9	58,0	31	109,0	53	206	75	387
10	60,0	32	112,0	54	212	76	400
11	61,5	33	115,0	55	218	77	412
12	63,0	34	118,0	56	224	78	425
13	65,0	35	121,0	57	230	79	437
14	67,0	36	125,0	58	236	80	450
15	69,0	37	128,0	59	243	81	462
16	71,0	38	132,0	60	250	82	475
17	73,0	39	136,0	61	257	83	487
18	75,0	40	140,0	62	265	84	500
19	77,5	41	145,0	63	272	85	515
20	80,0	42	150,0	64	280	86	530
21	82,5	43	155,0	65	290	87	545

2.1.5 Gaya-gaya pada ban

Pada saat kendaraan berjalan lurus, ban kemungkinan hanya menerima gaya vertikal momen torsi, dan gaya longitudinal akibat pengereman atau percepatan. Ban akan mengalami berbagai gaya dan momen pada saat kendaraan berbelok. Pada saat kendaraan berbelok, ban akan mengalami gaya ke samping yang dapat mengakibatkan arah gerak ban menjadi berubah sebesar sudut slip. Pada Gambar 2.4 ditunjukkan gaya momen yang bekerja pada ban, termasuk juga sudut slip (α).



Gambar 2.4 Gaya yang bekerja pada ban (Sutantra, 2010)

Ban bekerja berdasarkan tiga gaya, yaitu: gaya normal atau vertikal (F_z), gaya longitudinal (F_x) dan gaya lateral (F_y). Gaya vertikal (F_z) diakibatkan oleh gaya berat kendaraan dan gaya inersia yang mengarah ke arah vertikal. Gaya longitudinal (F_x) diakibatkan oleh gaya inersia percepatan atau pengereman dan juga mungkin diakibatkan oleh komponen longitudinal dari gaya centrifugal kendaraan. Gaya lateral (F_y) disebabkan oleh gaya centrifugal kendaraan. Disamping itu karena umumnya roda mempunyai sudut camber (γ), maka akan dapat terjadi dorongan camber ke arah samping ($F_{y\gamma}$). Gaya-gaya lain yang dapat mengakibatkan gaya-gaya pada ban adalah gaya angin dan gaya tahanan gelinding (*rolling resistance*).

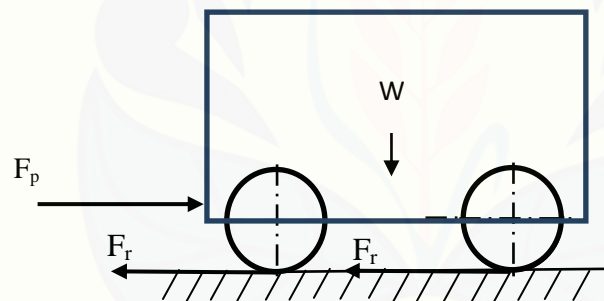
Tiga momen juga bekerja pada ban, yaitu momen terhadap sumbu vertikal disebut *aligning* torsi (M_{At}), momen terhadap sumbu longitudinal ban yang disebut momen rolling (M_{Rl}) dan momen terhadap sumbu lateral yang disebut momen tahanan rolling (M_{RR}). Momen terhadap sumbu lateral juga dapat berupa momen pengereman dan juga berupa momen percepatan. *Aligning* torsi terjadi karena pada saat ban berputar dan berbelok, gaya reaksi dari jalan terhadap ban dapat berada di

luar sumbu z dengan jarak t_p yang disebut *pneumatic trail*. Torsi yang disebabkan oleh gaya reaksi lateral disebut jarak t terhadap sumbu z adalah *aligning torsi*.

2.2 *Rolling Resistance (RR)*

2.2.1 Konsep dasar *rolling resistance*

Rolling resistance adalah tahanan terhadap roda yang akan dan telah menggelinding akibat adanya gaya gesekan antara roda dengan permukaan jalannya roda. Pada dasarnya, *rolling resistance* adalah momen yang digunakan roda untuk melawan arah gerakan, setara dengan gaya yang dibutuhkan untuk menggerakkan roda bergerak maju (Taghavifar dan Mardani, 2013). Skema gaya *rolling resistance* dapat dilihat pada Gambar 2.5.



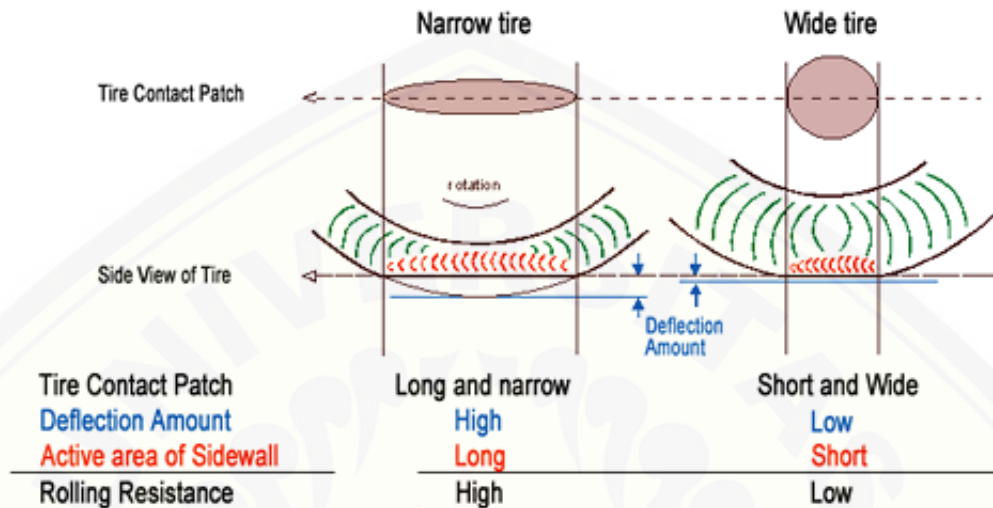
Gambar 2.5 Skema *rolling resistance*

Keterangan:

- W = Beban kendaraan
- F_p = Gaya dorong kendaraan
- F_r = Gaya *rolling resistance*

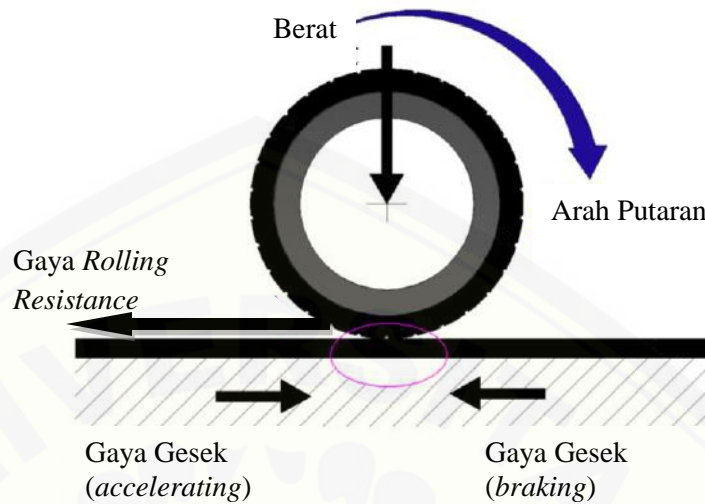
Rolling resistance terjadi karena proses deformasi yang terjadi pada struktur ban, luasan kontak dan permukaan jalan. Namun dalam prakteknya, sulit untuk menganalisis parameter yang signifikan secara rinci karena mereka sangat

berkorelasi. Namun jumlah panas yang dihasilkan merupakan indikasi dari jumlah perlawanan (Juhala, 2014).



Gambar 2.6 Skema lebar tapak ban (Juhala, 2014).

Rolling resistance merupakan gaya yang terjadi akibat gesekan roda alat yang sedang bergerak dengan permukaan tanah. Besarnya tahanan akan berbeda pada setiap jenis dan kondisi permukaan tanah atau jalan, juga sangat tergantung pada tipe roda dari kendaraan (Widyaningsih, 2008). Tahanan guling/ tahanan gelincir/ tahanan gelinding (*rolling resistance*, biasa disingkat RR) merupakan segala gaya-gaya luar yang berlawanan arah dengan arah gerak kendaraan yang sedang berjalan di atas suatu jalur. Tahanan gelinding (*rolling resistance*) adalah besarnya tenaga tarik yang dibutuhkan untuk menggerakkan tiap ton berat kendaraan. Skema gaya yang terjadi pada ban dapat dilihat Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Skema gaya berat, gaya gesek, dan *rolling resistance*

2.2.2 Faktor yang mempengaruhi *rolling resistance*

Nilai *rolling resistance* tidak hanya dipengaruhi oleh ban. Beberapa jenis rugi-rugi energi bisa menjadi salah satu faktor yang berpengaruh, antara lain sebagai berikut.

- Ban, disebabkan karena interaksi ban terhadap jalan
- Keadaan jalan
- Gesekan yang terjadi pada *bearing*/bantalan
- Tahanan aerodinamis selama ban berputar
- Hambatan ban yang disebabkan oleh pergerakan ban sepanjang udara
- Kerugian suspensi

Seperti yang disebutkan di atas, *rolling resistance* didefinisikan oleh ISO (International Standard Organization) sebagai “Kerugian energi (konsumsi energi) tiap satuan jarak yang ditempuh” (ISO 28580, 2009). Standar ini menyebut sekumpulan rugi-rugi tersebut dengan “Kerugian Parasitis” yaitu “*Hilangnya energi (energi yang dikonsumsi) tiap satuan jarak tidak termasuk dalam kerugian akibat sifat internal ban, dan disebabkan pada kerugian aerodinamis dari berbagai elemen*

yang berputar dari alat uji, gesekan bantalan, dan sumber lain dari kerugian sistem yang mungkin melekat pada pengukuran rolling resistance”.

Hal lain yang dapat menyebabkan terjadinya tahanan gelinding adalah adanya geseran antara ban dan jalan karena ban berdefleksi dan terbentuk tapak ban. Disamping itu adanya tahanan akibat sirkulasi udara di dalam ban serta hambatan udara di luar ban akibat berputarnya ban juga mengakibatkan terjadinya tahanan gelinding ban. Hasil eksperimen yang menunjukkan bahwa kerugian yang terjadi akibat ban berputar pada kecepatan kendaraan 128 – 152 km/jam dapat dibedakan sebagai berikut : 90 – 95% kerugian akibat sifat histerisis dari ban, 2 – 10 % akibat geseran ban dan jalan, dan hanya 1,5 – 3,5% akibat tahanan angin.

Secara keseluruhan koefisien dari hambatan rolling dipengaruhi oleh banyak faktor dengan hubungan yang kompleks sehingga sangat sulit dicari perumusan matematis dari hubungan tersebut. Karena rumitnya fenomena interaksi faktor-faktor pengaruh dari hambatan rolling, maka besarnya *rolling resistance* masih bergantung pada hasil eksperimen.





2.3 Permukaan Jalan

Tekstur (kekasaran permukaan) adalah kondisi halus-kasarnya permukaan perkerasan yang dipengaruhi oleh kondisi batuan, aspal dan ikatan antara keduanya. Tekstur permukaan jalan merupakan faktor penting dalam memberikan keamanan dan kenyamanan bagi pengguna jalan. Kecelakaan lalu lintas karena slip dapat terjadi karena permukaan jalan memiliki tahanan gesek yang rendah. Tahanan gesek dipengaruhi oleh tekstur permukaan, sifat agregat (komposisi dan gradasi), dan faktor lingkungan (panas dan air hujan).

Tekstur permukaan meliputi tekstur makro dan tekstur mikro. Tekstur makro berskala 0,5-15 mm, sedangkan tekstur mikro berskala di bawah 0,5 mm. Tekstur makro berperan penting dalam menunjang drainase air hujan di permukaan jalan dan sebagai cengkraman terhadap roda kendaraan. Tekstur mikro berhubungan dengan sifat ketahanan agregat terhadap keausan. Ukuran tekstur mikro bervariasi dari tajam

sampai licin. Tekstur mikro sangat tergantung dari sifat petrography agregat dan intensitas lalu lintas. Tekstur makro dan tekstur mikro sebagai bentuk relief permukaan perkerasan jalan diilustrasikan pada Tabel 2.3. Tahanan gesek dipengaruhi oleh variasi bentuk bunga dan kondisi ban, tekstur permukaan jalan, kondisi cuaca dan kondisi mengemudi. Menurut Willey (1935) pada musim kering banyak jalan memiliki tahanan gesek besar, sedangkan pada musim dingin permukaan jalan tertutup lapisan lumpur, salju, es, atau lainnya maka tahanan geseknya rendah. Oleh karena itu tekstur permukaan sebaiknya perlu dimonitoring rutin selama masa pelayanan.

Tabel 2.3 Tekstur permukaan jalan (TRRL Report No.SR.340, 1977)

No.	Lapisan permukaan	Tekstur makro	Tekstur mikro
1		Kasar	Tajam
2		Kasar	Licin
3		Halus	Tajam
4		Halus	Licin

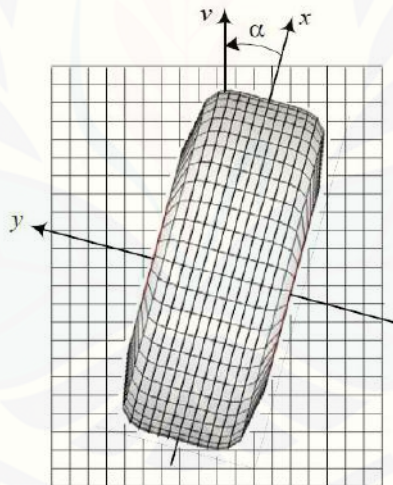
Tekstur makro kasar diperoleh dari perencanaan campuran beraspal dengan proporsi agregat kasar lebih banyak. Tekstur makro lebih dominan dalam mempertahankan kekesatan permukaan perkerasan pada saat kecepatan kendaraan meningkat. Penelitian yang dilakukan TRRL (1977) menunjukkan bahwa tekstur makro permukaan mempengaruhi kekesatan pada perubahan kecepatan antara 50 km/jam - 130 km/jam (Tabel 2.4). Turunnya kedalaman tekstur dan kekesatan diidentifikasi karena naiknya aspal akibat pemadatan berulang kendaraan, sedangkan naiknya kedalaman tekstur dan kekesatan disebabkan oleh adanya pelepasan butir – butir kecil aspal dan batu akibat oksidasi dan penetrasi air (Puslitbang Jalan, 1997).

Tabel 2.4 Kedalaman tekstur terhadap kecepatan (TRRL Report No.SR.340, 1977)

Kedalaman Tekstur (mm)		Penurunan kekesatan dengan perubahan kecepatan dari 50 km/jam-130 km/jam (%)
Perkerasan Lentur	Perkerasan Kaku	
2,0	0,8	0
1,5	0,7	10
1,0	0,5	20
0,5	0,4	30

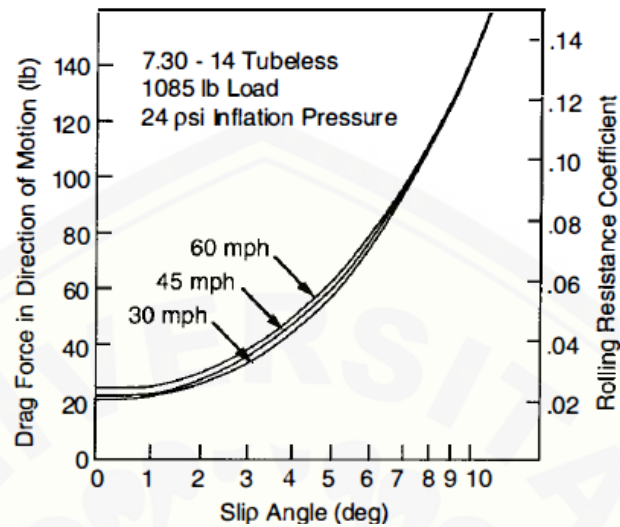
2.4 Sudut Slip (*Slip Angle*)

Sudut slip roda merupakan sudut antara arah sebenarnya dari roda yang menggelinding pada lintasan dengan arah yang menunjukkan kecepatan laju roda. Gambar 2.8 menunjukkan *free body diagram* dari sebuah roda. *Slip angle* (α) didefinisikan sebagai sudut yang terbentuk antara arah dari vektor kecepatan v terhadap sumbu x dari roda (Jazar, 2008).



Gambar 2.8 Tampak atas dari ban dan pengukuran *slip angle* ban (Heißing, 2011)

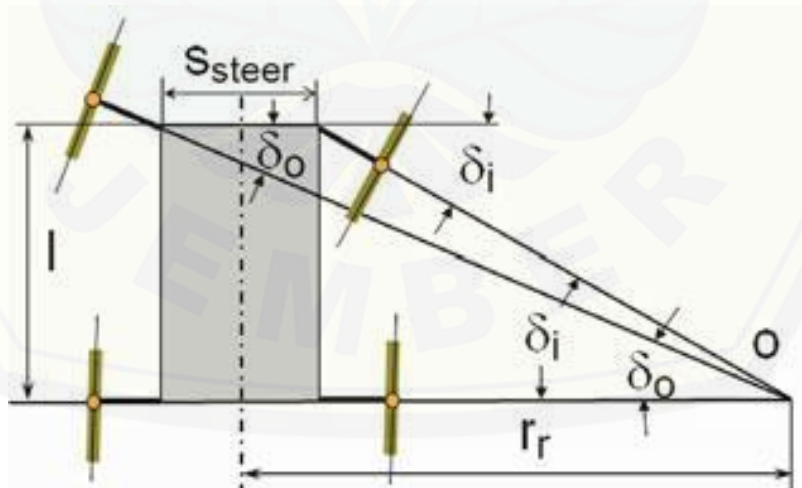
Roda mentransfer gaya traksi dan gaya pengereman dengan menunjukkan nilai *rolling resistance* yang lebih tinggi akibat slip pada roda dan gesekan yang dihasilkan. Nilai sudut slip yang terjadi di bawah kondisi mengemudi normal jarang melebihi nilai 12° . Gambar 2.9 (Thomas, 1992) menunjukkan pengaruh sudut slip (*slip angle*) terhadap *rolling resistance*.



Gambar 2.9 Slip angle terhadap koefisien *rolling resistance* (Thomas, 1992)

2.4.1 Skema kemudi statis

Pada kecepatan belok yang rendah, roda kendaraan dapat memiliki sudut slip nol sehingga nilai gaya lateral juga nol. Ini adalah kasus yang terjadi ketika perpanjangan dari semua sumbu rotasi roda berpotongan di sebuah titik yang berimpit dengan titik tengah radius tersebut (Gambar 2.10).



Gambar 2.10 Ketentuan geometri untuk sudut slip nol dari roda yang berputar selama kecepatan rendah

Hubungan geometri untuk berbelok tanpa gaya lateral mengarah ke persamaan berikut untuk sudut roda bagian dalam (δ_i) sebagai sebuah fungsi dari sudut roda bagian luar (δ_o):

$$\delta_i = \frac{\arctan 1}{\left(\frac{1}{\tan \delta_o} - s_{steer}\right)} \quad (2.1)$$

Berdasarkan kondisi Ackermann, roda yang berputar pada kecepatan rendah tanpa sudut slip menjadikan nilai gaya lateral nol. Jika kondisi baik, titik tengah dari kurva terletak tepat di poros belakang. Ketika sebuah kendaraan berjalan pada garis lurus, bidang roda dari roda kemudi secara paralel pada satu arah lintasan yang berbeda. Kondisi Ackermann menjelaskan kasus perbedaan antara sudut roda kemudi sebelah kiri dan kanan.

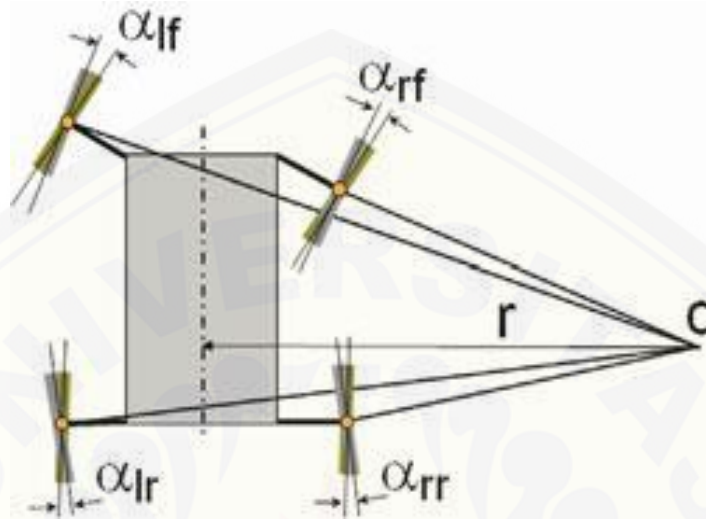
2.5.1 Skema kemudi dinamis

Selama berbelok dalam kecepatan yang tinggi, sudut slip roda disebabkan oleh gaya lateral yang cukup untuk mengimbangi percepatan sentrifugal dari massa kendaraan. Jika ditarik garis tegak lurus terhadap vektor perubahan dari luas kontak ban dimana garis-garis tersebut bersinggungan, disebut sebagai pusat radius belok (Gambar 2.11).

Menurut kinematika kemudi yang didefinisikan teori Ackerman (Gambar 2.10), sudut slip dari roda bagian luar lebih kecil dari roda bagian dalam. Selama berbelok, beban vertikal roda pada roda luar lebih besar dari roda sebelah dalam. Akibatnya, roda luar mampu mentransfer gaya lateral lebih besar. Untuk mengambil keuntungan ini, sudut slip dari roda sebelah luar harus lebih besar dari roda sebelah dalam. Untuk alasan ini, tata letak kemudi dinamis menyimpang dari prinsip Ackermann dalam roda yang tetap lebih sejajar satu dengan lainnya selama berbelok. Roda kemudi kemudian mendapati keadaan *toe-out* saat menikung.

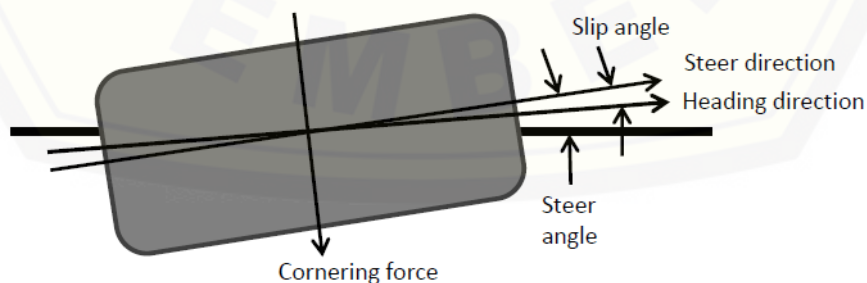
Dalam praktiknya, desainer umumnya mencoba untuk menjaga roda dikemudikan secara paralel (skema dinamis) pada sudut kemudii di bawah 20°. Untuk

memungkinkan perilaku sudut slip nol selama berbelok dengan kecepatan rendah. Sudut slip nol merupakan tujuan penting bagi perancangan sistem kemudi.



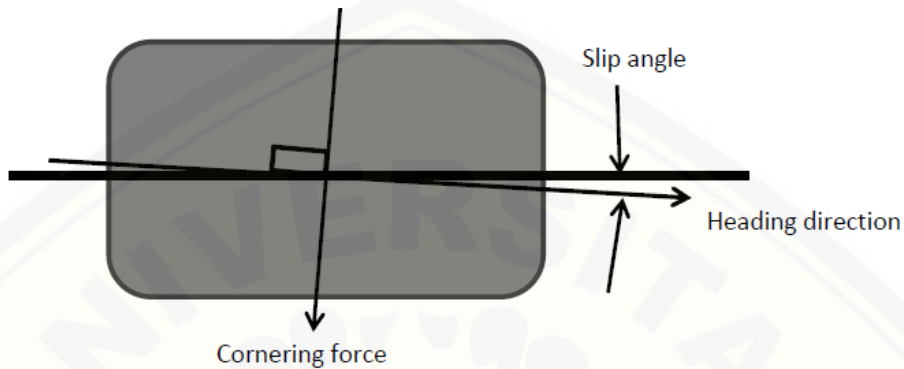
Gambar 2.11 Hubungan antara sudut potong roda, sudut slip dan posisi pusat radius belok.

Sebuah ban hanya dapat menghasilkan sebuah gaya belok jika memiliki sudut antara titik tengah ban dengan arah lintasannya. Perbedaan dalam dua sisi tersebut disebut sudut slip. Arah lintasan selalu kurang dari sudut kemudi. Ketika sudut slip meningkat, gaya menikung juga meningkat sampai ke titik dimana ban tidak lagi dapat mendukung beban sisi dan kemudian akan meluncur ke samping. Mekanisme sudut slip pada roda depan dan belakang ditunjukkan pada Gambar 2.12 dan Gambar 2.13.



Gambar 2.12 sudut slip ban depan saat berbelok ke kiri

Ban belakang juga diperlukan sudut slip untuk menghasilkan gaya belok kendaraan. Gambar 2.13 menunjukkan pemahaman tentang sudut slip ban belakang saat mobil mulai berbelok.



Gambar 2.13 sudut slip ban belakang saat berbelok ke kiri

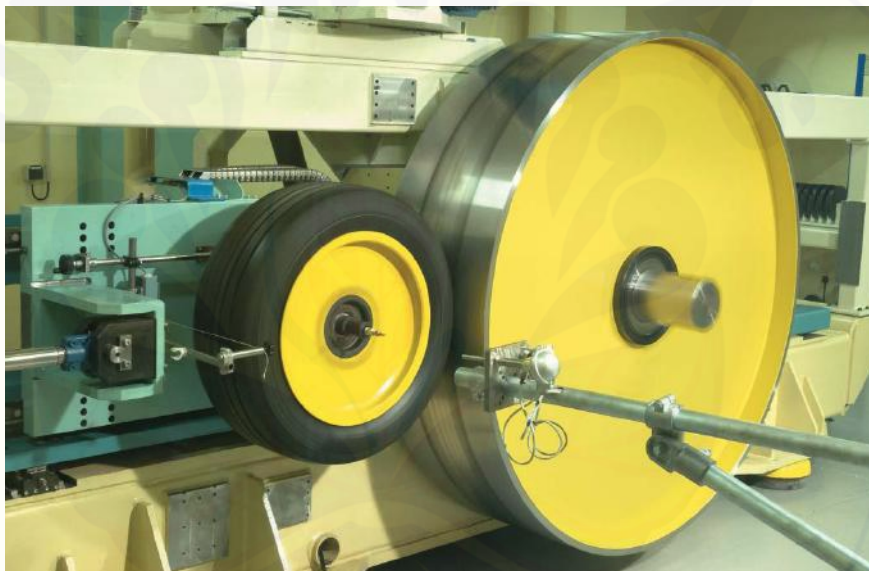
Ini penting untuk dipahami bahwa ketika merujuk gambar 3.12 diketahui bahwa sudut slip ban depan meningkatkan sudut kemudi depan yang diperlukan sementara ban belakang mengalami sudut slip seperti yang terlihat pada gambar 3.13. Penurunan sudut kemudi depan diperlukan untuk membuat sebuah belokan dengan radius tertentu. Bukan berarti itu penting, tetapi gaya belok mengikuti arah lintasan 90° . Ketika vektor tidak pada 90° terhadap bidang rotasi ban, maka terjadi sebuah hambatan. Inilah sebabnya mengapa sebuah roda terjadi pengeraman karena sudut slip sehingga bisa memperlambat laju mobil.

2.5 Pengujian *Rolling Resistance*

2.5.1 Metode pengujian *rolling resistance*

Pengukuran *rolling resistance* ban mengacu pada Standar Internasional atau standar industri. Tidak ada praktek standar untuk pengukuran sifat *rolling resistance* di jalan umum. Semua yang ada didasarkan pada pengukuran menggunakan *Drum* di laboratorium. Pengukuran menggunakan drum digunakan untuk menguji parameter ban seperti: *rolling resistance*, keausan ban, riuh ban, kekakuan penyudutan ban (Ergin dan Samin, 2001).

Sebuah alat uji laboratorium untuk *rolling resistance* terdiri dari *drum* tes, silinder sejajar dengan pusat drum, dan ban yang akan diuji. Ban yang disenggolkan terhadap drum, yang diputar oleh motor. *Rolling resistance* ban mengacu terhadap efek pengereman rotasi *drum*, dan efek ini diterjemahkan ke dalam pengukuran kekuatan, torsi, deselerasi, dll. *Rolling resistance* kemudian dihitung dari pengukuran seperti skema Gambar 2.14. Gambar 2.14 menunjukkan konfigurasi dari prosedur ini (Gent & Walters, 2005). *The Society of Automotive Engineers* (SAE) dan *International Organization for Standardization* (ISO) memiliki standar tes masing-masing untuk prosedur ini.



Gambar 2.14 Contoh alat uji *rolling resistance* (Michelin, 2003)

Terdapat beberapa metode pengujian dalam pengujian *rolling resistance* ini, antara lain sebagai berikut:

- Metode gaya (*force method*), yaitu metode yang pengukurannya berdasarkan gaya resistif yang terjadi pada poros ban
- Metode torsi (*torque method*), yaitu metode yang pengukurannya berdasarkan torsi resistif pada hub drum

- Metode power (*power method*), yaitu metode yang didasarkan pada pengukuran daya listrik yang digunakan oleh motor untuk menjaga drum tetap berputar
- Metode perlambatan (*deceleration method*), yaitu metode yang didasarkan pada pengukuran perlambatan setelah kekuatan pendorong di drum dihentikan.

Selain metode pengukuran, jumlah pengujian juga poin penting yang harus dipahami. Pengujian single-point adalah pengujian yang hanya menggunakan satu pengaturan untuk tekanan ban dan beban pada ban, sedangkan tes multi-point mencakup serangkaian pengaturan tekanan ban dan beban dari ban. Seperti disebutkan sebelumnya, ada beberapa standar tes untuk menentukan kondisi pengukuran. Terdapat dua standar yang ditetapkan oleh *Society of Automotive Engineers* (SAE), yaitu SAE J1269 dan SAE J2452, dan dua yang ditetapkan oleh *International Organization for Standardization* (ISO), ISO 18164: 2005 dan ISO 28580: 2009. Standar ini digunakan secara luas dalam industri ban dan otomotif untuk pengukuran *rolling resistance*.

2.5.2 Pengujian standar ISO 18164: 2005

Metode spesifik standar untuk pengujian *rolling resistance* di bawah kondisi laboratorium dengan parameter yang terkendali, untuk ban pneumatik dirancang untuk digunakan pada mobil penumpang, truk, bus dan sepeda motor. Hubungan antara nilai-nilai yang diperoleh dan efisiensi bahan bakar kendaraan belum ditentukan, dan nilai-nilai tersebut tidak dimaksudkan untuk digunakan menunjukkan tingkat kinerja atau kualitas.

Standar ini berlaku untuk ban mobil penumpang, ban truk, ban bus dan ban sepeda motor. Pengukuran ban menggunakan metode ini mempermudah perhitungan *rolling resistance* ban pada kondisi bebas menggelinding lurus ke depan, dalam posisi tegak lurus terhadap permukaan luar drum, dan dalam kondisi *steady state*.

a. Parameter peralatan uji

1) Diameter drum uji yang disarankan:

- 1,5 meter. untuk ban mobil dan sepeda motor
- 1,7 meter. Untuk ban bus dan truk.

2) Permukaan drum

Permukaan drum baja harus halus atau bertekstur dan harus tetap bersih.

3) Lebar drum uji

Lebar permukaan uji drum melebihi lebar tapak ban yang diuji.

4) Pelek uji

Ban harus dipasang pada pelek uji

5) Beban, keselarasan, kontrol dan akurasi alat ukur

Pengukuran parameter-parameter harus cukup akurat dan tepat untuk mendapatkan yang data uji dibutuhkan .

6) Lingkungan termal (kondisi referensi)

Suhu referensi lingkungan, yang diukur pada sumbu rotasi ban, 1m terdekat dari bidang sentuh *sidewall* ban, harus berkisar pada suhu 25 ° C.

7) Suhu permukaan drum

suhu permukaan drum diusahakan mendekati suhu lingkungan.

b. Kondisi beban uji

Beban uji standar harus dihitung dari nilai-nilai yang ditunjukkan pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Beban dan tekanan uji pada ban (ISO 18164, 2005)

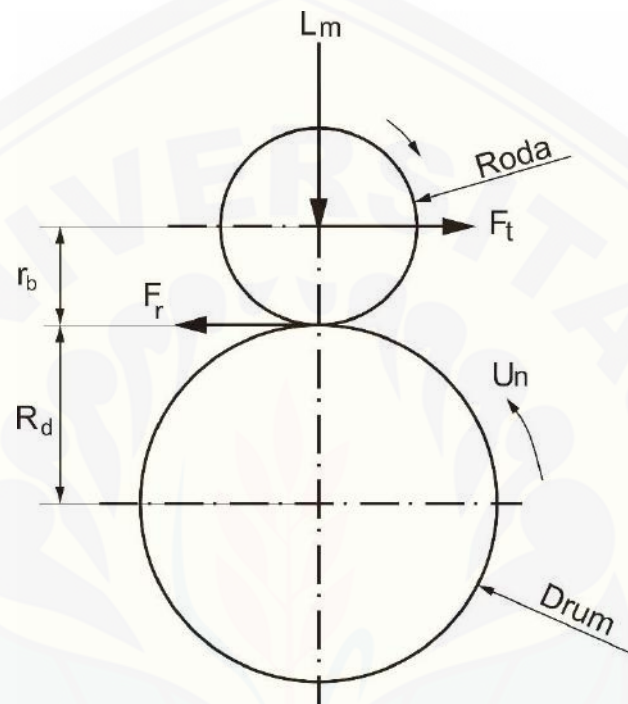
Tyre type	Passenger car		Truck and bus	Motorcycle	
	Light and standar load	Reinforced or extra load		Standard load	Reinforced or extra load
Load % of maximum load capacity	80	80	85 (% of single load)	65	80
Inflation pressure kPa	210	250	*Corresponding to maximum load capacity for single application	200	250

NOTE The inflation pressure shall be capped with the accuracy specified in C.4.1

* For those passenger car tyres belonging to categories which are not shown in Annex B of ISO 4000-1:2001, the inflation pressure shall be the inflation pressure recommended by the tyre manufacturer, corresponding to the maximum tyre load capacity, reduced by 30 kPa

c. Prosedur pengujian

Skema alat uji *rolling resistance* dapat dilihat Gambar 2.15 berikut.



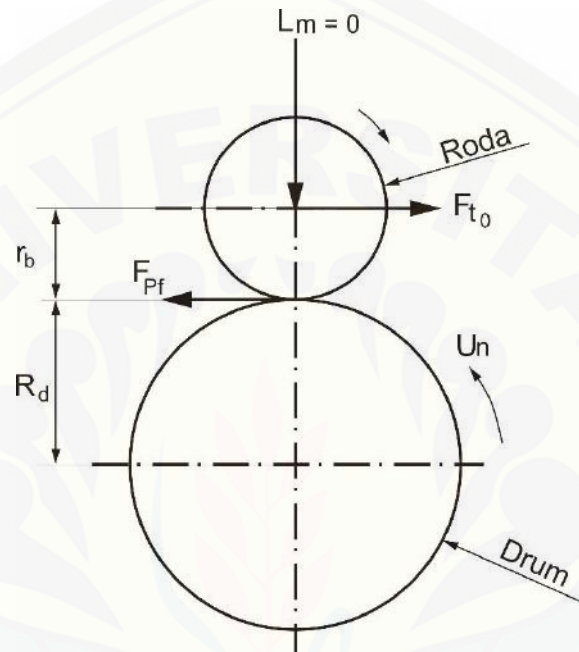
Gambar 2.15 Free-body diagram dari sistem ban dan drum(ISO 18164, 2005)

Keterangan:

- Kecepatan uji, (U_n)
- Beban pada ban arah gaya normal terhadap permukaan Drum, (L_m)
- Jarak dari poros roda ban untuk drum permukaan luar dalam kondisi steady state, (r_b)
- Radius tes drum (R_d)
- Gaya *rolling resistance* (F_r)
- Gaya spindel ban (F_t)

d. Perhitungan rugi-rugi alat

Gaya rugi alat uji (F_{pf}) terkait dengan gesekan antar muka antara ban dengan drum dinyatakan dalam Newton, dihitung dari gaya F_{t0} seperti yang ditunjukkan melalui Metode Gaya berdasarkan Gambar 2.16.



Gambar 2.16 Skema gaya parasitif pada alat uji *rolling resistance*

Gaya rugi ban kemudian diformulasikan ke dalam persamaan berikut.

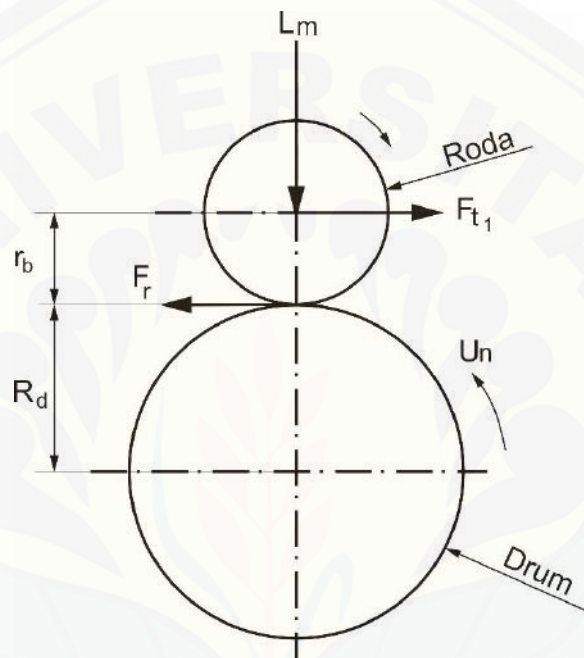
$$F_{pf} = F_{t0} \left(1 + \frac{r_b}{r_d} \right) \quad (2.2)$$

dengan:

- F_{pf} adalah gaya rugi alat uji (N)
- F_{t0} adalah gaya spindel ban sebelum ada beban L_m (N)
- R_b adalah jarak dari sumbu ban ke permukaan luar drum dalam kondisi *steady state* (m)
- R_d adalah jari-jari tes drum (m).

e. Perhitungan gaya *rolling resistance*

Gaya *rolling resistance* dihitung dengan nilai yang diperoleh dengan menguji ban dengan kondisi yang ditentukan berdasarkan Gambar 2.13 dan dikurangi dengan nilai Gaya rugi alat uji (F_{pf}) yang diperoleh menurut persamaan metode gaya pada spindel ban (2.1).



Gambar 2.13 Skema gaya *rolling resistance* pada alat uji *rolling resistance*

Gaya *rolling resistance* (F_r) didapatkan diformulasikan ke dalam persamaan 2.3.

$$F_r = F_{t_1} \left[1 + \left(\frac{r_d}{r_b} \right) \right] - F_{pf} \quad (2.3)$$

dimana:

- F_r adalah Gaya *Rolling Resistance* (N)
- F_{pf} adalah gaya rugi alat uji yang didapat dari persamaan (2.2) (N)
- F_{t_1} adalah Gaya spindel ban setelah diberi beban normal (N);
- R_b adalah jarak dari sumbu ban ke permukaan luar drum dalam kondisi *steady state* (m);
- R_d adalah jari-jari tes Drum (m).

f. Menghitung faktor koreksi diameter drum

Hasil tes yang diperoleh dari diameter drum berbeda dapat dibandingkan dengan formula berikut.

$$F_{rs} \approx K F_r \quad (2.4)$$

dengan:

$$K = \sqrt{\frac{(R_{d1} R_d)(R_d + r_b)}{(R_{d1} + r_b)}} \quad (2.5)$$

Keterangan:

- F_{rs} = Gaya *rolling resistance* pada alat uji standar industri (N)
- F_r = nilai *rolling resistance* diukur pada drum alat uji laboratorium (N)
- R_{d1} = Jari-jari drum alat standar industri dengan nilai 0,75 m
- R_d = Jari-jari drum alat uji laboratorium (m)
- r_b = Jari-jari nominal ban yang diuji (m)

Nilai Gaya *rolling resistance* ban (F_r), nilai jari jari ban yang diuji (r_b), nilai jari-jari drum alat uji laboratorium (R_d) adalah nilai-nilai yang didapatkan berdasarkan pengujian berdasarkan Gambar 2.13.

g. Menghitung koefisien *rolling resistance*

Koefisien *rolling resistance* (Cr) adalah konstanta tak berdimensi yang dihitung dengan membagi gaya *rolling resistance* dengan beban pada ban. Koefisien Koefisien *rolling resistance* bergantung terhadap Gaya *rolling resistance* dan beban pada ban sebagaimana pada Gambar 2.13.

$$Cr = \frac{F_{rs}}{Lm} \quad (2.6)$$

Dimana:

- Cr = Koefisien *rolling resistance*
- Lm = Beban pada ban (N)

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan di ruang riset tim mobil listrik Titen Fakultas Teknik, LPM (Lembaga Pengabdian Masyarakat) Universitas Jember. Waktu penelitian dilaksanakan dalam jangka waktu enam bulan yaitu dimulai dari bulan April sampai dengan bulan Oktober 2016.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

- a. Alat uji *rolling resistance*
- b. *Pressure gauge*
- c. Tachometer
- d. Kompresor
- e. Kamera Smartphone Redmi Note 3.

3.2.2 Bahan

- a. Ban dengan diameter velg 14 inchi dengan tipe 90/90-14 M/C 46P merk Corsa
- b. Ban dalam
- c. Velg sepeda motor dengan diameter 14 inchi

3.3 Variabel Penelitian

3.3.1 Variabel bebas

- a. Variabel bebas dari penelitian tentang *rolling resistance* ini adalah *slip angle* dari ban. *Slip angle* divariasikan sebesar 0°, 2°, 4°, 6°, 8°, 10°, 12°.

3.3.2 Variabel kontrol

Variabel kontrol dari penelitian tentang rolling resistance ini adalah:

- Tekanan ban pada 200 kPa (kondisi tekanan *medium* ban)
- Putaran drum adalah 330 rev/min atau lintasan memiliki kecepatan linier 32,3 km/jam
- Tekanan silinder pneumatik pada alat uji *rolling resistance* sebesar 5,25 bar dengan luas silinder sebesar 19,635 cm² atau setara dengan gaya 1011 N.

3.4 Prosedur Penelitian

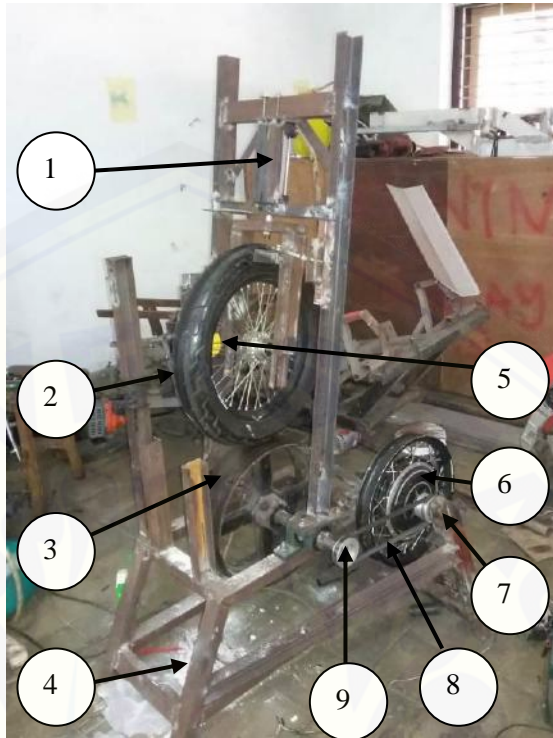
3.4.1 Metode pengujian

Metode pengujian menggunakan metode eksperimental. Metode ini dilakukan dengan cara mengamati tekanan yang dialami silinder pneumatik yang terukur pada spindel ban ketika drum diputar pada putaran 330 rpm. Nilai tekanan pada silinder dilihat dari pressure gauge kompresor. Nilai yang diamati yaitu nilai pegas pada saat sebelum diberi beban radial pada roda (F_{t0}) dan nilai pegas ukur setelah diberi beban radial (F_{t1}) sebesar 1001N dan diputar 330 rev/min.

3.4.2 Langkah pengujian

Langkah Pengujian eksperimental mekanisme pengujian *rolling resistance*:

- a. Memasang roda ban yang akan diuji pada posisi pengujian. Posisi pemasangan adalah sebagaimana pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Alat Uji *Rolling Resistance* (ruang riset tim mobil listrik Titen, LPM UNEJ)

Keterangan:

1. Silinder pneumatik
 2. Ban
 3. Drum
 4. Rangka
 5. Pegas ukur
 6. Motor listrik
 7. *Pulley 1*
 8. *V-belt*
 9. *Pulley 2*
- b. Mengatur baut pengatur sudut dan atur posisi roda hingga pada posisi sudut yang diinginkan.

- c. Putar drum dengan posisi roda menempel pada drum tanpa ada beban. Kemudian catat nilai yang terukur pada pegas yang mengukur gaya (Gambar 3.2) pada poros roda (F_{t0}).



Gambar 3.2 Pegas ukur Gaya Tangensial (ruang riset tim mobil listrik Titen, LPM UNEJ)

- d. Mengkondisikan mekanisme ban yang akan diuji pada kondisi posisi pembebanan radial 1011 N melalui penekan pneumatik. Kompresor memberikan udara pada silinder pneumatik hingga mencapai tekanan 5,25 bar. (Gambar 3.3).



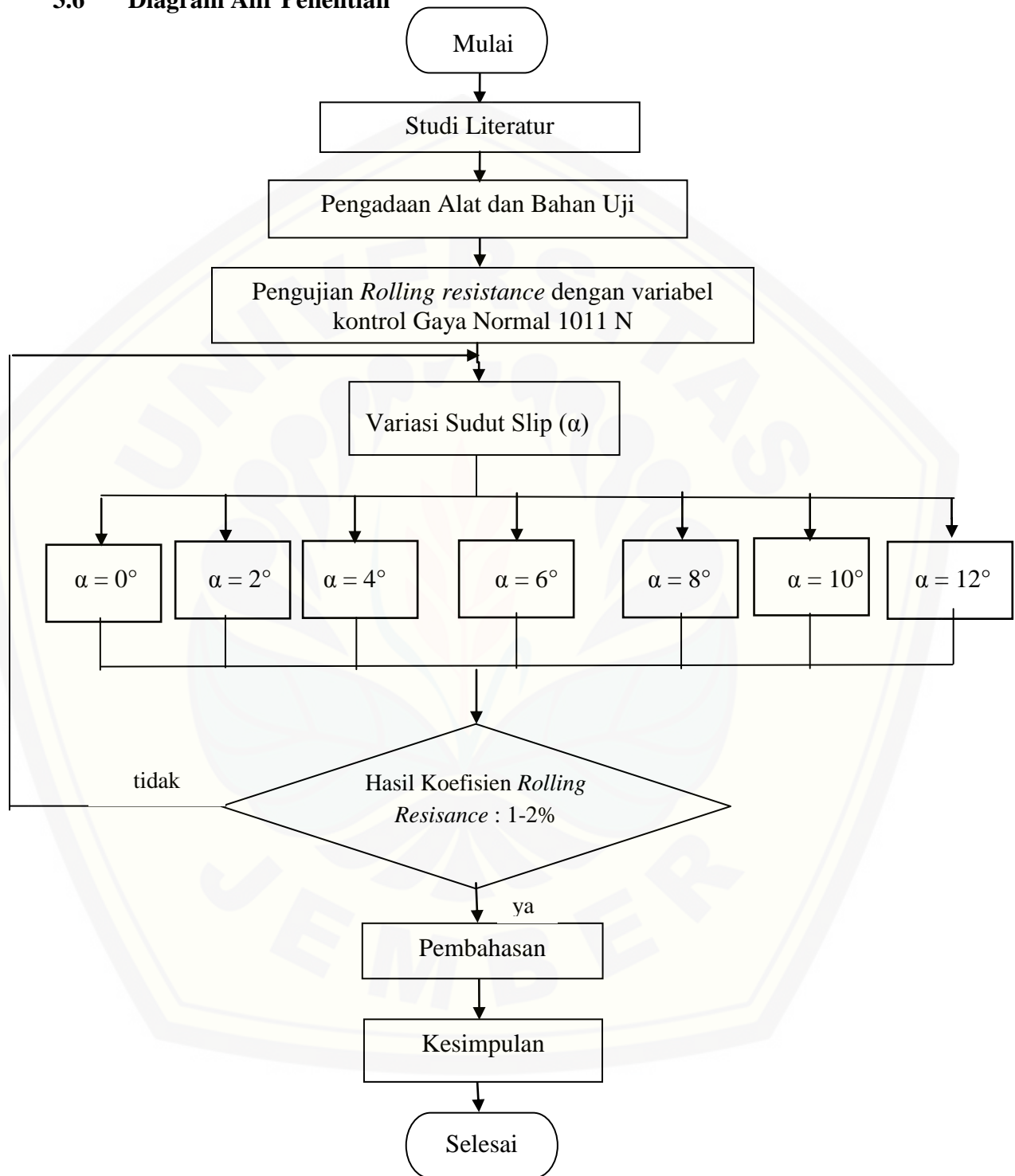
Gambar 3.3 Skema pemberian beban dengan silinder pneumatik (ruang riset tim mobil listrik Titen, LPM UNEJ)

- e. Putar roda uji dengan putaran 330 rpm.
- f. Amati nilai yang terukur pada pegas yang mengukur gaya tangensial roda. (F_{t1})
- g. Ulangi langkah-langkah b sampai e di atas pada variasi *slip angle* 0° , 2° , 4° , 6° , 8° , 12° .

3.5 Pengambilan Data Pengujian

Hasil pengujian sebagaimana disebutkan dalam prosedur penelitian berupa data tangensial atau gaya pada spindel ban sebelum dan sesudah pengamatan dengan variasi sudut slip (*slip angle*) 0° , 2° , 4° , 6° , 8° , 12° .

3.6 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 diagram alir penelitian

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Sudut slip (*slip angle*) ban tipe 90/90 M/C 46P mempengaruhi nilai gaya *rolling resistance*. Semakin besar nilai sudut slip, maka nilai Gaya *Rolling Resistance* semakin besar. Nilai gaya *rolling resistance* terjadi pada sudut slip 0° sebesar 13,206 N. Sedangkan nilai gaya *rolling resistance* terbesar terjadi pada sudut slip 12° sebesar 19,933 N.
2. Nilai sudut slip (*slip angle*) ban tipe 90/90 M/C 46P yang besar menyebabkan nilai koefisien *rolling resistance* semakin besar. Nilai koefisien *rolling resistance* terendah didapatkan pada sudut slip 0° sebesar 1,346%. Sedangkan nilai koefisien *rolling resistance* tertinggi didapatkan pada sudut slip 12° sebesar 2,032%.

5.2 Saran

1. Penelitian ini hanya terbatas pada pengujian 1 tipe dan ukuran ban tertentu. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya bisa dilakukan terhadap beberapa tipe, ukuran serta material ban.
2. Penelitian ini hanya terbatas pada satu aspek dinamika kendaraan. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya bisa dilakukan terhadap pengaruh sudut *camber* dan *chaster* ban.
3. Pada penelitian ini, alat ukur gaya memiliki nilai yang fluktuatif ketika digunakan. Sehingga, peneliti selanjutnya sebaiknya menggunakan alat ukur yang menunjukkan nilai yang stabil.

DAFTAR PUSTAKA

- Clark, S.K. dan Dodge, R.N. 1979. *A Handbook For The Rolling Resistance Of Pneumatic Tires*. Ann Arbor: Industrial Development Division, Institute Of Science And Technology University Of Michigan
- Cossalter, Vittore. 2006. *Motorcycle Dynamics*. Copyright 9781447532767
- Gillespie, D. Thomas. 1992. *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. Society of Auromotive Engineer, Inc. Warrendale, PA.
- Heißing, B. dan Ersoy, M (Ed). 2011. *Chassis Handbook*. Berlin: MercedesDruck.
- IS/ISO 18164 (2005): *Passenger Car, Truck, Bus and Motorcycle Tyres - Methods of Measuring Rolling Resistance* [TED 7: Automotive Tyres, Tubes and Rims]
- Jazar, Reza N. 2008. *Vehicle Dynamics: Theory and Applications*. New York: Springer.
- Juhala, M. 2014. *Improving Vehicle Rolling Resistance and Aerodynamics*. Aalto university, Finland : Woodhead Publishing Limited.
- Mahfud, Ahmad. 2016. Pengaruh *Viscoelasticity* terhadap Nilai *Rolling Resistance* pada Ban Radial. *Skripsi*. Universitas Jember.
- Muttaqin, MM. 2015. Pengaruh Tekanan Udara (Inflation Pressure) pada Ban Tipe Radial Ply terhadap Rolling Resistance. *Jurnal ROTOR*. Vol. 8 Nomor 2, November 2015
- National Research Council Of The National Academies. 2006. *Tires and passenger vehicle fuel economy*. Washington, D.C : ISBN 0-309-09421-6
Oxford, UK: John Wiley & Sons, Ltd ISBN: 0-470-85163-5
- Redrouthu, B. M. dan Das, Sidharth. 2014. "Tyre Modelling for Rolling Resistance". *Thesis*. Sweden: Chalmers University Of Technology
- Salaani, K. dkk, *NHTSA TIRE ROLLING RESISTANCE TEST DEVELOPMENT PROJECT – PHASE I*, US: Transportation Research Center Inc

- Siahaan, I. H. 2007. “Kajian Wheel's Slip Angle Pada Model Tractor Semitrailer akibat Tekanan rem di Jalan menikung”. *Prosiding Design and Application of Technology*. Surabaya: Universitas Kristen Petra.
- Siahaan, I. H. dan Anggono, W. *Fenomena Parameter Design Pengaruh Tipe Ban dan Kontak Permukaan Jalan Terhadap Transformasi Gaya Dorong Gabungan Tingkatan Transmisi Jalan Datar*. Surabaya : Universitas Kristen Petra.
- Sutantra, I. N. dan Sampurno, B. 2010. *Teknologi Otomotif*. Surabaya: Penerbit Guna Widya.
- Taghavifar, H. dan Mardani, A. 2013. “Investigating the effect of velocity, inflation pressure, and vertical load on rolling resistance of a radial ply tire”. *Journal of Terramechanics* 50 (2013) 99–106.
- Virkar, D S dan Thombare, D G. 2013. “Parametric Study And Experimental Evaluation Of Vehicle Tire Performance”. *Int. J. Mech. Eng. & Rob. Res.* 2 (2).
- IRC Tire Motorcycle & Tube Catalogue 2013-2104. www.ircthailand.com
- Pengetahuan tentang Macam-macam Ban. Dilihat pada 29 Maret 2016 dari website <http://www.bridgestone.co.id>
- Richard “Doc” Hathaway. *Steer angles, Ackerman and Tire Slip angles. H&S Prototype and Design, LLC*. Dilihat pada 1 Desember 2016 dari website <http://sweetmfg.biz/uploads/files/tech-04understandingsteering-4.pdf>

LAMPIRAN

Lampiran A. Data Hasil Penelitian

Tabel A.1 Hasil Pengukuran sebelum Pembebanan

Percobaan	Slip angle (α°)	Nilai pegas sebelum diputar (N)	Nilai pegas setelah pembebanan (N)		Nilai rata-rata pegas (N)	Nilai akhir/Gaya Tangensial F_{t0} (N)
			Min	Max		
1	0	20	20	25	22,5	2,5
2		22,5	22,5	27,5	25	2,5
3		20	20	25	22,5	2,5
1	2°	22,5	22,5	27,5	25	2,5
2		20	20	25	22,5	2,5
3		20	20	25	22,5	2,5
1	4°	20	20	25	22,5	2,5
2		20	20	25	22,5	2,5
3		20	20	25	22,5	2,5
1	6°	20	20	25	22,5	2,5
2		22,5	22,5	27,5	25	2,5
3		22,5	22,5	30	26,25	3,75
1	8°	22,5	22,5	27,5	25	2,5
2		22,5	22,5	27,5	25	2,5
3		22,5	22,5	30	26,25	3,75
1	10°	22,5	25	32,5	28,75	6,25
2		22,5	25	32,5	28,75	6,25
3		22,5	25	30	27,5	5
1	12°	22,5	32,5	42,5	37,5	15
2		22,5	30	35	32,5	10
3		22,5	32,5	40	36,25	13,75

Tabel A.2 Data Hasil Pengukuran setelah Pembebanan

Percobaan	Slip angle (α°)	Nilai pegas sebelum diputar (N)	Nilai Ban setelah pembebanan (N)		Nilai rata-rata pegas (N)	Nilai Akhir/ Gaya Tangensial Ft ₁ (N)
			Min	Max		
1	0	20	42,5	50	46,25	26,25
2		20	37,5	45	41,25	21,25
3		20	42,5	50	46,25	26,25
1	2	22,5	45	52,5	48,75	26,25
2		22,5	45	50	47,5	25
3		20	42,5	52,5	47,5	27,5
1	4	22,5	50	55	52,5	30
2		22,5	45	57,5	51,25	28,75
3		22,5	45	55	50	27,5
1	6	22,5	47,5	60	53,75	31,25
2		20	50	60	55	35
3		22,5	50	57,5	53,75	31,25
1	8	22,5	50	57,5	53,75	31,25
2		22,5	50	60	55	32,5
3		22,5	57,5	62	59,75	37,25
1	10	22,5	55	65	60	37,5
2		22,5	55	65	60	37,5
3		22,5	55	67,5	61,25	38,75
1	12	20	65	72,5	68,75	48,75
2		20	60	70	65	45
3		22,5	62,5	72,5	67,5	45

Tabel A.3 Data Hasil Perhitungan

Sudut slip (°)	(F _{t0}) (N)	(F _{t1}) (N)	F _{Pf} (N)	F _{Pf} rata-rata (N)	F _r (N)	F _{rs} (N)	F _{rs} rata (N)	Cr (%)	Cr rata-rata (%)
0	2,50	26,25	5,750	5,750	54,625	14,202	13,205	1,448	1,346
	2,50	21,25	5,750		43,125	11,212		1,143	
	2,50	26,25	5,750		54,625	14,202		1,448	
2	2,50	26,25	5,750	5,750	54,625	14,202	14,202	1,448	1,448
	2,50	25,00	5,750		51,750	13,455		1,372	
	2,50	27,50	5,750		57,500	14,950		1,524	
4	2,50	30,00	5,750	5,750	63,250	16,445	15,697	1,676	1,600
	2,50	28,75	5,750		60,375	15,697		1,600	
	2,50	27,50	5,750		57,500	14,950		1,524	
6	2,50	31,25	5,750	6,708	66,125	17,192	17,691	1,752	1,803
	2,50	35,00	5,750		74,750	19,435		1,981	
	3,75	31,25	8,625		63,250	16,445		1,676	
8	2,50	31,25	5,750	6,708	66,125	17,192	18,388	1,752	1,874
	2,50	32,50	5,750		69,000	17,940		1,829	
	3,75	37,25	8,625		77,050	20,033		2,042	
10	6,25	37,50	14,375	13,417	71,875	18,687	19,186	1,905	1,955
	6,25	37,50	14,375		71,875	18,687		1,905	
	5,00	38,75	11,500		77,625	20,182		2,057	
12	15,00	48,75	34,500	29,708	77,625	20,182	19,933	2,057	2,032
	10,00	45,00	23,000		80,500	20,930		2,133	
	13,75	45,00	31,625		71,875	18,687		1,905	

Tabel A.4 Nilai Luas Kontak Ban

Sudut slip (°)	A (mm ²)
0	3681,585
2	3735,191
4	4053,509
6	4117,476
8	4334,19
10	4541,862
12	4645,673

Lampiran B. Cara Perhitungan

B. 1 Perhitungan Gaya Parasitif (F_{pf})

$$F_{pf} = F_{t0} \left(1 + \frac{r_b}{R_d} \right)$$

Contoh pada sudut 0° :

$$- \text{ Percobaan 1. } F_{pf} = 2,50 \left(1 + \frac{0,26}{0,20} \right) = 5,75 \text{ N}$$

$$- \text{ Percobaan 2. } F_{pf} = 2,50 \left(1 + \frac{0,26}{0,20} \right) = 5,75 \text{ N}$$

$$- \text{ Percobaan 3. } F_{pf} = 2,50 \left(1 + \frac{0,26}{0,20} \right) = 5,75 \text{ N}$$

Kemudian nilai gaya parasitif pada ketiga percobaan dicari nilai rata-ratanya, sehingga

$$F_{pf} \text{ rata-rata} = \frac{\sum F_{pf}}{3} = \frac{5,75 + 5,75 + 5,75}{3} = \frac{17,25}{3} = 5,75 \text{ N}$$

B. 2 Perhitungan Gaya *Rolling Resistance* (F_r)

$$F_r = F_{t1} \left(1 + \frac{r_b}{R_d} \right) - F_{pf}$$

Sudut 0° :

$$- \text{ Percobaan 1. } F_r = 26,25 \left(1 + \frac{0,26}{0,20} \right) - 5,75 = 54,62 \text{ N}$$

$$- \text{ Percobaan 2. } F_r = 21,25 \left(1 + \frac{0,26}{0,20} \right) - 5,75 = 43,12 \text{ N}$$

$$- \text{ Percobaan 3. } F_r = 26,25 \left(1 + \frac{0,26}{0,20} \right) - 5,75 = 54,62 \text{ N}$$

B. 3 Perhitungan Ekuivalensi terhadap Alat Standar (K)

$$K = \sqrt{\frac{(R_d1 \cdot R_d)(R_d + R_b)}{(R_d1 + R_b)}}$$

$$K = \sqrt{\frac{(0,75 \cdot 0,2)(0,2 + 0,26)}{(0,75 + 0,26)}}$$

$$K = 0,26$$

B. 4 Perhitungan Gaya *Rolling Resistance Standar*

$$F_{rs} \approx K F_r$$

Sudut 0° :

– Percobaan 1:

$$F_{rs} = 0,26 F_r = 0,26 \cdot 54,625 = 14,202 \text{ N}$$

– Percobaan 2:

$$F_{rs} = 0,26 F_r = 0,26 \cdot 43,125 = 11,212 \text{ N}$$

– Percobaan 3:

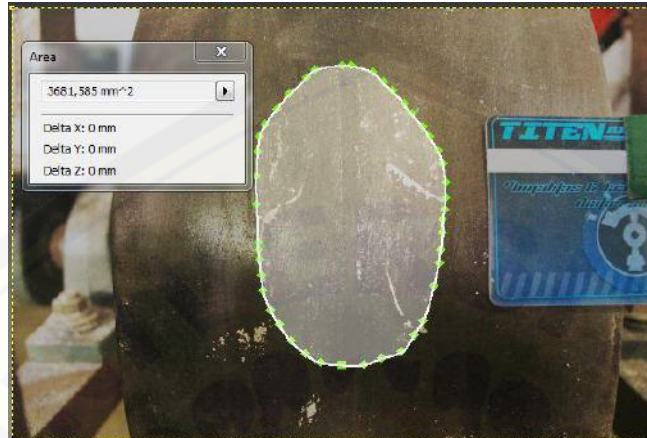
$$F_{rs} = 0,26 F_r = 0,26 \cdot 54,625 = 14,202 \text{ N}$$

Kemudian nilai gaya *rolling resistance* standar pada ketiga percobaan dicari nilai rata-ratanya, sehingga

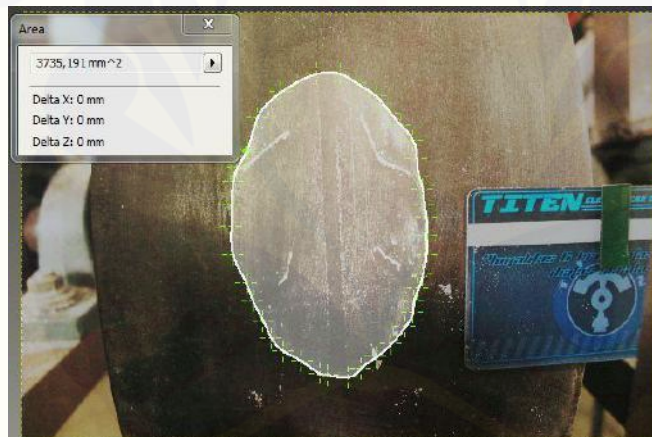
$$F_{rs} \text{ rata-rata} = \frac{\sum F_{rs}}{3} = \frac{14,202 + 11,212 + 14,202}{3} = \frac{39,616}{3} = 13,205 \text{ N}$$

B. 5 Perhitungan luas tapak ban dengan Autodesk Inventor 2013

– Sudut 0°:



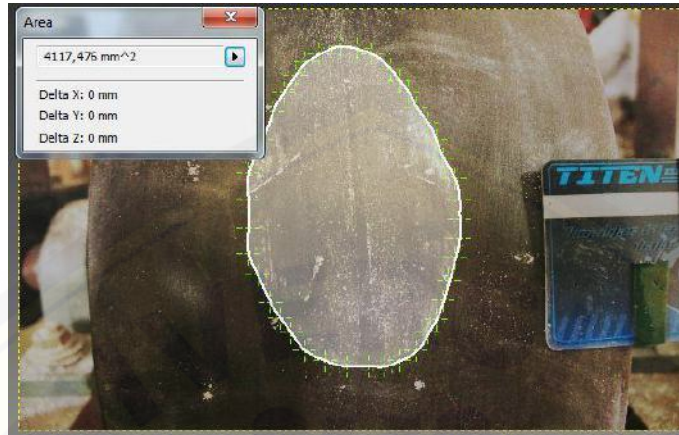
– Sudut 2°:



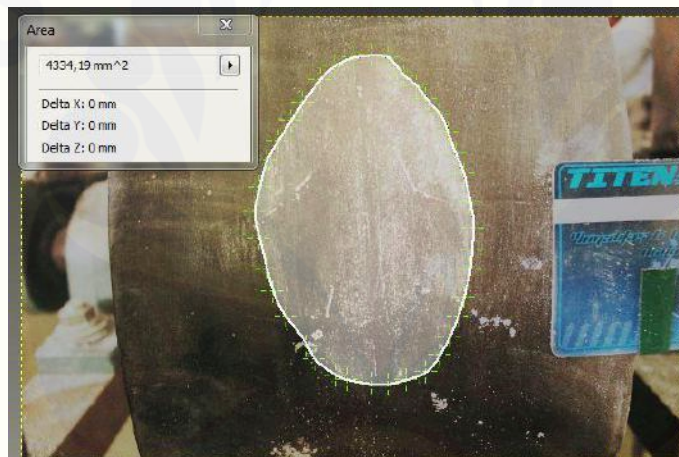
– Sudut 4°:



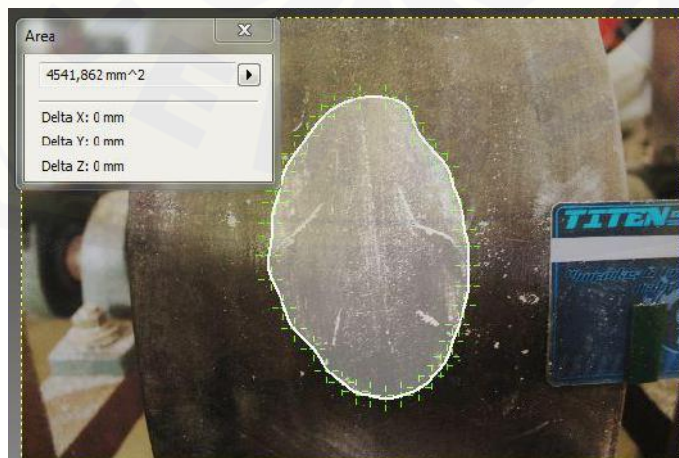
– Sudut 6°:



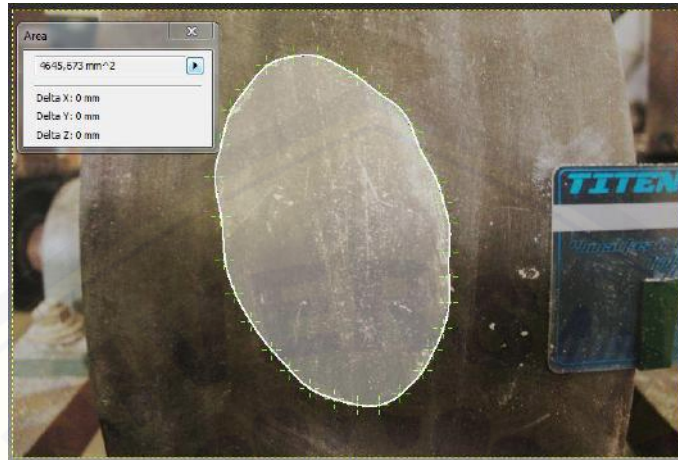
– Sudut 8°:



– Sudut 10°:



– Sudut 12°:



Lampiran C. Foto Kegiatan Penelitian



Gambar C.1 Foto pemasangan ban yang akan diuji



Gambar C.2 Pengaturan sudut slip



Gambar C.3 Busur derajat (alat ukur sudut slip)



Gambar C.4 Pegas pengukur gaya tangensial