



TUGAS AKHIR - TM141585

***PEMODELAN DAN ANALISA ANTILOCK BRAKING
SYSTEM (ABS) PADA MILITARY VEHICLE STUDI
KASUS PANSER ANOA APC 6X6***

MUHAMMAD JUNDULLOH
NRP 2111100145

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

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**



TUGAS AKHIR – TM141585

PEMODELAN DAN ANALISA *ANTILOCK BRAKING SYSTEM* (ABS) PADA *MILITARY VEHICLE* STUDI KASUS PANSER ANOA APC 6X6

MUHAMMAD JUNDULLOH
NRP. 2112100145

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

PROGRAM SARJANA
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017



FINAL PROJECT – TM141585

MODELING AND ANALYSIS *ANTILOCK BRAKING SYSTEM (ABS) IN MILITARY VEHICLE CASE STUDY PANSER ANOA APC 6X6*

MUHAMMAD JUNDULLOH
NRP. 2112100145

Advisory Lecturer
Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc, Ph.D

BACHELOR PROGRAM
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2017

**PEMODELAN DAN ANALISA ANTILOCK BRAKING
SYSTEM (ABS) PADA MILITARY VEHICLE STUDI
KASUS PANSER ANOA APC 6X6**

TUGAS AKHIR

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

Oleh :

MUHAMMAD JUNDULLOH
NRP. 2111100145

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, MSc.Ph.D (Pembimbing)
NIP. 195106051978031002
2. Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA (Penguji I)
NIP. 196508101991021001
3. Ir. Julendra Bambang Ariatedja, MT. (Penguji II)
NIP. 196807061999031004
4. Aida Annisa Amin Daman, ST., MT. (Penguji III)
NIP. 198907052015042005

**SURABAYA
JANUARI, 2017**

**PEMODELAN DAN ANALISA ANTILOCK BRAKING
SYSTEM (ABS) PADA MILITARY VEHICLE STUDI KASUS
PANSER ANOA APC 6X6**

Nama Mahasiswa : Muhammad Jundulloh
NRP : 2111100145
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc,
Ph.D

Abstrak

Dari awal terciptanya hingga saat ini, berbagai macam sistem dalam kendaraan terus menjadi obyek penelitian misalnya keamanan, kenyamanan dan kemudahan dalam pemakaian serta keindahan desain interior dan eksterior dari bentuk kendaraan itu sendiri. Salah satu sistem yang sangat berperan penting dalam kendaraan adalah sistem pengereman yang mempunyai fungsi memberhentikan laju kendaraan. Salah satu metode untuk mengetahui performa dari sistem pengereman yaitu dengan melakukan pemodelan dinamis.

Dalam tugas akhir ini akan dilakukan pemodelan Antilock Braking System dan analisa pada kendaraan Military Vehicle Panser Anoa APC 6X6. ABS diberikan di dua roda belakang dan parameter sistem rem sebelumnya diambil dari PT PINDAD. Lalu hasil analisa ini didapat nilai gaya di brake pedal, gaya di booster rem, tekanan di master silinder, gaya di caliper, gaya dan torsi di disk pad. Setelah itu menambahkan komponen ABS kemudian dilakukan pemodelan dan simulasi dengan software dengan kecepatan Panser 60 km/jam dan membandingkan stopping distance LBS terhadap ABS sesuai standar internasional serta perilaku beloknya.

Skema untuk ABS Panser sama seperti yang LBS namun ada tambahan komponen seperti ABS Control Unit, Hydraulic Modulator dan Wheel Speed Sensor. Dan dari simulasi didapatkan respon stopping distance ABS = 16 meter, LBS = 18.45 meter.

Untuk waktu pengereman ABS = 1.94 detik, LBS = 2.20 detik. Nilai koefisien gesek lateral LBS = 0.00 sedangkan untuk ABS nilai koefisien gesek lateralnya = 0.10 – 0.40, sehingga perilaku belok LBS lebih cenderung oversteer dibanding ABS.

Kata kunci : Antilock Braking System, ABS, Military Vehicle Dynamic, Stopping Distance.

**MODELING AND AND ANALYSIS ANTILOCK BRAKING
SYSTEM (ABS) IN MILITARY VEHICLE CASE STUDY
PANSER ANOA APC 6X6**

Name : Muhammad Jundulloh
NRP : 2111100145
Department : Mechanical Engineering FTI-ITS
**Advisor Lecturer : Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc,
Ph.D**

Abstract

From the beginning of creation until today, a wide variety of systems in the vehicle continuous to be an object of research such as safety, comfort and ease of use as well as the beauty of the interior and exterior design of the shape of the vehicle itself. One of the very system plays an important role in the vehicle's braking system which has the function of removing rate of the vehicle. One method to determine the performance of the braking system that is by doing dynamic modeling.

In this final project will conducted modeling antilock braking systems and analysis in military vehicle Panser Anoa APC 6X6. ABS are given in the two rear wheels and brake system parameters previously taken from PT PINDAD. Then the results of the analysis obtained force value on the brake pedal force, force on the brake booster, pressure on the master cylinder, force on the caliper, force and torque on the disk pad. After that adding a

component ABS then performed modeling and simulations with software while speed panser 60 km per hour and comparing stopping distance LBS against ABS appropriate international standards and Panser braking behavior when turning.

Schematic for ABS Panser is same as LBS but there are additional components such as ABS Control Unit, Hydraulic Modulator and Wheel Speed Sensor. And from simulation we obtained stopping distance ABS response = 16 meters, LBS = 18.45 meters. For the ABS braking time = 1.94 seconds, LBS = 2.20 seconds. The lateral coefficient of friction LBS = 0.00 while for ABS lateral coefficient of friction = 0.10 - 0.40, so that the behavior when turning LBS is more likely oversteer than ABS.

Keywords: Antilock Braking System, ABS, Military Vehicle Dynamic, Stopping Distance.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir strata (S1). Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan kelulusan pendidikan sarjana S-1 di Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS.

Penulis juga ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sangat dalam kepada semua pihak yang telah banyak membantu dan berperan penting pada penyelesaian tugas akhir ini, yaitu:

1. **Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc, Ph.D** selaku dosen pembimbing yang telah rela meluangkan waktu, tenaga dan pikiran ditengah kesibukannya untuk tidak henti-hentinya membimbing dan mendidik penulis hingga terselesaikannya tugas akhir ini.
2. **Arif Solachudin** dan **Fanida Hanin** selaku kedua orang tua penulis yang tak pernah lelah mendoakan, mendidik serta selalu mendukung penulis hingga saat ini. Semoga gelar ini dapat membuat senyum bahagia diwajah mereka.
3. **Haqqi** dan **Hammam**, selaku adik penulis yang selalu ada dan selalu memberi motivasi penulis hingga terselesaikannya tugas akhir ini.
4. **Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA** serta **Ir. Julendra Bambang Ariatedja, MT** dan juga **Aida Annisa Amin Daman, ST, MT** selaku dosen penguji dalam sidang tugas akhir penulis yang telah memberikan saran, kritik, dan masukan pada laporan tugas akhir ini.
5. **Prof. Dr.-Ing. Ir. I Made London Batan, M.Eng** selaku dosen wali penulis yang selalu mengingatkan serta memberi konsistensi semangat juang agar tetap fokus dalam perkuliahan.

6. **Prof. Dr. Ir. Djoko Sungkono Kawano, M.EngSc** selaku salah satu dosen senior terbaik yang telah membuat pemahaman penulis tentang *Internal Combustion Engine* (ICE) menjadi terbuka dan terus memicu semangat penulis untuk *passion* di bidang ICE.
7. **Vivien Suphandani Djanali, ST, M.Eng, Ph.D** selaku dosen yang penulis idolakan karena pembawaan dan paradigma nya yang super sekali sehingga membuat titik balik kebangkitan disaat penulis mengalami masa sulit.
8. Saudara, teman, rekan, serta sahabat seperjuangan Teknik Mesin **angkatan M-54** yang selalu memberi dukungan kepada penulis dalam berbagai cara, semoga silaturahmi ini terjaga hingga tutup usia.
9. Fossil Academy & Koko Maliang : **Johan, IBP, Kukuh, Satpam, Par'iy, Helbi, Gafar, Meylana, Gandung, Wira, Fadhil, Rasidi, Fikri, Noval, Bangur** yang telah hidup bareng selama 5th dan telah membuat penulis belajar betapa kerasnya kehidupan ini.
10. SMANISDA IPA 5 (Antek-Antek) : **Aab, Aliv, Benny, Hendra, Niko, Teguh, Ujek, Wignu** yang selalu mendukung dan memotivasi penulis sampai sekarang.
11. Seluruh pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu.

Besar harapan agar tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kehidupan dan siapa saja yang membutuhkan. Penulis menyadari masih banyaknya kekurangan dalam tugas akhir ini, oleh sebab itu penulis memohon maaf sebesar-besarnya.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR NOTASI	xiii

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan	2
1.4. Batasan Masalah	2
1.5. Manfaat	3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Sistem Pengereman pada Kendaraan.....	10
2.3 <i>Antilock Braking System</i>	11
2.3.1 <i>Understeer</i> dan <i>Oversteer</i>	13
2.3.2 Komponen <i>Antilock Braking System</i>	14
2.3.3 <i>Antilock Braking System Control</i>	17
2.3.4 Indikator Performa ABS dan Kenyamanan Pengereman Kendaraan.....	20
2.4 Analisa Pemodelan Distribusi Pengereman.....	21
2.4.1 Gaya Pedal Rem.....	21
2.4.2 Tekanan Hidrolik Master Silinder.....	22
2.4.3 Gaya Pada <i>Disc Brake</i>	23
2.4.4 Hubungan Traksi atau Gaya Rem Terhadap <i>Slip</i> dari Roda	25

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahap Studi Literatur.....	31
3.2 Tahap Desain	32
3.3 Tahap Analisa	33
3.4 Data Kendaraan	39

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Titik Berat Kendaraan	41
4.1.1 Perhitungan Tanpa Penumpang.....	47
4.1.2 Perhitungan Dengan Penumpang.....	47
4.2 Analisa Pada Komponen Rem	48
4.2.1 <i>Brake Pedal</i>	48
4.2.2 <i>Brake Booster</i>	49
4.2.3 Master Silinder	50
4.2.4 Kaliper	51
4.2.5 <i>Disc Brake</i>	52
4.3 Desain <i>Antilock Braking System</i>	53
4.3.1 <i>Schematic Lock Braking System</i>	53
4.3.2 <i>Schematic Antilock Braking System</i>	54
4.4 Pemodelan Kendaraan	56
4.4.1 Pemodelan Dinamis Kendaraan.....	56
4.4.2 Pemodelan Roda Kendaraan.....	56
4.4.3 Pemodelan di Simulink.....	57
4.5 Hasil <i>Lock</i> dan <i>Antilock Braking System</i>	58
4.5.1 Respon <i>Relative Slip</i>	59
4.5.2 Respon <i>Stopping Distance</i>	59
4.5.3 Respon Kecepatan Angular Roda vs Kecepatan Kendaraan.....	60
4.5.4 Respon Perlambatan	61
4.5.5 Respon Perilaku Belok Kendaraan	62

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.....	65
5.2 Saran	66

DAFTAR PUSTAKA	67
-----------------------------	----

LAMPIRAN**BIODATA PENULIS**

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Respon Kecepatan Hasil Pengujian.....	5
Gambar 2.2	Kecepatan Kendaraan dan Kecepatan Roda Tanpa ABS	6
Gambar 2.3	Kecepatan Kendaraan dan Kecepatan Roda Dengan ABS	7
Gambar 2.4	Kecepatan Kendaraan dan Kecepatan Roda Dengan Hidrolik ABS.....	8
Gambar 2.5	Kecepatan Kendaraan dan Kecepatan Roda Dengan Regeneratif ABS.....	9
Gambar 2.6	Kecepatan Kendaraan dan <i>Stopping Distance</i> Regeneratif ABS.....	9
Gambar 2.7	<i>Brake System</i> dengan ABS	11
Gambar 2.8	Pengaruh <i>Skid</i> terhadap Koefisien Adhesi.....	12
Gambar 2.9	Kendaraan <i>Understeer</i> dan <i>Oversteer</i>	13
Gambar 2.10	<i>ABS Control Unit</i>	14
Gambar 2.11	Modulator Hidrolik.....	15
Gambar 2.12	Sensor Kecepatan Roda dan <i>Reluctor Ring</i>	16
Gambar 2.13	Blok Diagram ABS.....	17
Gambar 2.14	<i>ABS Control Loop</i>	18
Gambar 2.15	Contoh dari Kontrol ABS	19
Gambar 2.16	Model Dan Gaya Pedal Rem	21
Gambar 2.17	Gaya Pedal dan Tekanan pada Master Silinder	22
Gambar 2.18	Gambar Gaya-Gaya Pada <i>Disc Brake</i>	23
Gambar 2.19	Koefisien Gesek Berbagai Bahan <i>Brake Pad</i>	24
Gambar 2.20	Torsi Yang Bekerja Pada Roda	25
Gambar 3.1	Flowchart desain ABS dan pengaruh <i>antilock</i> pada performa dari <i>sixths-vehicle model</i> Panser	30
Gambar 3.2	<i>Free Body Diagram</i> Panser Anoa APC 6X6	31
Gambar 3.3	Flowchart Desain ABS pada Panser Anoa APC 6X6.....	34
Gambar 3.4	Flowchart Analisa ABS <i>sixths-vehicle model</i> Panser	37
Gambar 3.5	<i>Schematic Brake System</i> Panser Anoa APC 6X6 .	38
Gambar 4.1	menimbang berat Panser keseluruhan	41

Gambar 4.2	menimbang berat Panser bagian tengah dan depan	41
Gambar 4.3	menimbang berat Panser bagian depan.....	42
Gambar 4.4	menimbang berat Panser bagian tengah dan belakang.....	42
Gambar 4.5	menimbang berat Panser bagian belakang.....	43
Gambar 4.6	menimbang berat Panser bagian samping kanan ..	43
Gambar 4.7	menimbang berat Panser bagian samping kiri	44
Gambar 4.8	menimbang berat Panser depan dan tengah (kondisi belakang miring).....	44
Gambar 4.9	jarak CG dari roda depan dan belakang	45
Gambar 4.10	jarak CG dari roda samping	46
Gambar 4.11	<i>Free body diagram</i> Panser.....	47
Gambar 4.12	<i>Brake Pedal Schematic</i>	49
Gambar 4.13	<i>Brake booster Schematic</i>	50
Gambar 4.14	<i>Master Silinder Schematic</i>	50
Gambar 4.15	<i>Kaliper Schematic</i>	51
Gambar 4.16	<i>Disc Brake Schematic</i>	52
Gambar 4.17	<i>Schematic Lock Braking System</i>	53
Gambar 4.18	<i>Schematic Antilock Braking System</i>	54
Gambar 4.19	<i>Free body diagram brake</i> dan roda.....	57
Gambar 4.20	Blok Simulink MATLAB <i>Antilock BrakinSystem</i>	58
Gambar 4.21	Grafik perbandingan respon <i>slip</i> LBS dan ABS ...	59
Gambar 4.22	Grafik perbandingan jarak pengereman LBS dan ABS	59
Gambar 4.23	Grafik kecepatan angular roda dan kendaraan LBS.....	60
Gambar 4.24	Grafik kecepatan angular roda dan kendaraan ABS	61
Gambar 4.25	Grafik perbandingan perlambatan kendaraan LBS dan ABS	61
Gambar 4.26	Pengaruh <i>Skid</i> terhadap Koefisien Adhesi.....	62
Gambar 4.27	Grafik perbandingan respon <i>slip</i> LBS dan ABS ...	62
Gambar 4.28	Hubungan <i>Skid</i> terhadap Koefisien Adhesi	63

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan <i>Stopping Distance</i> Hasil Simulasi	6
Tabel 3.1	Data spesifikasi Panser Anoa APC 6X6.....	39
Tabel 4.1	Respon Parameter ABS dan LBS	64

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR NOTASI

M File Matlab

A_f	=	luas frontal
A_{mc}	=	luas master <i>caliper</i>
A_{ms}	=	luas master silinder
C_D	=	koefisien <i>drag</i> kendaraan penumpang
ctrl	=	1 : ABS On // 0 : ABS Off
F_{pe}	=	gaya pedal
F_r	=	koefisien hambatan
g	=	gravitasi bumi
J	=	inersia roda
K_{fds}	=	koefisien <i>disk pad</i>
K_{lag}	=	tekanan pengereman
l_a	=	jarak pedal rem ke tumpuan
l_b	=	jarak <i>push rod</i> ke tumpuan
m	=	massa kendaraan
m_f	=	massa depan kendaraan
m_r	=	massa belakang kendaraan
mu slip	=	koefisien gesek
P_{lagmax}	=	tekanan pengereman
R_r	=	radius dinamis roda
V_0	=	kecepatan awal Panser

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem pengereman dalam kasus ini *disc brake* adalah sebuah sistem yang memiliki komponen seperti tuas rem, rem *booster*, master silinder, reservoir minyak rem, pipa rem, selang rem, kaliper, dan cakram. *Antilock Braking System* (ABS) sendiri mempunyai komponen yang sama dengan *disc brake*, namun ada tambahan seperti ABS *control unit*, kabel interkoneksi, modulator hidrolis (termasuk di dalamnya katup solenoid dan pompa), *warning lamp* ABS, sensor kecepatan roda. ABS pada dasarnya yaitu mendeteksi jika salah satu roda mengunci ketika proses pengereman dan ABS memastikan bahwa tekanan rem tetap konstan atau berkurang. Dengan demikian dapat mencegah roda terkunci dan tetap *steerable*, dimana kendaraan bisa mengerem atau berhenti dengan cepat maupun aman.

Pada kehidupan sehari-hari, transportasi sangat penting bagi keberlangsungan kehidupan manusia. Keamanan menjadi faktor yang perlu dikritisi dimana ada sebuah alat transportasi manusia yang dinamakan kendaraan yang seharusnya menjadi hal yang perlu dikaji lagi karena karena banyaknya jumlah kecelakaan kendaraan di Indonesia. Sama halnya dengan kendaraan militer dalam hal ini Panser Anoa APC 6X6, yang memerlukan keamanan saat berkendara. Menurut artikel yang ditulis tahun 2014 oleh [Jawapos.com](#), [Merdeka.com](#) maupun [Tribunnews.com](#) bahwa pada bulan desember tahun 2014 terjadi kecelakaan oleh Panser Anoa APC 6X6 di Singosari, Jawa Timur. Insiden disebabkan oleh jarak dan waktu pengereman yang kurang pas serta terjadinya slip yang mengakibatkan panser menabrak *pick up* dan sepeda motor yang akan berbelok di tikungan. Hal tersebut dipengaruhi oleh teknologi rem pada Panser Anoa APC 6X6 yang masih konvensional,

sehingga diperlukan sistem pengereman yang lebih baik untuk alasan keamanan.

Pada tugas akhir ini dilakukan pemodelan sistem pengereman *Antilock Braking System* dan menganalisa perilaku Panser Anoa APC 6X6. Dimana metode pendesainan adalah dengan melakukan *redesign engineering* sistem pengereman ABS yang telah ada dan menganalisa perilaku dengan simulasi pada MATLAB SIMULINK. Panser Anoa APC 6X6 ini akan menggunakan *Antilock Braking System* pada kedua roda belakangnya. Hal ini terkait pemikiran penulis beserta dosen pembimbing bahwa *oversteer* lebih berbahaya dibanding *understeer* dan faktor lainnya adalah keekonomisan. Parameter yang akan ditinjau adalah perilaku berbelok dan jarak pengereman ketika berjalan lurus.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana cara mengetahui performa dari *Lock Braking System* dan *Antilock Braking System* pada Panser Anoa APC 6X6? lurus.

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui perbandingan performa dari *Antilock Braking System* dan *Lock Braking System* pada Panser Anoa APC 6X6 dengan pemodelan *close loop* untuk ABS dan *open loop* untuk LBS serta mensimulasikannya menggunakan Matlab Simulink.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Spesifikasi Panser Anoa APC 6X6 sesuai dengan data dari PT. PINDAD
2. Studi dilakukan di jalan aspal kering datar.

3. Performa ABS diwakili oleh jarak pengereman di jalan lurus dan perilaku kendaraan di jalan berbelok.
4. Pengereman dilakukan di jalan lurus dan berbelok dengan kecepatan 60 km/jam.
5. Desain skema ABS dan perhitungan hanya pada bagian mekanis saja.
6. Pemodelan ABS menggunakan *sixths-vehicle model*.
7. ABS dipasang pada kedua roda belakang Panser Anoa APC 6X6.

1.5 Manfaat

Adapun manfaat dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

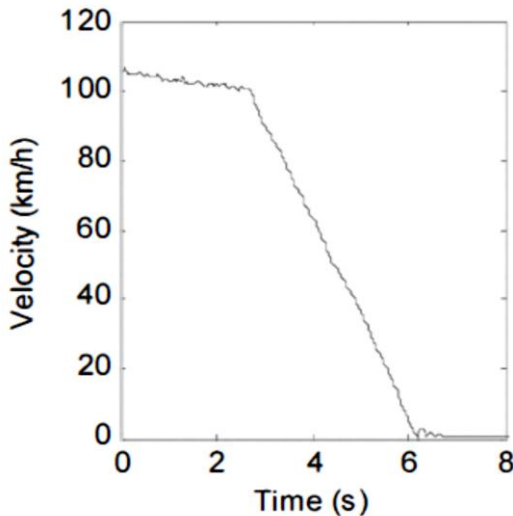
1. Menawarkan sistem pengereman *Antilock* pada Panser Anoa APC 6X6 untuk dapat dikembangkan di kendaraan tempur jenis lain di Indonesia.
2. Dapat dijadikan referensi dalam penelitian tentang *Antilock Braking System* berikutnya.
3. Sebagai media penelitian dan pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi otomotif.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Wenjuan Li dkk (2008) membuat modeling dan simulasi sistem pengereman dengan dasar konfersi energi kinetik dengan menentukan parameter kondisi kecepatan dan menghasilkan jarak pengereman. Untuk membandingkan kinerja kendaraan yang disimulasikan dengan dasar energi kinetik, maka dibandingkan dengan simulasi menggunakan persamaan Newton, $F = m \cdot a$, dimana $F =$ Gaya (N) , $m =$ massa (kg) dan $a =$ percepatan (m/s^2). Tabel 2.1 berikut adalah hasil *stopping distance* dari hasil simulasi pada umumnya menggunakan persamaan hukum Newton dan simulasi dengan persamaan energi kinetik.



Gambar 2.1 Respon Kecepatan Hasil Pengujian

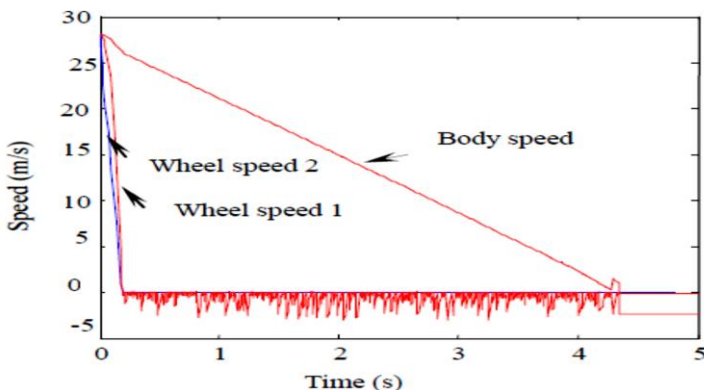
(Wenjuan Li dkk, 2008)

Tabel 2.1 Perbandingan *Stopping Distance* Hasil Simulasi

(Wenjuan Li dkk, 2008)

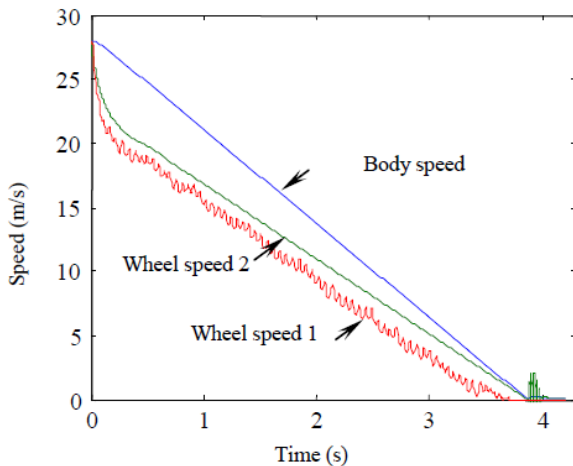
Initial speed (km/h)	Braking distance in (m)	Simulation braking distance (m)
40 (wet road)	18	16
60 (wet road)	36	32
100 (dry road)	52	49

Selain *stopping distance*, dari hasil simulasi didapatkan hasil simulasi berupa kecepatan kendaraan dan kecepatan roda. Simulasi dilakukan dengan dan tanpa ABS. Pada gambar 2.2. dilakukan menunjukkan grafik simulasi kecepatan kendaraan dan kecepatan roda tanpa ABS. Pada gambar 2.2 dijelaskan bahwa *wheel speed 1* adalah hasil simulasi kecepatan roda yang disimulasikan pada penelitian menggunakan energi kinetik.



Gambar 2.2 Kecepatan Kendaraan dan Kecepatan Roda Tanpa ABS (Wenjuan Li dkk, 2008)

Wheel speed 2 adalah kecepatan roda yang disimulasikan menggunakan persamaan pada umumnya. Dari perbandingan kedua kecepatan roda dengan metode yang berbeda tersebut dengan kendaraan tanpa ABS, menunjukkan perbedaan yang tidak cukup signifikan antara keduanya. Sedangkan pada kecepatan kendaraan terjadi selisih waktu pemberhentian selama kurang lebih 5 detik lebih lama dari berhentinya putaran roda. Dalam selisih waktu inilah terjadi slip pada kendaraan. Pada gambar 2.3 dijelaskan bahwa *wheel speed 1* adalah hasil simulasi kecepatan roda yang disimulasikan pada penelitian menggunakan energi kinetik. *Wheel speed 2* adalah kecepatan roda yang disimulasikan menggunakan persamaan pada umumnya. Dari perbandingan kedua kecepatan roda dengan metode yang berbeda tersebut dengan kendaraan ABS, menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan antara keduanya. Pada *wheel speed 1* kendaraan akan berhenti lebih lama, dan hampir bersamaan dengan berhentinya kendaraan. Pada *wheel speed 2* waktu pemberhentian akan lebih cepat dari pada *wheel speed*.

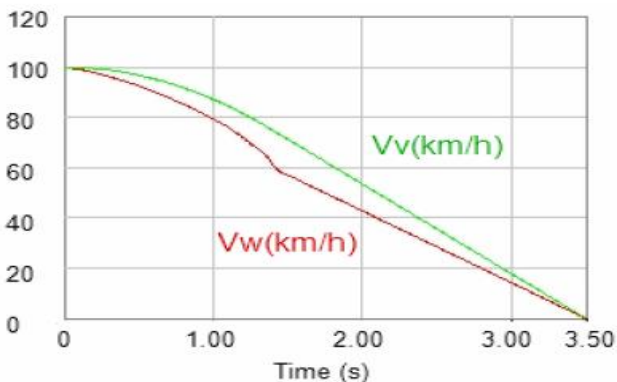


Gambar 2.3 Kecepatan Kendaraan dan Kecepatan Roda Dengan ABS

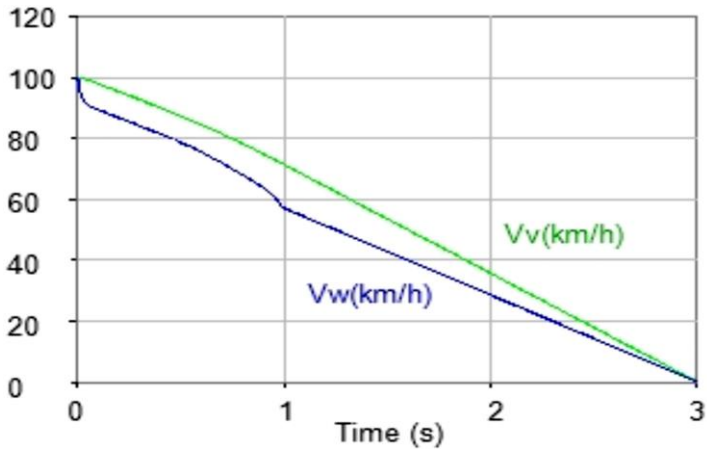
(Wenjuan Li dkk, 2008)

Sedangkan pada kecepatan kendaraan terjadi selisih waktu pemberhentian yang sangat pendek, dan hampir bersamaan dengan *wheel speed* 1, dari pada *wheel speed* 2. Hampir bersamaannya waktu berhentinya roda dengan kendaraan akan menyebabkan tidak terjadi slip pada kendaraan.

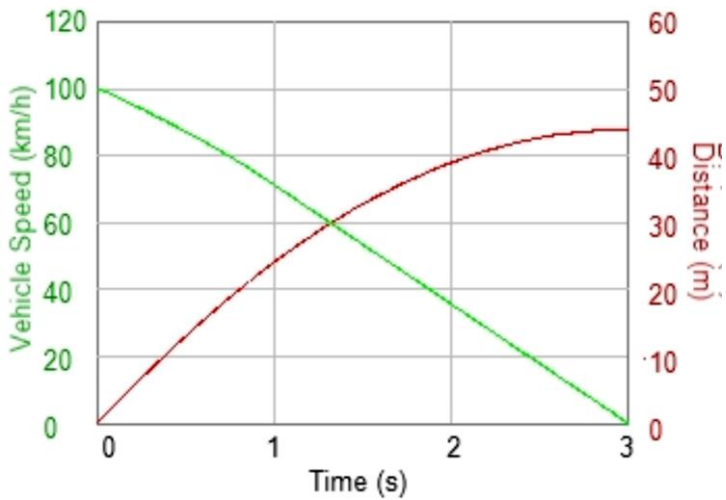
Okan dkk pada tahun 2007 memodelkan seperempat kendaraan tentang pengereman *regeneratif antilock brake system* dari pemodelan tersebut didapatkan hasil simulasi yang menunjukkan bahwa respon regeneratif ABS lebih baik untuk mengerem secara mendadak/darurat dari pada menggunakan *system hydraulic ABS* seperti ditunjukkan pada gambar 2.5. Dengan menganalisa kehandalan, biaya dan ukuran permasalahan kendali elektrik serta energi yang dibutuhkan oleh *storage device* untuk regeneratif ABS, merupakan solusi memungkinkan dalam meningkatkan ABS *hybrid* yang dapat dicapai untuk aplikasi kendaraan dengan menggunakan tegangan listrik sebagai sumber penggerak. Dari pemodelan diketahui perbedaan waktu pengereman kecepatan kendaraan dan kecepatan roda pada regeneratif ABS dengan *hydraulic ABS* dimana waktu yang untuk regeneratif ABS lebih cepat dari *hydraulic ABS*. Grafik kecepatan kendaraan dan kecepatan roda pada regeneratif ABS.



Gambar 2.4 Kecepatan Kendaraan dan Kecepatan Roda Dengan Hidrolik ABS



Gambar 2.5 Kecepatan Kendaraan dan Kecepatan Roda Dengan Regeneratif ABS



Gambar 2.6 Kecepatan Kendaraan dan *Stopping Distance* Regeneratif ABS

Perbandingan pada gambar 2.4 dan 2.5 adalah, pada gambar 2.4 adalah grafik kecepatan kendaraan dan kecepatan roda pada abs yang menggunakan hydraulic. Pada gambar 2.4 adalah kecepatan kendaraan dan kecepatan roda dengan menggunakan regeneratif ABS. Dari perbandingan kedua grafik pada gambar 2.4 dan 2.5 menunjukkan repon regeneratif ABS lebih baik. Respon kecepatan kendaraan dan kecepatan roda pada *hydraulic ABS* akan berhenti pada 3.5 detik sesaat setelah pengereman. Respon kecepatan kendaraan dan roda pada regeneratif ABS memiliki respon lebih baik dengan waktu berhentinya kendaraan dan berhentinya putaran roda adalah 3 detik sesaat setelah pengereman. Terjadi selisih 0.5 detik antara *hydraulic ABS* dengan regeneratif ABS, lebih cepat regeneratif ABS. Respon regeneratif ABS juga ditunjukkan pada gambar 2.6. Pada gambar 2.6 menunjukkan grafik *stopping distance* untuk regeneratif ABS. Pada kecepatan sesaat sebelum pengereman yaitu pada kecepatan 100 km/jam kendaraan akan berhenti selama 3 detik sesaat setelah pengereman dan memiliki jarak pemberhentian sepanjang 44 meter.

2.2 Sistem Pengereman pada Kendaraan

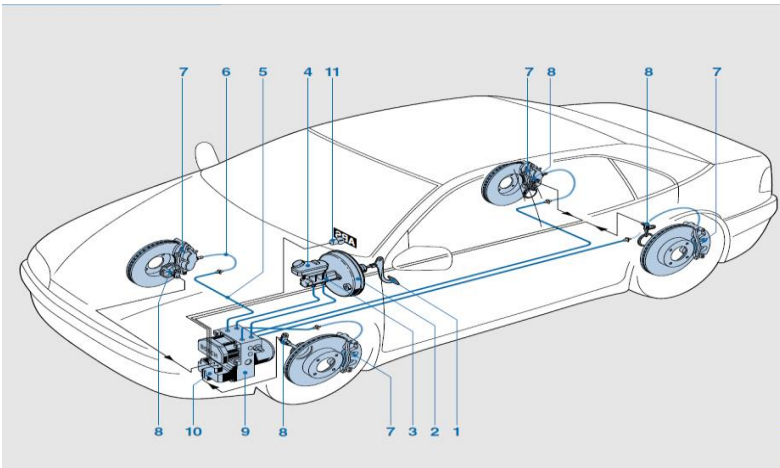
Kebanyakan dari pengendara di jalan raya akan berusaha memperlambat kendaraannya sesegera mungkin ketika melihat rintangan atau hadangan di depan. Di keadaan darurat seperti ini peran rem pada kendaraan sangat dibutuhkan. Rem memiliki satu tugas utama yaitu menghentikan kendaraan. Pada dasarnya rem memanfaatkan gesekan untuk menghentikan kendaraan. Gesekan pada rem timbul dari kontak antara kampas rem atau *friction materials* dengan *metal surfaces* (Puhn, 1985). Rem yang baik dapat bekerja secara terus menerus dan di dalam berbagai kondisi tanpa mengalami kegagalan. Pada umumnya kendaraan saat ini kebanyakan menggunakan *drum brakes*, *disk brakes* atau kombinasi keduanya. Sementara untuk jenis *brake system* dibagi menjadi dua yaitu *Conventional Brake System* dan *Electronic Brake System* (Konrad Reif, 2014).

2.3 *Antilock Braking System*

ABS pada dasarnya yaitu mendeteksi jika salah satu roda mengunci ketika proses pengereman dan ABS memastikan bahwa tekanan rem tetap konstan atau berkurang. Dengan demikian dapat mencegah roda terkunci dan tetap *steerable*, dimana kendaraan bisa mengerem atau berhenti dengan cepat maupun aman. ABS sendiri mempunyai komponen utama yaitu *ABS control unit*, modulator hidrolis (termasuk di dalamnya katup solenoid dan pompa), sensor kecepatan roda

Keterangan Gambar 2.7 :

- | | |
|-------------------------|-----------------------------|
| 1. <i>Brake Pedal</i> | 7. Kaliper |
| 2. <i>Brake Booster</i> | 8. Sensor Kecepatan Roda |
| 3. Master Silinder | 9. Modulator Hidrolik |
| 4. Reservoir Minyak Rem | 10. <i>ABS Control Unit</i> |
| 5. <i>Brake Line</i> | 11. <i>ABS Warning Lamp</i> |
| 6. <i>Brake Hose</i> | |

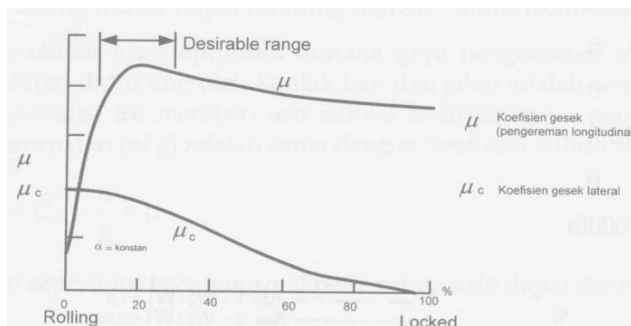


Gambar 2.7 *Brake System* dengan ABS

(Brakes, Brake Control and Driver Assistance Systems ; Konrad Reif, 2014)

Pada pengereman normal, roda akan tetap berputar lalu gaya gesek antara roda dan jalan akan menyebabkan kendaraan terlambat berhenti. Sebaliknya bila roda *lock* tetapi mobil masih mempunyai momentum untuk bergerak ke depan maka ini disebabkan oleh harga koefisien gesek statik (saat roda tidak *lock*) akan lebih besar harganya dibanding harga koefisien gesek kinetik saat roda *lock* akibatnya jarak pengereman akan bertambah panjang dan kendaraan tidak terkendali lagi. Telah disinggung diatas ketika roda *lock*, koefisien adhesi antara roda dan jalan besarnya akan turun pada harga *sliding* (koefisien gesekan kinetik) maka kemampuan roda untuk menerima gaya lateral turun hampir tak ada. Akibatnya kendaraan akan kehilangan kontrol arahnya atau stabilitasnya hilang dan juga pengereman akan bertambah panjang dibanding jarak pengereman minimum yang dapat dicapai.

Gambar dibawah menunjukkan karakteristik umum dari koefisien gesek longitudinal dan koefisien gesek lateral pada *slip angle* tertentu yang mana perbandingan gaya lateral dan gaya longitudinal sebagai fungsi dari prosentase *skid* pada roda yang menggunakan tekanan udara. Perubahan koefisien gesek terhadap perubahan prosentase *skid* dari roda.

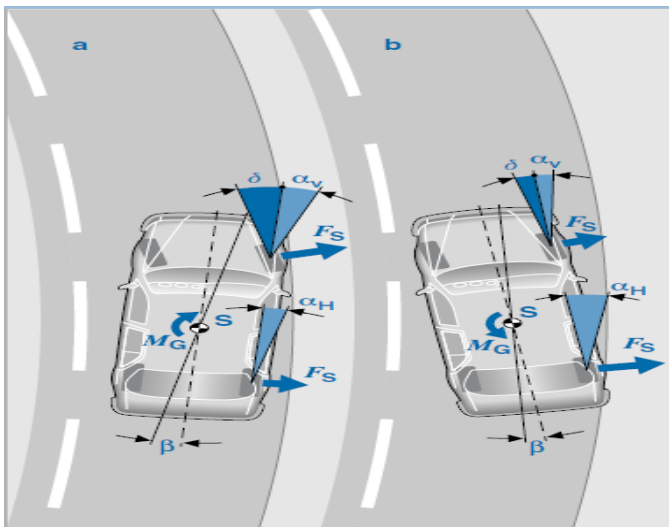


Gambar 2.8 Pengaruh *Skid* terhadap Koefisien Adhesi

(Teknologi Otomotif ; I Nyoman Sutantra & Bambang Sampurno, 2010)

2.3.1 Understeer dan Oversteer

Gaya ketika berbelok antara karet - ban roda dan jalan hanya dapat dihasilkan ketika roda berputar pada sudut *plane* nya. Oleh Karena itu, sudut slip lateral harus diberikan. Kendaraan dikatakan *understeer* jika akselerasi lateral meningkat, sudut slip lateral di *axle* depan lebih besar dibanding *axle* belakang. Akibatnya kendaraan sulit dikendalikan (kehilangan *steering*) atau cenderung sulit belok. Sebaliknya, *oversteer* terjadi jika akselerasi lateral meningkat, sudut slip lateral di *axle* belakang lebih besar dibanding *axle* depan. Akibatnya, kendaraan akan lebih mudah berbelok atau ngepot. Untuk alasan keamanan, kendaraan dirancang sedikit lebih *understeer*. Oleh karena itu *oversteer* lebih berbahaya dibanding *understeer* dan dengan itu, Panser Anoa APC 6X6 akan diberi ABS pada kedua roda belakangnya saja. Dan juga karena alasan keekonomisan mengingat harga ABS yang cukup mahal.



Gambar 2.9 Kendaraan *Understeer* dan *Oversteer*

(Brakes, Brake Control and Driver Assistance Systems ; Konrad Reif, 2014)

Keterangan :

a <i>Understeer</i>	δ <i>Steering angle</i>
b <i>Oversteer</i>	β <i>Side-slip angle</i>
α_v <i>Front lateral slip angle</i>	F_S <i>Lateral force</i>
α_h <i>Rear lateral slip angle</i>	M_G <i>Yaw moment</i>
S <i>Center of Gravity</i>	

2.3.2 Komponen Antilock Braking System

Komponen utama dari *Antilock Braking System* yaitu *ABS control unit*, modulator hidrolis (termasuk di dalamnya katup solenoid dan pompa), sensor kecepatan roda.

a. ABS Control Unit

ABS Control Unit memproses informasi yang diterima dari sensor kecepatan roda sesuai dengan yang ditetapkan oleh prosedur matematika (kontrol algoritma). Hasil perhitungan tersebut membentuk dasar untuk sinyal kontrol yang dikirim ke modulator hidrolis. *ABS Control Unit* biasanya terdiri dari 4 modul yaitu: *signal processing module*, modul untuk memprediksi apakah roda dalam kondisi mau *lock*, modul untuk mendeteksi apakah terjadi bahaya akibat roda *lock*, dan modul untuk memberi signal kepada modulator tekanan.



Gambar 2.10 *ABS Control Unit*

(Vehicle Control System ; WABCO, 2011)

b. Modulator Hidrolik

Modulator hidrolik menggabungkan secara seri katup solenoid yang dapat membuka atau menutup sirkuit hidrolik antara master silinder dan rem. Selain itu, modulator ini dapat menghubungkan rem ke pompa kembali. Kebanyakan secara umum di modulator hidrolik, katup solenoid dengan dua koneksi hidrolik dan dua katup posisi digunakan. Ketika proses mengerem, *inlet valve* antara master silinder dan rem terbuka, sementara *outlet valve* antara rem dan pompa tekanan tertutup. Sebaliknya, jika terdapat kelebihan tekanan oleh minyak rem, maka pompa bertenaga bekerja untuk mengembalikan minyak rem ke reservoir. Terdapat satu pasang katup solenoid untuk setiap rem atau tiap roda.

Pada pengontrolan otomatis di modulator hidrolik akan terjadi siklus terus menerus yang terdiri dari 3 fase, yaitu : peningkatan tekanan, penurunan tekanan, dan menjaga tekanan fluida pengereman tetap stabil.



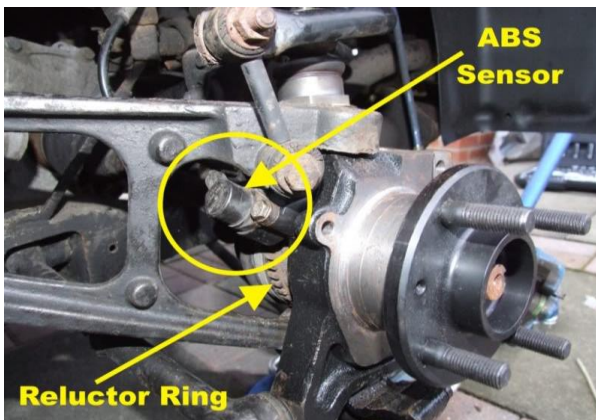
Gambar 2.11 Modulator Hidrolik

(http://lotastock.com/hydraulic_modulator)

c. Sensor Kecepatan Roda Hidrolik

Sensor digunakan untuk monitor parameter diatas dan membagikan signal yang sesuai dengan parameter, jika percepatan dan kecepatan dari roda yang digunakan sebagai parameter dasar maka sensor akan diletakkan pada roda, signal yang dibangkitkan akan di trasmisikan ke kontrol unit. Pada kontrol signal dari sensor akan diproses untuk menentukan apakah tekanan pengereman dinaikkan atau diturunkan ataupun tetap dan modulator sebagai aktuator akan melaksanakan yaitu menaikkan atau menurunkan tekanan pengereman.

Sensor kecepatan roda ini terdiri dari sensor dan *reluctor ring*. Cara kerja dari sensor ini yaitu terdapat magnet yang menghasilkan garis gaya magnet dan pada *reluctor ring* terdapat gigi-gigi. Saat *reluctor ring* berputar, roda gigi yang berputar memotong garis gaya magnet sehingga menghasilkan gaya induksi elektromotif bolak balik sesuai dengan kecepatan kendaraan. Lalu oleh sensor gaya induksi elektromotif bolak balik ini diubah menjadi sinyal gelombang sinus tegangan yang kemudian dikirimkan ke *ABS Control Unit*.



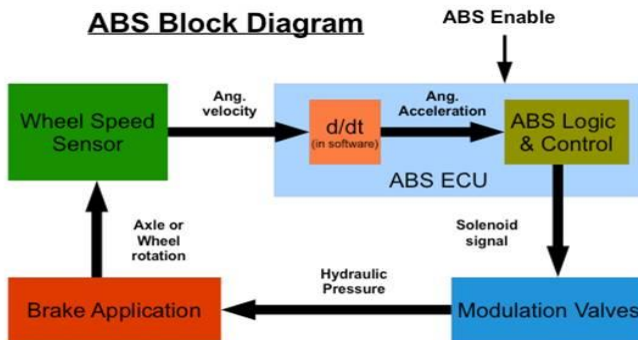
Gambar 2.12 Sensor Kecepatan Roda dan *Reluctor Ring*

(<http://www.the-t-bar.com/22-cjj-s-guides/90614-location-of-sensors-and-other-important-parts>)

2.3.3 Antilock Braking System Control

a. Blok Diagram ABS dan ABS Control Loop

Representasi blok diagram dari ABS tertera pada gambar di bawah. Gambar tersebut menunjukkan fungsi dasar dari berbagai komponen pada sistem ABS dan menunjukkan alurnya. Input nya yaitu sinyal dari sensor kecepatan roda.



Gambar 2.13 Blok Diagram ABS

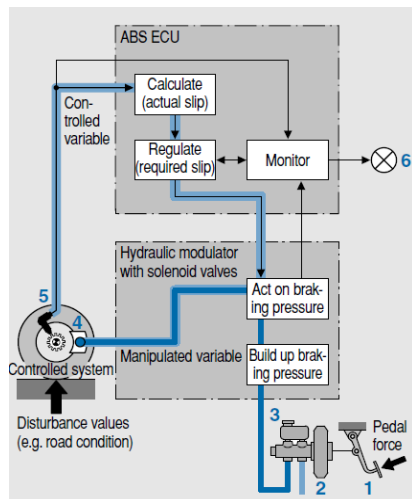
Sedangkan untuk *ABS Control Loop* nya terdiri dari beberapa sub system.

- *Controlled system*
 - Kendaraan dan remnya
 - Roda dan gesekan antara roda dan permukaan jalan
- Variabel eksternal yang mempengaruhi *control loop*
 - Perubahan adhesi antara ban dan permukaan jalan karena perbedaan tipe permukaan jalan dan perubahan dalam pembebanan ban
 - Penyimpangan pada permukaan jalan yang menyebabkan roda dan suspensi bergetar
 - Kurang bulatnya dari ban, ban rendah tekanan, tapak ban yang aus, perbedaan lingkaran antar roda 1 terhadap roda lainnya

- *Controllers*
 - *ABS Control Unit*
 - Sensor kecepatan roda
- Variabel yang dikendalikan
 - Kecepatan roda, perlambatan roda
 - Percepatan roda dan *brake slip*
- Variabel referensi
 - Tekanan kaki diterapkan pada pedal rem oleh pengemudi, diperkuat dengan rem *booster*, menghasilkan tekanan rem pada sistem pengereman
- Variabel yang dikoreksi
 - Tekanan pengereman pada kaliper

keterangan :

1. *Brake Pedal*
2. *Booster Rem*
3. *Master Silinder dengan reservoir*
4. *Kaliper*
5. *Sensor Kecepatan Roda*
6. *Warning Lamp ABS*

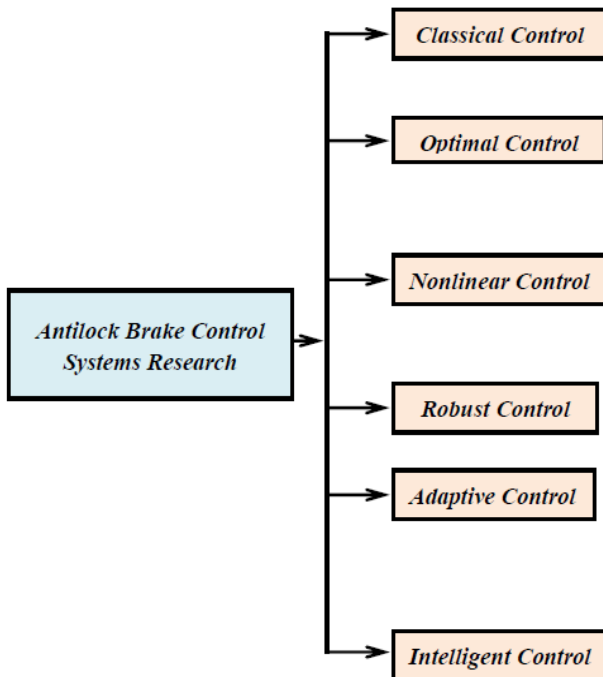


Gambar 2.14 *ABS Control Loop*

(Brakes, Brake Control and Driver Assistance Systems ; Konrad Reif, 2014)

a. PID Controller

Dari riset sejauh ini, sistem kontrol ABS terbagi menjadi 6 jenis. Ada kontrol klasik (*PID control*), kontrol optimal, kontrol non-linear, kontrol *robust*, kontrol adaptif, dan kontrol *intelligent*. Dari semua jenis kontrol, PID terkenal telah digunakan untuk meningkatkan kinerja ABS. Model matematika yang dipresentasikan oleh Song (2007) dirancang untuk menganalisa dan meningkatkan performa dinamis dari kendaraan. Sebuah *PID controller* untuk *steering* roda belakang didesain ulang untuk meningkatkan stabilitas arah dari kendaraan ketika bermanuver.



Gambar 2.15 Contoh dari Kontrol ABS

(*Intelligent Control and Automation* ; 2011)

Performa pengereman dan kemudi dari *controller* dievaluasi untuk berbagai kondisi ketika mengemudi, seperti manuver lurus dan berbelok. Hasil simulasi menunjukkan bahwa memodelkan mobil secara keseluruhan cukup untuk memprediksi respon yang akurat. Pengembangan lebih lanjut tentang ABS ditujukan untuk mengurangi jarak pengereman dan meningkatkan stabilitas longitudinal maupun lateral terhadap kendaraan 2WD ataupun 4WD.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *controller* roda belakang sebagai pengontrol gerak *yaw* dapat meningkatkan stabilitas lateral dan mengurangi sudut *slip* pada kecepatan tinggi. *Controller* PID cukup simpel dalam desain, tetapi harus ada batasan yang jelas tentang kinerjanya.

2.3.4 Indikator Performa ABS dan Kenyamanan Pengereman Kendaraan

Keselamatan adalah hal yang sangat diperhatikan dalam berkendara. Seperti yang telah dijelaskan pada bagian 2.1, sistem pengereman kendaraan memegang peranan penting dalam keselamatan berkendara. Kendaraan diharapkan berhenti dengan jarak yang telah memenuhi regulasi internasional. Begitu juga dengan perlambatan kendaraan. Nilai perlambatan didesain sehingga kenyamanan pengemudi tidak terganggu saat memperlambat kendaraannya.

Ketika mendesain sebuah sistem pengereman pada kendaraan, nilai perlambatan dan jarak pengereman adalah dua aspek yang paling diperhatikan. Perlambatan kendaraan sangat krusial peranannya dalam *traffic engineering*. Aplikasinya berupa pendesainan persimpangan, traffic signals, panduan kecepatan pada jalan tol, *traffic simulation modelling*, pemodelan emisi kendaraan, hingga pemodelan konsumsi kendaraan (Maurya, 2012). *American Association of State Highways and Transportation Officials* (AASHTO) merekomendasikan perlambatan untuk kendaraan adalah sebesar 3.4 m/s^2 , untuk kendaraan dengan kecepatan awal sebesar 100 km/j. Nilai perlambatan ini akan menghasilkan jarak pengereman yang aman untuk kondisi persimpangan jalan. Nilai tersebut didasari oleh

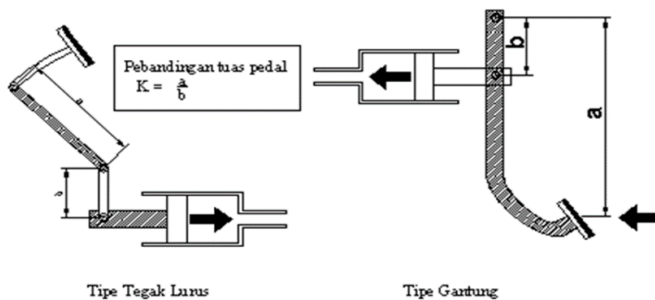
kemampuan mata ketika melihat rintangan di depan atau pejalan kaki yang melintasi jalanan (Long, 2000).

Perlambatan sebesar 3.4 m/s^2 untuk kendaraan perkotaan (*city car*) diambil dari studi (Carpenter & Lees, 1956) mengenai penggunaan rem pada saat berkendara dalam keadaan normal. Tes dilakukan dengan melibatkan 23 pengendara dan melakukan perjalanan sejauh 300 mil. Diperoleh variasi perlambatan sebesar 0.21 g hingga 0.34 g dengan rata-rata 0.26 g (Mortiner, 1970). Ternyata nilai perlambatan ini merupakan batas nilai kemampuan lazim badan manusia (dinyatakan dalam *comfort index*) untuk menerima beban ketika pengereman berlangsung (Siebertz, 2009). Pengukuran *comfort index* adalah berupa beban yang diterima/aktivitas otot pengendara pada saat pengereman. Selain itu, berdasarkan studi yang dilakukan Mortiner, pengendara akan merasa nyaman ketika harus memberikan beban sebesar 48 lb hingga 73 lb ke pedal rem dan kendaraannya menghasilkan perlambatan sebesar 3.4 m/s^2 .

2.4 Analisa Pemodelan Distribusi Pengereman

2.4.1 Gaya Pedal Rem

Gaya pedal adalah gaya yang diberikan pedal untuk menekan master silinder. Gaya yang diberikan manusia dapat diubah menjadi gaya pedal dengan menggunakan perbandingan jarak tuas seperti pada gambar berikut.



Gambar 2.16 Model Dan Gaya Pedal Rem

Untuk mendapatkan data hubungan yang diinginkan, maka dilakukan langkah-langkah pengolahan data sebagai berikut:

Menghitung perbandingan gaya pada pedal (K) didapat dari persamaan.

$$K = ab \quad (2.1)$$

Dimana : a = jarak dari pedal ke tumpuan

b = jarak dari pushrod ke tumpuan

Persamaan yang digunakan untuk mencari gaya yang keluar dari pedal rem (Fk) :

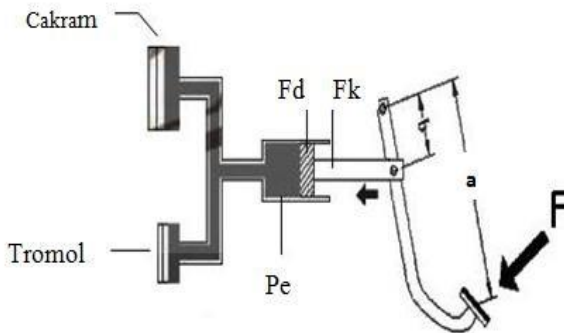
$$F_k = F \times \frac{a}{b} \quad (2.2)$$

Dimana : Fk = gaya yang dihasilkan dari pedal rem

F = gaya yang menekan pedal rem

$\frac{a}{b}$ = perbandingan tuas pedal rem

2.4.2 Tekanan Hidrolik Master Silinder



Gambar 2.17 Gaya Pedal dan Tekanan pada Master Silinder

Tekanan Hidrolik (P_e) yang dibangkitkan master silinder pada rangkaian rem yang menggunakan Sistem Hidrolik menggunakan rumus :

$$P = F \cdot A \quad (2.3)$$

$$P_e = \frac{F_k}{0,25 \cdot \pi \cdot d^2} \quad (2.4)$$

$$P_e = \frac{F_k}{0,785 \cdot d^2} \quad (2.5)$$

dimana :

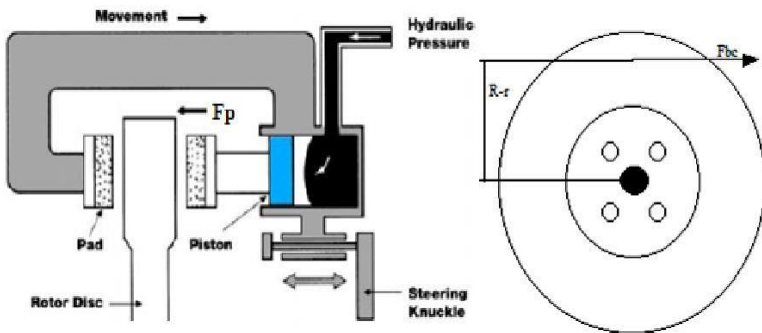
P_e = tekanan hidrolik master silinder

F_k = gaya pedal

d = diameter dalam master silinder

2.4.3 Gaya Pada *Disc Brake* Rem

Gaya pengereman pada rem model *disc brake* adalah gaya yang diberikan oleh *brake pad* terhadap piringan cakram (rotor). Skema pengereman rem *disc brake* dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.18 Gambar Gaya-Gaya Pada *Disc Brake*

Gaya piston yang menekan *brake pad* dapat dirumuskan sebagai :

$$F_p = P_e \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \quad (2.6)$$

dimana :

F_p = gaya yang menekan *brake pad*

P_e = tekanan hidrolik

d = diameter piston rem

Sedangkan gaya gesek pengereman dapat dirumuskan menjadi:

$$F_{bc} = \mu \cdot F_p \quad (2.7)$$

dimana :

F_{bc} = gaya gesek pengereman rem cakram

n = jumlah silinder kaliper

μ = koefisien gesek *brake pad*

Nilai koefisien gesek dari *brake pad* berbeda-beda sesuai dengan bahan dari *brake pad* tersebut. Sedangkan *brake pad* Panser Anoa APC 6X6 menggunakan Asbestos. Nilai koefisien gesek *brake pad* dapat dilihat pada Gambar 2.19 berikut.

Material	Friction Coefficient f	Maximum Pressure P_{max} , psi
Cermet	0.32	150
Sintered metal (dry)	0.29-0.33	300-400
Sintered metal (wet)	0.06-0.08	500
Rigid molded asbestos (dry)	0.35-0.41	100
Rigid molded asbestos (wet)	0.06	300
Rigid molded asbestos pads	0.31-0.49	750
Rigid molded nonasbestos	0.33-0.63	100-150
Semirigid molded asbestos	0.37-0.41	100
Flexible molded asbestos	0.39-0.45	100
Wound asbestos yarn and wire	0.38	100
Woven asbestos yarn and wire	0.38	100
Woven cotton	0.47	100
Resilient paper (wet)	0.09-0.15	400

Gambar 2.19 Koefisien Gesek Berbagai Bahan *Brake Pad*

Torsi pengereman rem model cakram dapat diperoleh menggunakan rumus :

$$T_{bc} = F_{bc} \cdot (R - r) \quad (2.8)$$

dimana :

T_{bc} = torsi pengereman rem cakram

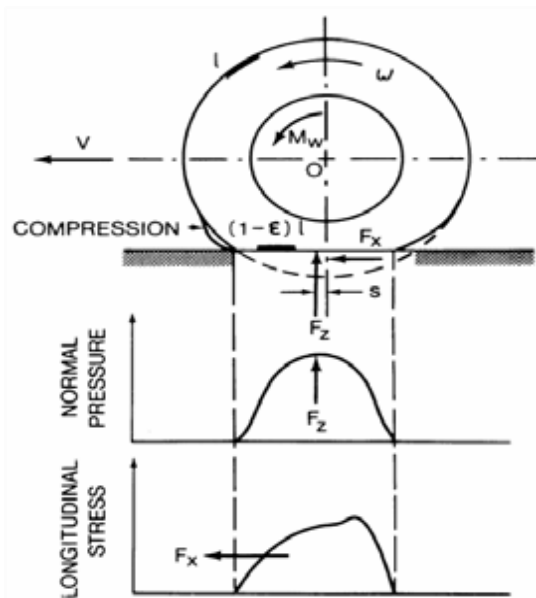
F_{bc} = gaya gesek pengereman rem cakram

R = jari-jari rotor/piringan cakram

r = jari-jari *piston caliper*

2.4.4 Hubungan Traksi atau Gaya Rem Terhadap Slip dari Roda

Ketika gaya torsi bekerja pada roda yang menggunakan tekanan udara maka gaya traksi akan terjadi pada kontak antara roda dan jalan. Sebagaimana terlihat pada gambar 2.20.



Gambar 2.20 Torsi Yang Bekerja Pada Roda

Bagian depan dari kontak antara roda dan jalan akan mengalami kompresi, akibatnya akan terjadi *shear deformation* sehingga telapak dari roda berkembang. Permukaan dari roda akan mengalami kompresi sebelum memasuki daerah kontak antara roda dan jalan, jarak yang dipindahkan akibat putaran ini akan lebih kecil dari jarak yang di dapat dari putaran bebas. Fenomena inilah yang digunakan sebagai dasar untuk terjadinya deformasi slip. Slip pada kendaraan ketika dikenai gaya torsi didefinisikan sebagai berikut :

$$i = (1 - v\omega.r) \times 100\% = \left(1 - \frac{r}{r_e}\right) \times 100\% \quad (2.9)$$

dimana :

v = Kecepatan dari pusat roda

ω = Kecepatan sudut dari roda

r = Radius roda pada putaran bebas

r_e = Efektif radius dari roda

Selanjutnya perkembangan dari slip adalah sebagai hasil ketidakstabilan dari situasi dengan harga koefisien dari adhesi roda dari harga μ_p sampai μ_s . Dalam kenyataan tekanan normal tidak terdistribusi secara uniform. Dimana tekanan akan turun secara perlahan mendekati tepi kontak. Ini menunjukkan sebagian kecil dari daerah sliding akan berkembang pada bagian daerah kontak sehingga memperkecil gaya traksi yang terjadi. Ketika torsi pengereman bekerja pada roda maka tarikan akan terjadi pada telapak roda sebelum memasuki daerah kontak. Jarak yang dipindahkan ketika torsi pengereman bekerja akan lebih besar dari putaran bebas. *Skid* didefinisikan sebagai berikut :

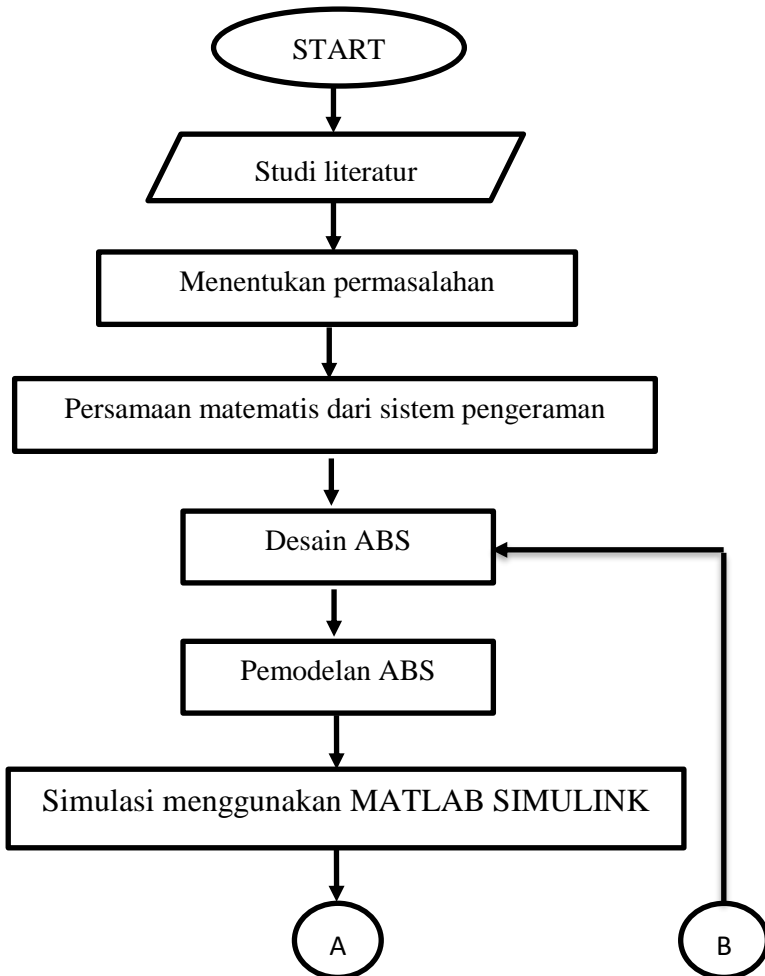
$$i_s = \left(1 - \frac{v}{\omega.r}\right) 100\% = (1 - rre) 100\% \quad (2.10)$$

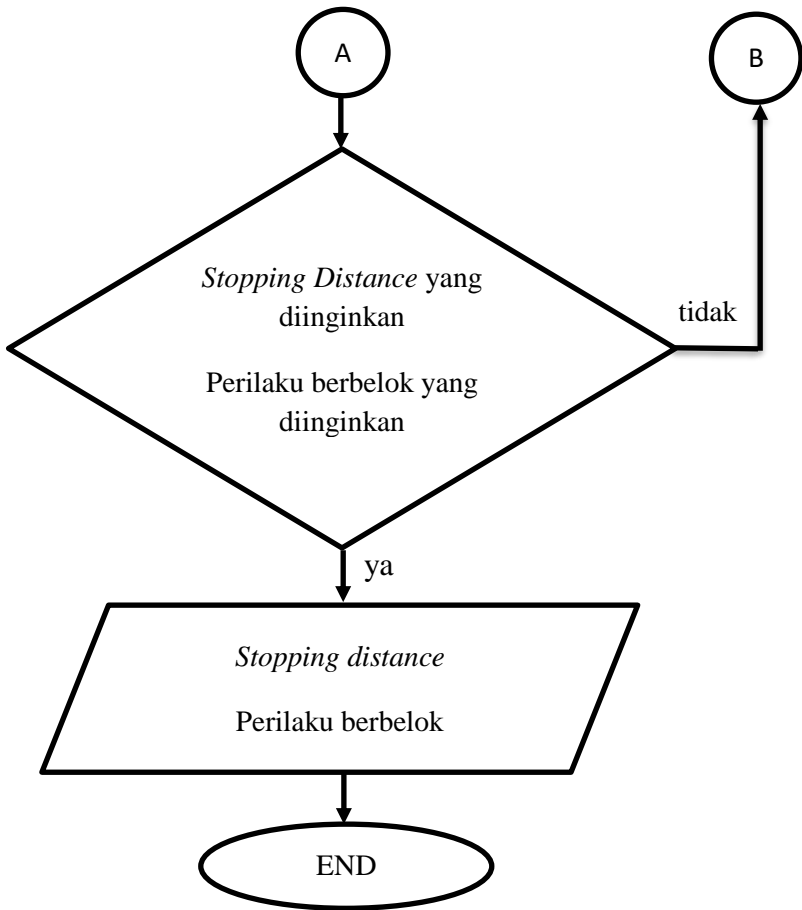
Untuk *lock*, maka $\omega = 0$ padahal kecepatan perpindahan dari roda tidak sama dengan nol, pada kondisi ini terjadi *skid* 100%. Biasanya koefisien pengereman didefinisikan sebagai perbandingan beban normal roda dan *skid* sesuai dengan karakteristik traksi dan slip pada bahasan di depan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Dalam tugas akhir ini, desain ABS dan pengaruh *antilock* pada performa dari *sixths-vehicle model* Panser akan dipelajari. Penelitian ini dilakukan sesuai proses berikut seperti pada gambar 3.1:



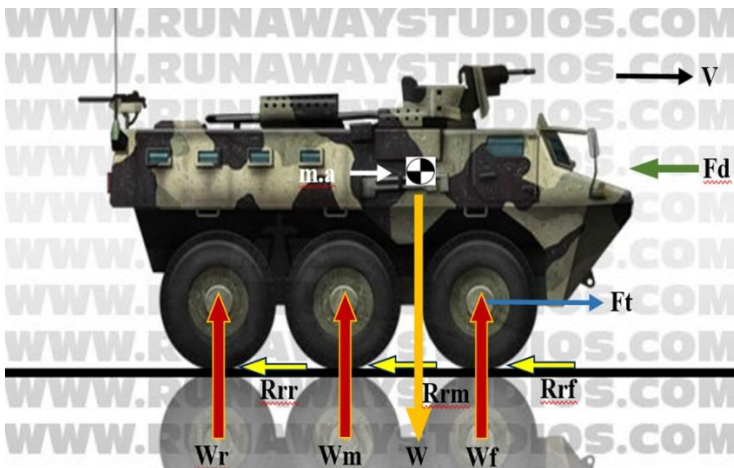


Gambar 3.1 Flowchart desain ABS dan pengaruh *antilock* pada performa dari *sixths-vehicle model* Panzer

3.1 Tahap Studi Literatur

Studi literatur pada tahap ini dilakukan untuk memperkaya wawasan, pengetahuan, dan landasan tentang materi yang akan dibahas dalam tugas akhir ini. Sumber yang diambil berasal dari beragam karya ilmiah seperti buku dan jurnal ilmiah. Adapun tema yang digali adalah seputar sistem pengereman jenis *lock* dan *antilock*. Dari tema ini bisa kemudian bisa dipecah menjadi beberapa bidang ilmu yang mendukung antara lain otomotif, *machine design*, dinamika, dan sebagainya.

Untuk mendukung tugas akhir ini diperlukan data-data yang valid sebagai landasan. Sementara tidak semua data yang dibutuhkan terdapat dalam buku-buku ilmiah. Oleh karena itu tentu dibutuhkan referensi lain seperti jurnal-jurnal ilmiah maupun penelitian-penelitian terdahulu yang berkaitan.



Gambar 3.2 *Free Body Diagram* Panser Anoa APC 6X6

Keterangan Gambar 3.2 :

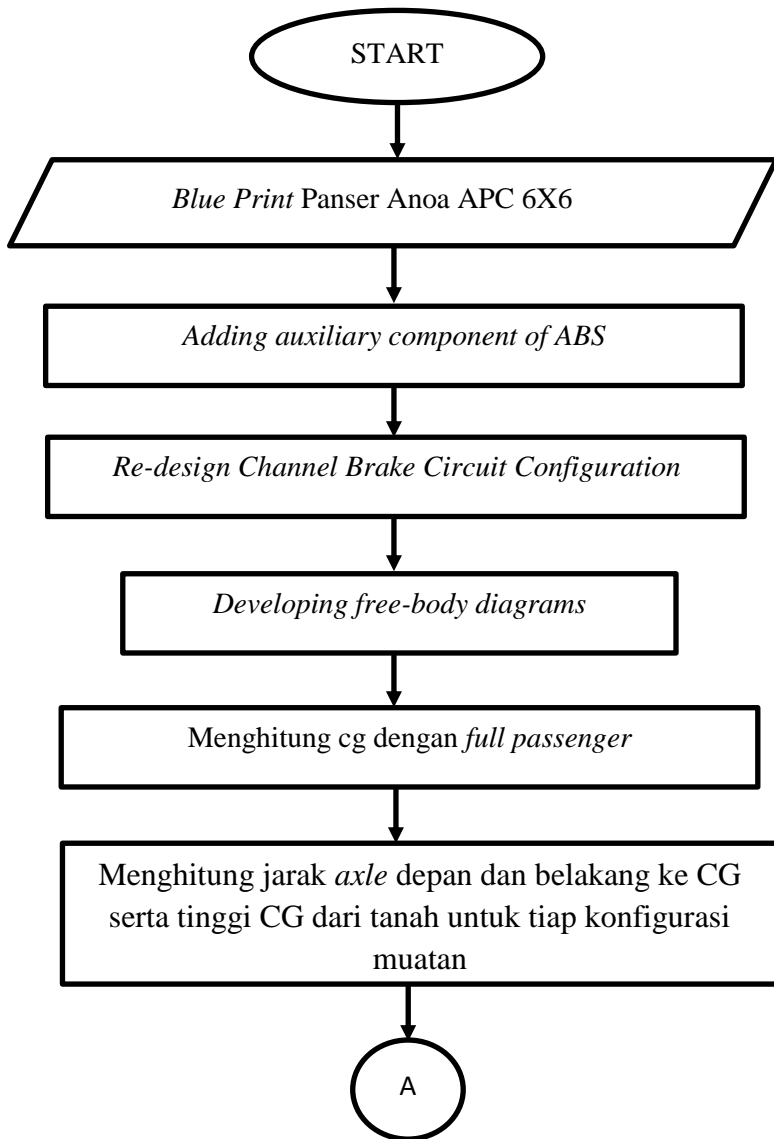
V : Kecepatan Kendaraan (m/s)

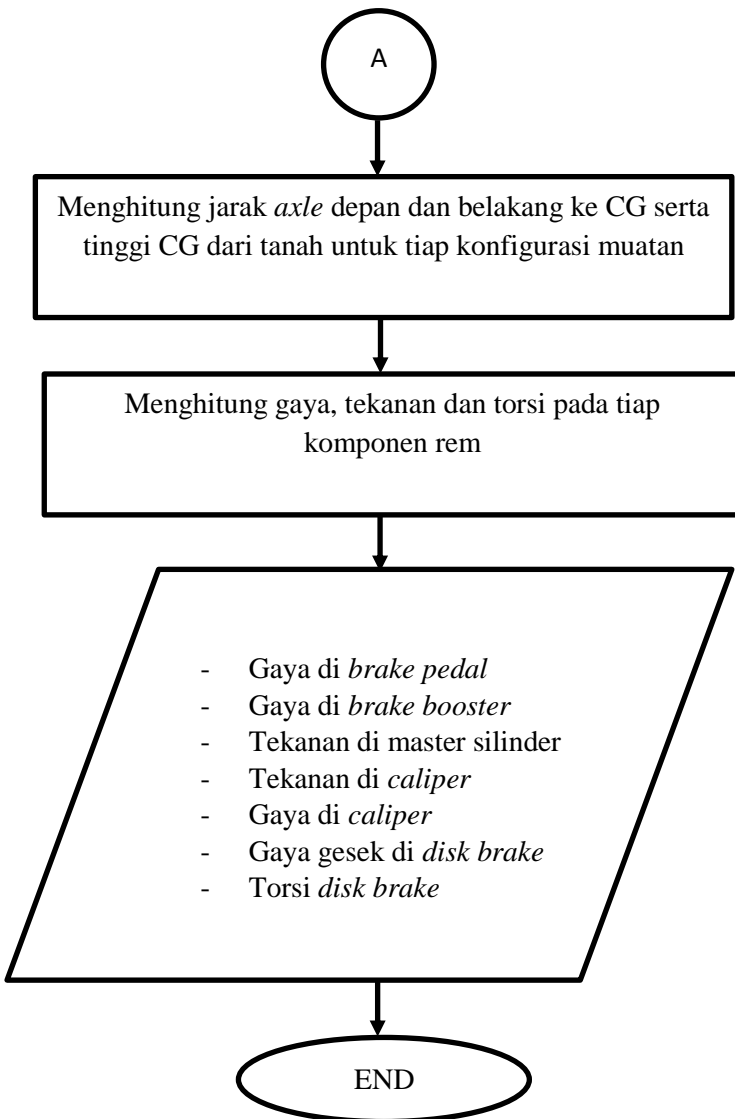
F_d : Gaya hambat (N)

- F_t : Gaya traksi (N)
- R_{rr} : Gaya gesek belakang (N)
- R_{rm} : Gaya gesek tengah (N)
- R_{rf} : Gaya gesek depan (N)
- W : Beban kendaraan (N)
- W_r : Gaya normal yang diterima oleh roda belakang (N)
- W_m : Gaya normal yang diterima oleh roda tengah (N)
- W_f : Gaya normal yang diterima oleh roda depan (N)

3.2 Tahap Desain

- a) Langkah awal dalam desain ABS adalah mencari data-data dari spesifikasi sistem pengereman Panser Anoa APC 6X6 yang akan digunakan sebagai data input.
- b) Menambahkan komponen ABS pada sistem pengereman Panser Anoa.
- c) Membuat skema untuk ABS *Channel Brake Circuit Configuration*.
- d) Menentukan titik pusat massa atau *center of gravity* (cg) *full passenger* dari sisi samping (cg1) dan sisi depan (cg2).
- e) Menghitung jarak axle depan, tengah & belakang ke CG serta tinggi CG dari tanah untuk tiap konfigurasi muatan.
- f) Menghitung besar gaya pengereman, tekanan dan torsi pada pedal, *brake booster*, master silinder, *caliper*, dan *disk brake*.





Gambar 3.3 Flowchart Desain ABS pada Panser Anoa APC 6X6

3.3 Tahap Analisa

Dalam tugas akhir ini akan dianalisa respon gerak dari sistem pengereman *military vehicle* ketika melalui jalan dengan kecepatan tertentu. Respon yang ingin diketahui merupakan respon gaya pengereman pada kecepatan tertentu terhadap *stopping distance* dan perilaku belok dari kendaraan tersebut. Selain itu juga untuk mengetahui pengaruh pengereman terhadap perilaku kendaraan pada jalan lurus dan berbelok. Oleh karena itu perlu dibuat pemodelan matematis dari sistem pengereman mobil untuk mendapatkan data-data yang diperlukan.

Langkah-langkah yang dilakukan untuk menganalisa performa ABS pada Panser :

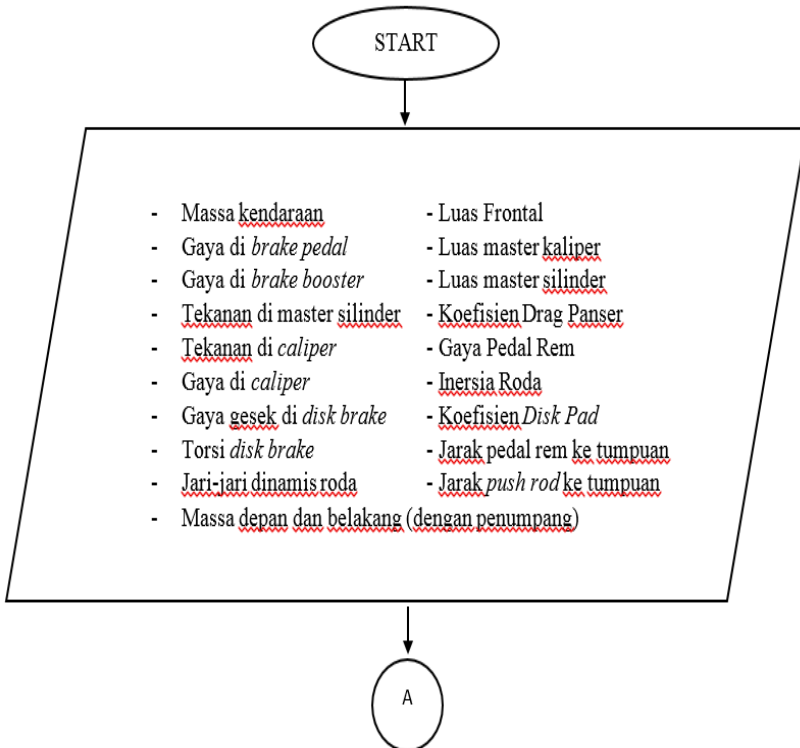
1. Langkah awal adalah memodelkan ABS Panser Anoa APC 6X6 sebagai *sixths-vehicle model*.
2. Didapatkan FBD (*Free Body Diagram*), kemudian dengan menggunakan hukum Newton ke-2 didapatkan persamaan matematis nya.
3. Setelah persamaan matematis didapat, maka dengan input parameter akan didapat parameter output nya (pada persamaan tersebut).
4. Memasukkan parameter data dari kendaraan :

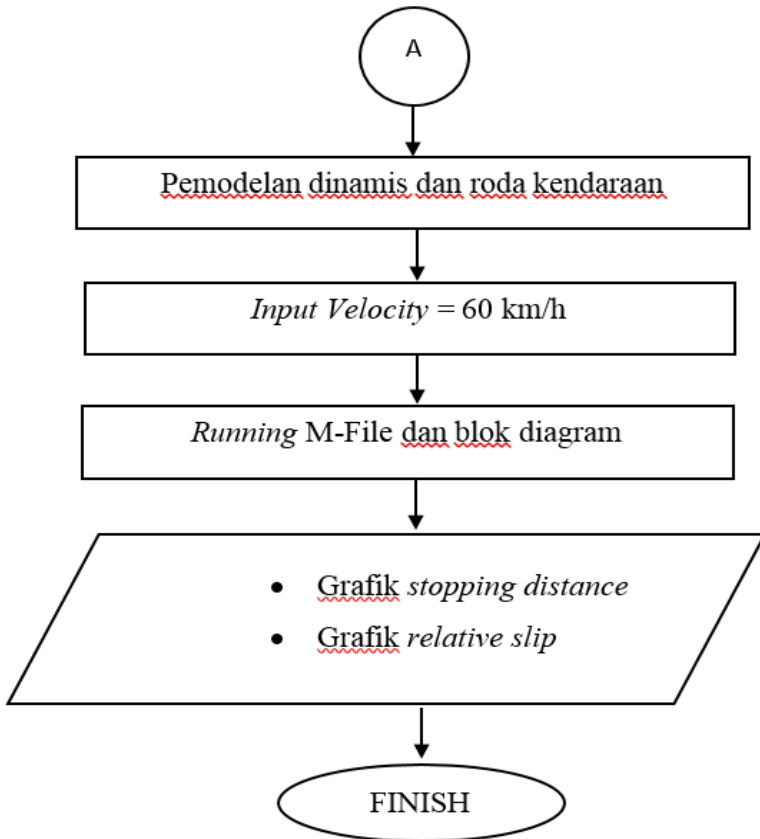
- Massa kendaraan	- Luas Frontal
- Gaya di brake pedal	- Luas master kaliper
- Gaya di brake booster	- Luas master silinder
- Tekanan di master silinder	- Koefisien Drag Panser
- Tekanan di caliper	- Gaya Pedal Rem
- Gaya di caliper	- Inersia Roda

- Gaya gesek di disk brake - Koefisien Disk Pad
- Torsi disk brake - Jarak pedal rem ke tumpuan
- Jari-jari dinamis roda - Jarak push rod ke tumpuan
- Massa depan dan belakang (dengan penumpang)

5. Memodelkan di Simulink dengan *relative slip* 0,2, sedangkan untuk *lock braking system (LBS)* *relative slip* nya 0,8.

6. Simulasi di blok diagram dengan kecepatan 60 km/jam.

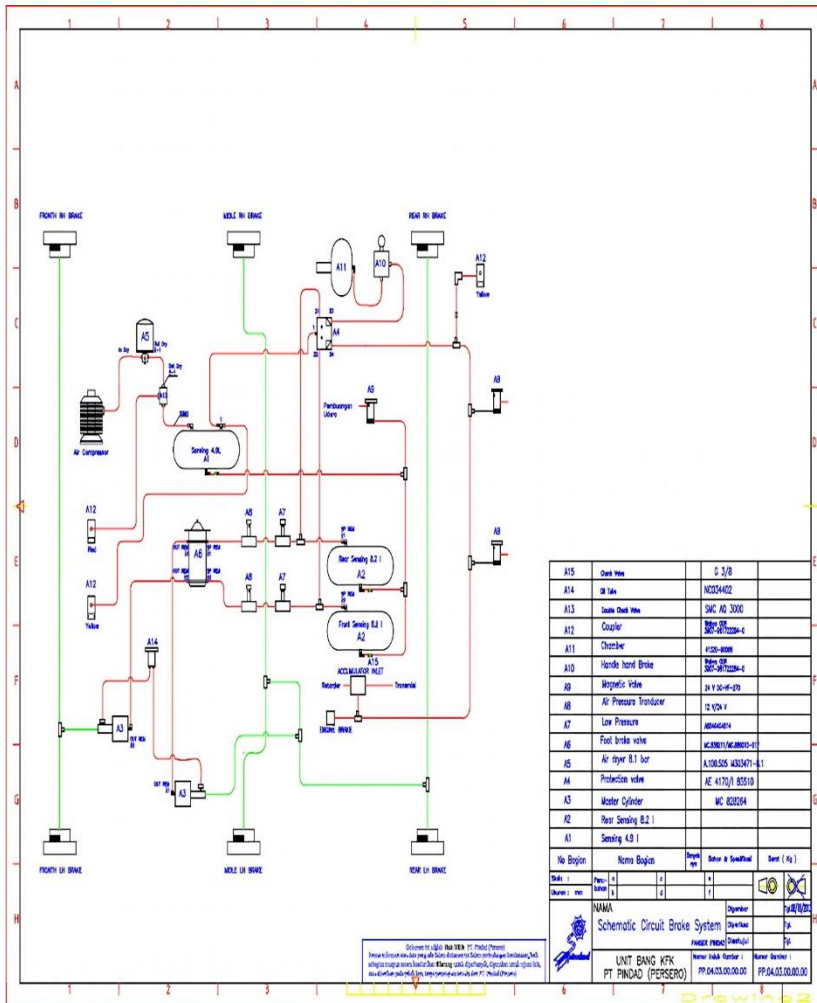




Gambar 3.4 Flowchart Analisa ABS *sixths-vehicle model* Panzer

Untuk mendapatkan hasil yang diinginkan dari pemodelan matematis, dalam tugas akhir ini akan dilakukan simulasi dengan bantuan software Matlab Simulink. Simulasi disini pada dasarnya melakukan penyelesaian persamaan matematis dari pemodelan kendaraan dengan menggunakan metode *transfer function*, *gain*, *integrator* dsb.

Dan gambar dibawah adalah system pengereman pada Panser Anoa APC 6X6 yang digunakan saat ini :



Gambar 3.5 Schematic Brake System Panser Anoa APC 6X6

3.4 Data Kendaraan

Tabel 3.1 Data spesifikasi Panser Anoa APC 6X6

Spesifikasi Panser Anoa APC 6X6

	<i>Dimensi</i>
<i>Jarak sumbu roda</i>	3020 mm
<i>Lebar</i>	2035 mm
<i>Tinggi</i>	2170 mm
	<i>Berat</i>
<i>Berat Total (W)</i>	128500 N
<i>Berat depan (Wf)</i>	50200 N
<i>Berat tengah (Wm)</i>	45700 N
<i>Berat belakang (Wr)</i>	32600 N
	<i>Aerodynamic</i>
<i>Luas frontal</i>	4.425 m ²
<i>Massa jenis angin</i>	1.225 kg/m ³
<i>Koefisien drag (Cd)</i>	0.8
	<i>Dimensi Komponen Rem</i>
<i>Jarak pedal rem ke tumpuan (la)</i>	0.220 m
<i>Jarak push rod ke tumpuan (lb)</i>	0.025 m
<i>Diameter dalam master silinder</i>	0.027 m
	<i>Disk Brake (Single Piston)</i>
<i>Diameter piston caliper</i>	0.062 m
<i>Diameter rotor disk</i>	0.384 m
	<i>Ban (1400 – R20 Runflat Insert)</i>
<i>Jenis</i>	Radial
<i>Diameter roda</i>	1200 mm
<i>Lebar</i>	300 mm
<i>Koefisien adhesi Aspal (μ)</i>	0.8
<i>Koefisien hambatan rolling (f_r)</i>	0.08

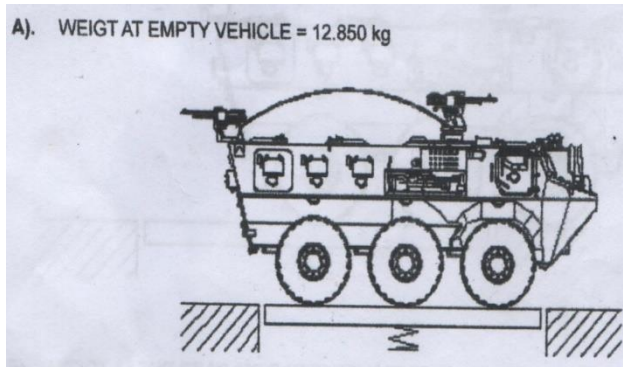
Perhitungan model merupakan perhitungan matematis yang dibutuhkan sebagai data pendukung sebelum membuat block simulink pada MATLAB. Pada tabel diatas telah tersedia spesifikasi dari Panser Anoa, yang dapat digunakan sebagai acuan perhitungan matematis.

BAB IV

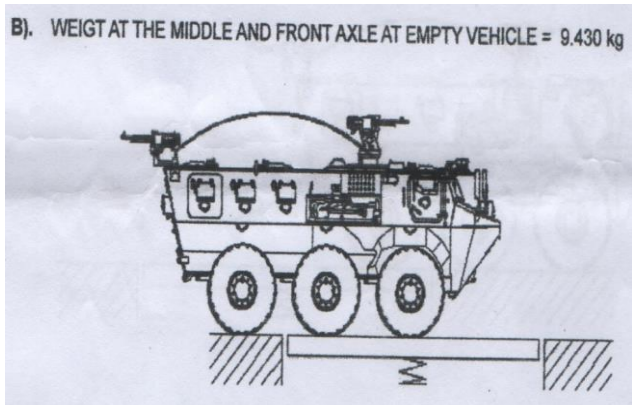
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Titik Berat Kendaraan

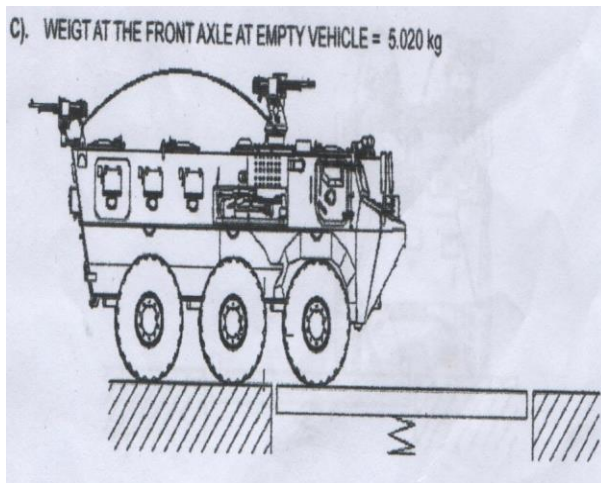
Untuk menentukan posisi *center of gravity* dari kendaraan, dapat dilakukan dengan cara menimbang bagian Panser dalam posisi datar maupun miring.



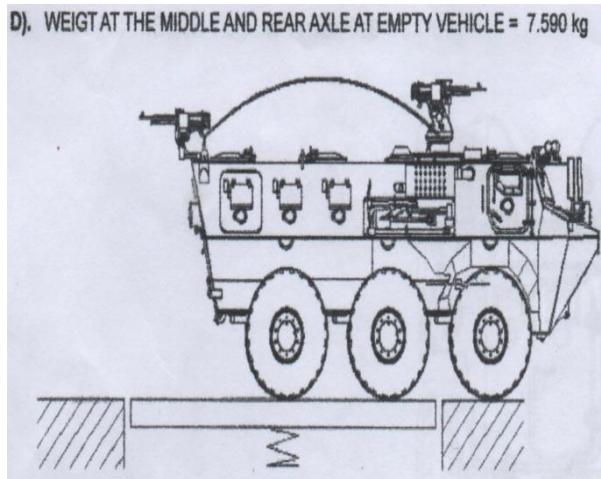
Gambar 4.1 menimbang berat Panser keseluruhan



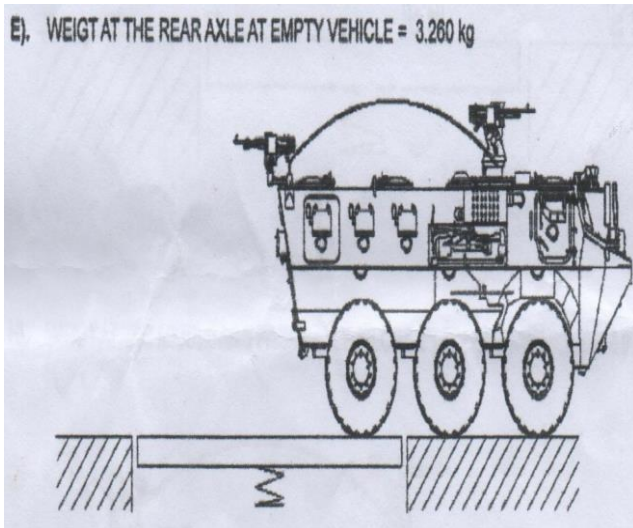
Gambar 4.2 menimbang berat Panser bagian tengah dan depan



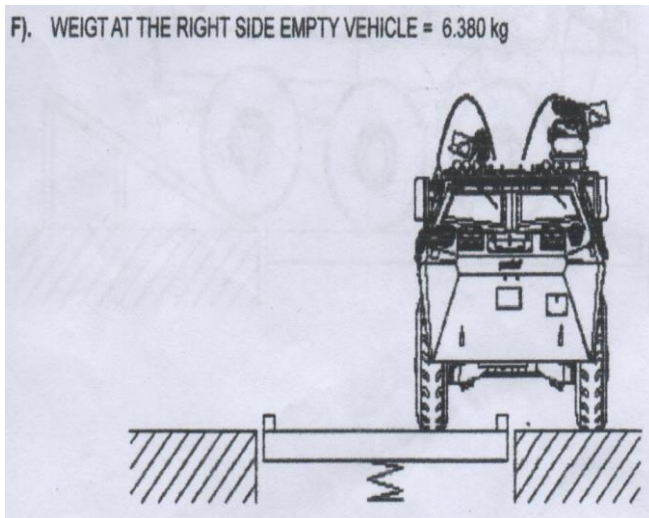
Gambar 4.3 menimbang berat Panser bagian depan



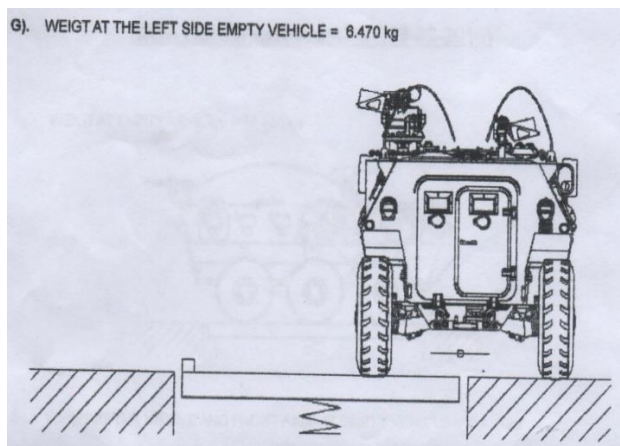
Gambar 4.4 menimbang berat Panser bagian tengah dan belakang



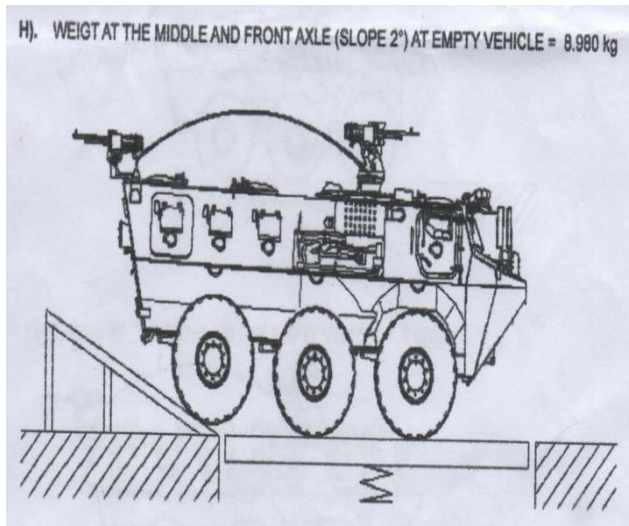
Gambar 4.5 menimbang berat Panser bagian belakang



Gambar 4.6 menimbang berat Panser bagian samping kanan

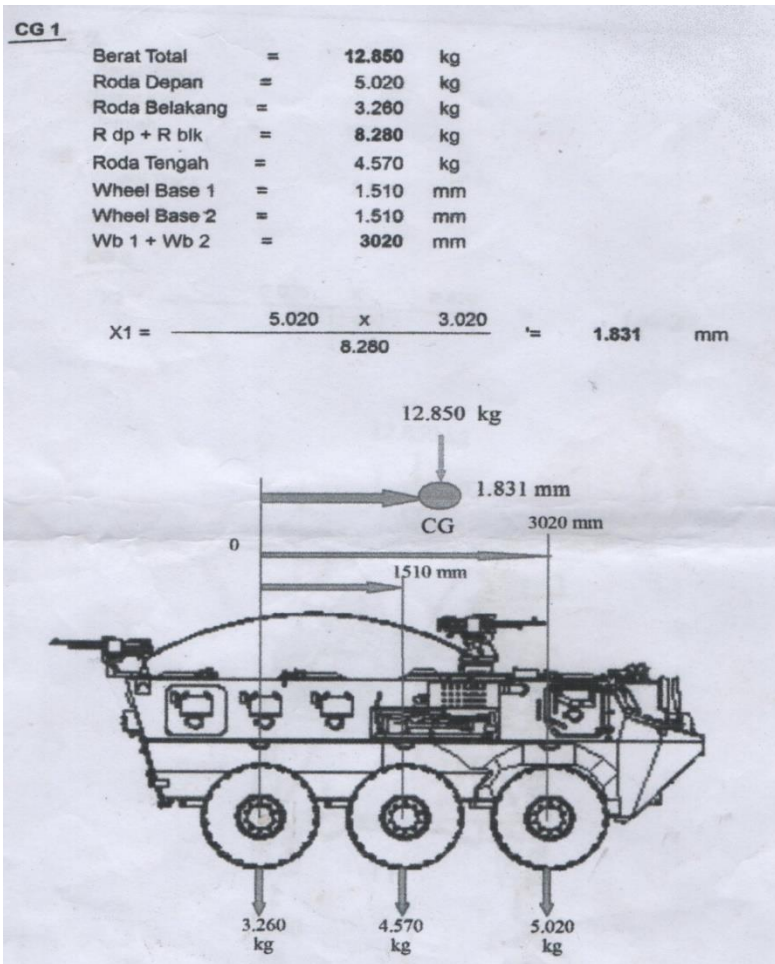


Gambar 4.7 menimbang berat Panser bagian samping kiri

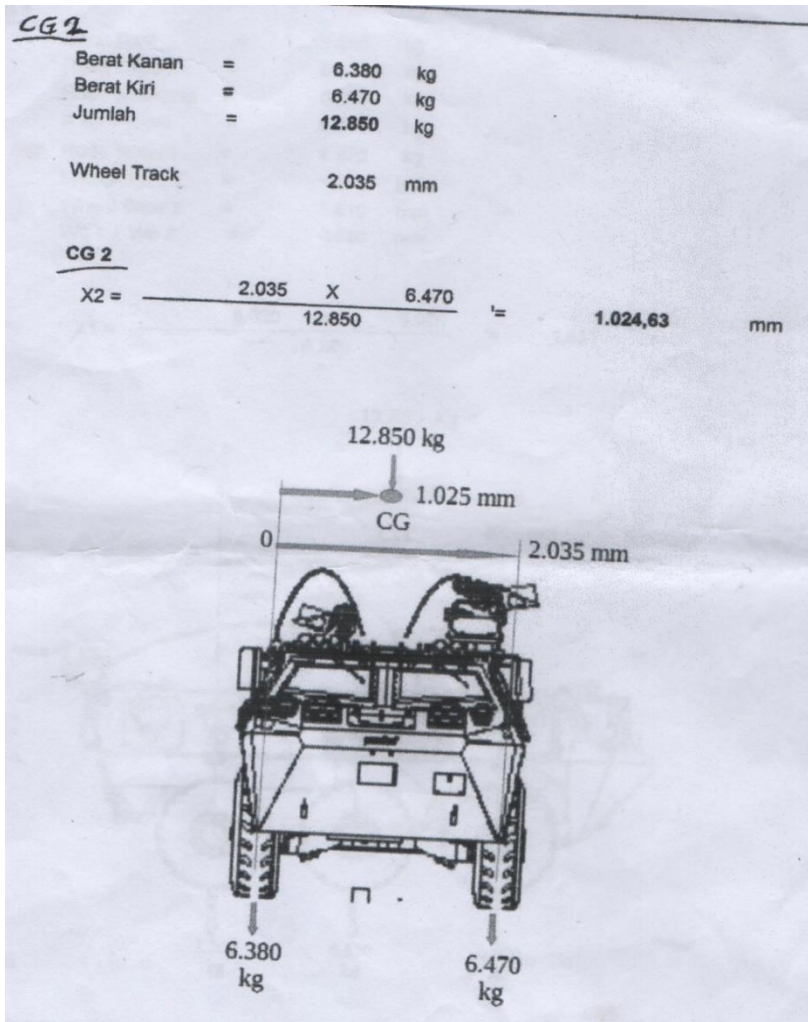


Gambar 4.8 menimbang berat Panser depan dan tengah
(kondisi belakang miring)

Lalu setelah ditimbang, didapatkan kesimpulan CG yaitu :



Gambar 4.9 jarak CG dari roda depan dan belakang

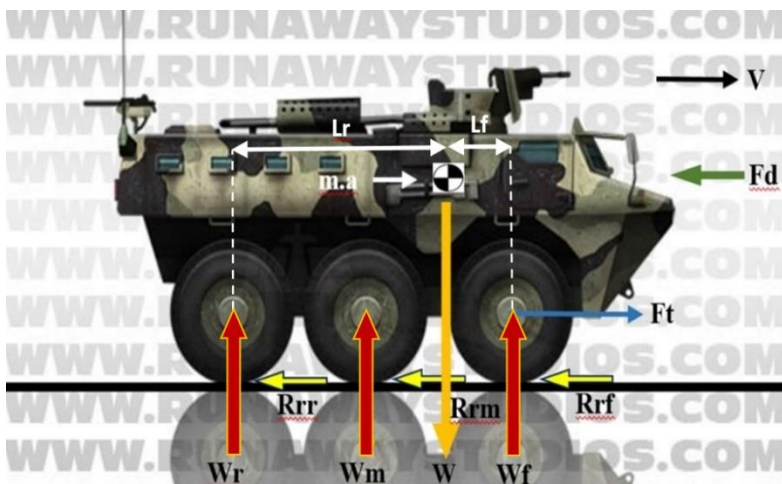


Gambar 4.10 jarak CG dari roda samping

4.1.1 Perhitungan Tanpa Penumpang

Pemodelan matematis sistem dinamis dari kendaraan pada saat pengereman ditunjukkan pada data dari PT PINDAD pada gambar-gambar diatas. Didapat berat depan pada roda depan, berat tengah di roda tengah, dan berat belakang di roda belakang. Setelah mendapatkan data berat kendaraan dan *center of gravity* maka dapat dihitung berat dengan penumpang.

4.1.2 Perhitungan Dengan Penumpang



Gambar 4.11 *Free body diagram* Panzer

Asumsi rata – rata massa masing - masing penumpang yaitu 70 kg dan semua penumpang terdistribusi di roda belakang, maka massa total kendaraan menjadi 13690 kg atau 136900 N (berat mobil + 12 penumpang) sehingga dapat dihitung :

- Beban bagian depan

$$W_f = \frac{L_r}{L} \times W$$

$$W_f = \frac{1.831 \text{ m}}{3.020 \text{ m}} \times 128500 \text{ N}$$

$$W_f = 77908.5 \text{ N}$$

- Beban bagian belakang

$$W_r = W - W_f$$

$$W_r = 128500 \text{ N} - 77908.5 \text{ N}$$

$$W_r = 50591.5 \text{ N}$$

- Lalu W_r ditambah dengan total berat penumpang (840 kg atau 8400 N) :

$$W_r = 50591.5 \text{ N} + 8400 \text{ N}$$

$$W_r = 58991.5 \text{ N}$$

- Dan berat total menjadi :

$$W = W_f + W_r$$

$$W = 77908.5 \text{ N} - 58991.5 \text{ N}$$

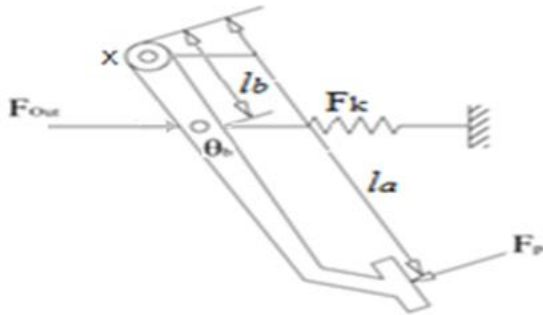
$$W = 136900 \text{ N}$$

4.2 Analisa Pada Komponen Rem

Adapun langkah – langkah dari pembuatan model *Antilock Braking System* meliputi pemodelan dan perhitungan matematis dari dinamika kendaraan sebagai berikut :

4.2.1 Brake Pedal

Pedal merupakan masukan dari gaya pengereman, pada pembahasan ini gaya pedal yang diberikan adalah gaya maksimum dari injakan kaki pengemudi rata-rata gaya maksimum injakan kaki pengemudi adalah 30 kg. Gaya yang dihasilkan dari pengereman akan di salurkan melalui push rod, sehingga dapat dihitung seperti dibawah ini :



Gambar 4.12 Brake Pedal Schematic

$$\sum M_x = 0$$

$$F_p \cdot l_a = (F_{out} + F_k) \cdot l_b \cdot \sin\theta_b$$

Gaya pegas

$$F_k = \Delta x \cdot k \quad ; \quad \text{dimana } k = 15,067 \text{ kN/m}$$

$$F_k = 0,015 \text{ m} \cdot 15,067 \text{ kN/m}$$

$$F_k = 196 \text{ N}$$

Gaya push rod

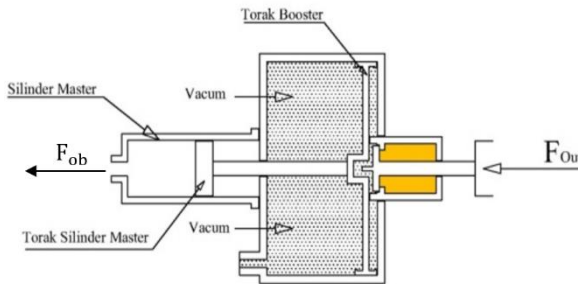
$$F_{out} = \frac{F_p \cdot l_a}{l_b \cdot \sin\theta_b} - F_k$$

$$= \frac{300 \times 0.22}{0,025 \cdot \sin 45^\circ} = 196 \text{ N}$$

$$= 3537.52 \text{ N}$$

4.2.2 Brake Booster

Gaya yang keluar dari *push rod* akan disalurkan melalui *booster*, pada saat melewati *booster* akan mengalami pembesaran gaya, hasil perhitungan gaya yang dikeluarkan dari *booster* adalah sebagai berikut :



Gambar 4.13 Brake booster Schematic

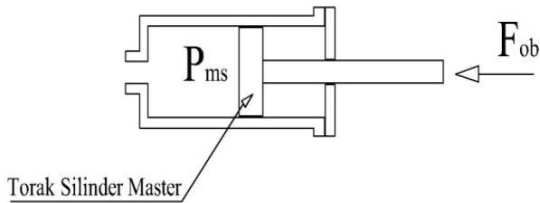
$$\frac{F_{ob}}{F_{out}} = \frac{P_{atm}}{P_{vac}}$$

Gaya dari booster rem

$$\begin{aligned}
 F_{ob} &= F_{out} \times \frac{P_{atm}}{P_{vcm}} \\
 &= 3537.52 \text{ N} \times \frac{101324 \text{ N/m}^2}{33774.67 \text{ N/m}^2} \\
 &= 10612.56 \text{ N}
 \end{aligned}$$

4.2.3 Master Silinder

Gaya yang dikeluarkan dari *booster* akan diteruskan melalui master silinder, dibawah ini adalah perhitungan gaya yang dari keluar master silinder.



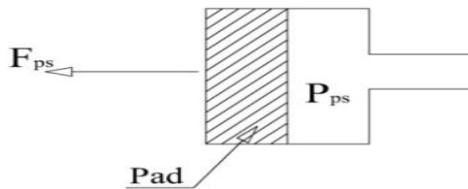
Gambar 4.14 Master Silinder *Schematic*

Tekanan master silinder

$$\begin{aligned}
 P_{ms} &= \frac{F_{ob}}{0,25 \cdot \pi \cdot d_{ms}^2} \\
 &= \frac{10612.56 \text{ N}}{0,25 \cdot \pi \cdot 0.027^2 \text{ m}^2} \\
 &= 18,527,976 \text{ Pa}
 \end{aligned}$$

4.2.4 Kaliper

Kaliper merupakan sebuah piston yang akan bergerak jika mendapatkan tekanan dari fluida, kaliper inilah yang nantinya akan mendorong *pad* dan akan bergesekan dengan *disk brake*.



Gambar 4.15 Kaliper *Schematic*

Tekanan Kaliper

$$P_{ms} = P_{ps}$$

$$\frac{F_{ms}}{A_{ms}} = \frac{F_{ps}}{A_{ps}}$$

Gaya Pad Silinder

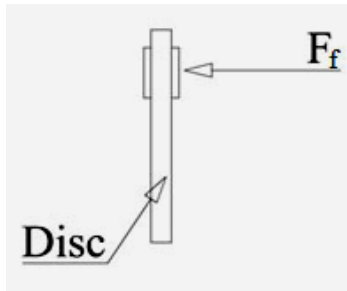
$$\begin{aligned} F_{ps} &= A_{ps} \times \frac{F_{ms}}{A_{ms}} \\ &= 0.25 \times \pi \times d_{ps}^2 \times P_{ps} \end{aligned}$$

$$= 0.25 \times \pi \times 0.062^2 \text{ m}^2 \times 18527976 \text{ Pa}$$

$$= 55959.78 \text{ N}$$

4.2.5 *Disc Brake*

Disc brake merupakan komponen yang terpasang pada roda berfungsi untuk menerima gaya yang dihasilkan dari *master caliper* yang akan diteruskan pada *disc brake* dan akan menghasilkan pengereman.



Gambar 4.16 *Disc Brake Schematic*

Gaya gesek pad pada disk

μ_d : koefisien *disk pad - rigid molded asbestos* (gambar 2.19)

$$F_f = F_{ps} \times \mu_d$$

$$= 55959.78 \times 0.49$$

$$= 27420.30 \text{ N}$$

Torsi *disk*

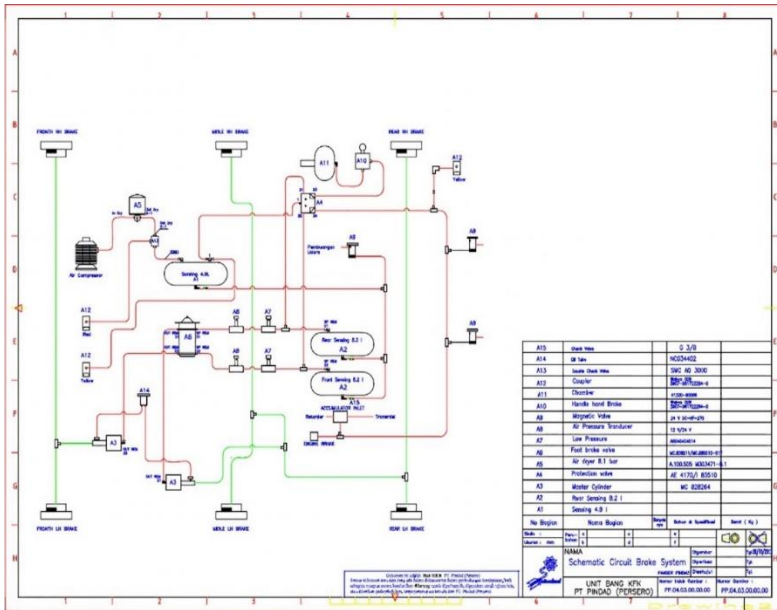
$$\begin{aligned}T_d &= F_f \times R_d \\ &= 27420.30 \text{ N} \times 0.2205 \text{ m} \\ &= 6046.18 \text{ Nm}\end{aligned}$$

Perhitungan diatas merupakan pemodelan dengan gaya pedal sebagai *input*, ini adalah komponen utama sebagai penghasil gaya pengereman disamping transmisi kendaraan. Dalam pemodelan ini, gaya inputan pedal digunakan sebagai gaya yang menghambat laju kendaraan yang akan dibagi menjadi *output* yaitu sebagai torsi pengereman akibat bergesekan dengan *disk brake* dan gaya pengereman dari *master caliper*.

4.3 Desain *Antilock Braking System*

Dibawah adalah gambar skema *lock* dan *antilock braking system*, gambar lebih jelasnya ada di Lampiran.

4.3.1 *Schematic Lock Braking System*



Gambar 4.17 Schematic Lock Braking System

Keterangan :

A1 : Sensing

A2 : Roar Sensing

A3 : Master Cylinder

A4 : Protection Valve

A5 : Air Dryer

A9 : Magnetic Valve

A10 : Handle Hand Brake

A11 : Chamber

A12 : Coupler

A13 : Double Check Valve

A6 : Foot Brake Valve

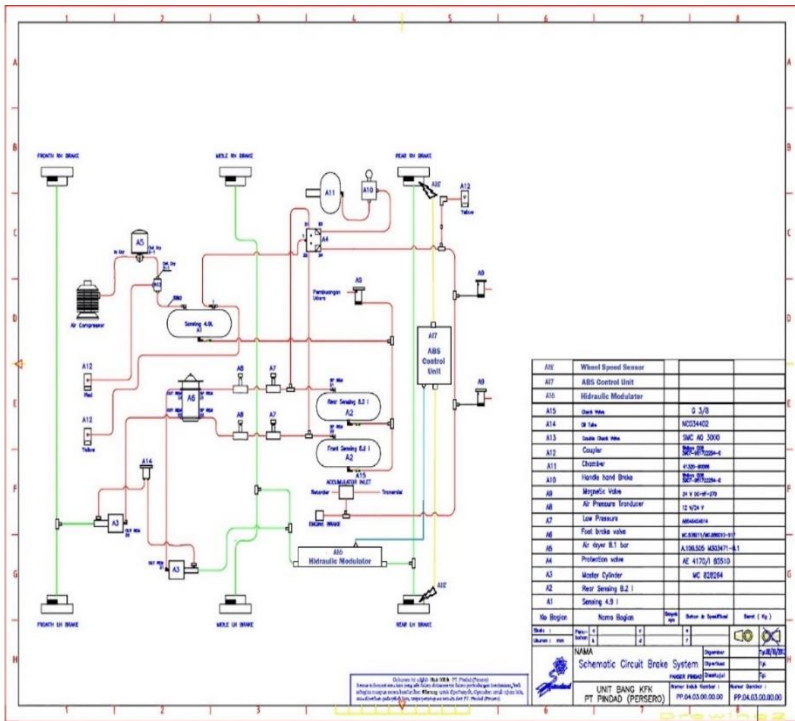
A14 : Oil T&4

A7 : Air Pressure

A15 : Check Valve

A8 : Air Pressure Transducer

4.3.2 Schematic Antilock Braking System



Gambar 4.18 Schematic Antilock Braking System

Keterangan :

A1 : <i>Sensing</i>	A10 : <i>Handle Hand Brake</i>
A2 : <i>Roar Sensing</i>	A11 : <i>Chamber</i>
A3 : <i>Master Cylinder</i>	A12 : <i>Coupler</i>
A4 : <i>Protection Valve</i>	A13 : <i>Double Check Valve</i>
A5 : <i>Air Dryer</i>	A14 : <i>Oil T&4</i>
A6 : <i>Foot Brake Valve</i>	A15 : <i>Check Valve</i>
A7 : <i>Air Pressure</i>	A16 : <i>Hydraulic Modulator</i>
A8 : <i>Air Pressure Transducer</i>	A17 : <i>ABS Control Unit</i>
A9 : <i>Magnetic Valve</i>	A18 : <i>Wheel Speed Sensor</i>

Pada gambar 4.19 terlihat komponen dari *Antilock Braking System (ABS)*. Komponen ABS sendiri sama seperti gambar 4.18 *Lock Braking System (LBS)*, namun ada tambahan seperti *ABS control unit*, *hydraulic modulator*, *wheel speed sensor*. Dimana ketiga komponen tersebut saling terintegrasi menjadi satu dengan komponen LBS.

Untuk skema LBS, alur gaya dan tekanan pengereman bisa sampai mengerem *disk brake* yaitu yang pertama ketika pedal rem terkena gaya oleh pengemudi. Lalu gaya tersebut melalui *foot brake valve* diteruskan ke *booster rem* dan secara otomatis gaya tersebut di *boost*. Setelah dari *booster rem*, *input* gaya tersebut masuk ke master silinder dan *outputnya* yaitu tekanan. Tekanan tersebut menekan fluida rem melalui *house line brake*, hingga sampai ke *caliper*. *Input* tekanan dari *caliper* dikonversi menjadi *output* gaya. Dan gaya tersebut ditransmisikan ke *disk pad*. Setelah sampai di *disk*, ada gaya rem dan torsi yang terjadi disana.

Untuk skema ABS sendiri sama alurnya dengan LBS, tetapi dari *output* master silinder yang berupa tekanan tersebut harus melewati modulator hidrolik dahulu, setelah itu baru dapat ke *caliper*. Setelah ke *caliper* maka akan diteruskan tekanan tersebut ke *disk pad*. Untuk ABS Panser sendiri, di dua roda belakangnya terdapat sensor kecepatan roda yang terintegrasi dengan *ABS control unit*.

Khusus untuk fungsi komponen ABS utama yaitu *ABS control unit*, *hydraulic modulator*, *wheel speed sensor* akan dibahas fungsinya secara garis besar. Sensor ini akan mendeteksi perubahan kecepatan, yang akan menjadi *input* signal dimana akan dikirimkan ke *ABS control unit* selaku otak dari sistem *antilock* ini. Setelah sampai di *ABS control unit*, sinyal tersebut diproses sangat cepat dan sinyal tersebut dikirimkan ke modulator hidrolik, dimana *output* dari modulator hidrolik adalah *actuator* yaitu pergerakan katup solenoid.

Dengan demikian terjadi perbedaan kinerja dari ABS dibanding LBS. Karena LBS murni menggunakan mekanis semua, dibanding ABS yang sudah mengintegrasikan mekanis dan elektrik. Terdapat kontrol pada sistem ABS, sedangkan LBS tidak. LBS memakai *open control loop system*, sedangkan ABS memakai *close control loop system* karena terdapat *feedback* berupa fluktuatif putaran roda.

4.4 Pemodelan Kendaraan

4.4.1 Pemodelan Dinamis Kendaraan

Pemodelan dinamis kendaraan merupakan salah satu pemodelan matematis yang menganalisa gaya-gaya kendaraan pada saat pengereman, pada pemodelan ini ditekankan pada pengaruh *slip* yang terjadi pada saat roda *lock*, yang mempengaruhi roda *lock* yaitu tekanan pengereman yang lebih besar dari beban kendaraan dikalikan koefisien gesek ($F_b > \mu \times W$).

Roda mengalami *lock* :

$$F_b = \mu \times W$$

Hukum Newton II

$$\sum F = m \times a$$

$$F_b + R_r + R_a = m \times a$$

$$a = \frac{F_b + R_r + R_a}{m}$$

Hambatan *rolling* dan hambatan *aerodynamic*

$$R_r = F_r \times r_{\text{dinamis}} \times \mu_d$$

$$R_a = \frac{1}{2} \times \rho \times C_d \times A_f \times V^2$$

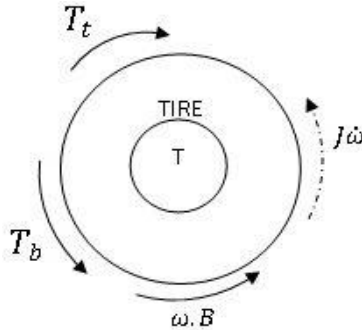
Radius dinamis roda

$$r_{\text{dinamis}} = r_w + \frac{r_w - r_{\text{tire}}}{2}$$

4.4.2 Pemodelan Roda Kendaraan

Pemodelan matematis ini meliputi torsi yang bekerja pada roda kendaraan dan berpengaruh pada saat terjadi pengereman, selanjutnya akan menjadi acuan untuk membuat pemodelan dengan menggunakan

blok diagram simulasi dari program MATLAB, berikut adalah *free body diagram* dari roda kendaraan.



Gambar 4.19 *Free body diagram brake* dan roda

Inersia roda

$$J = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (r_{\text{tire}}^2 + r_w^2)$$

Torsi traktif

$$T_t = F_t \cdot r_{\text{dinamis}}$$

Torsi brake

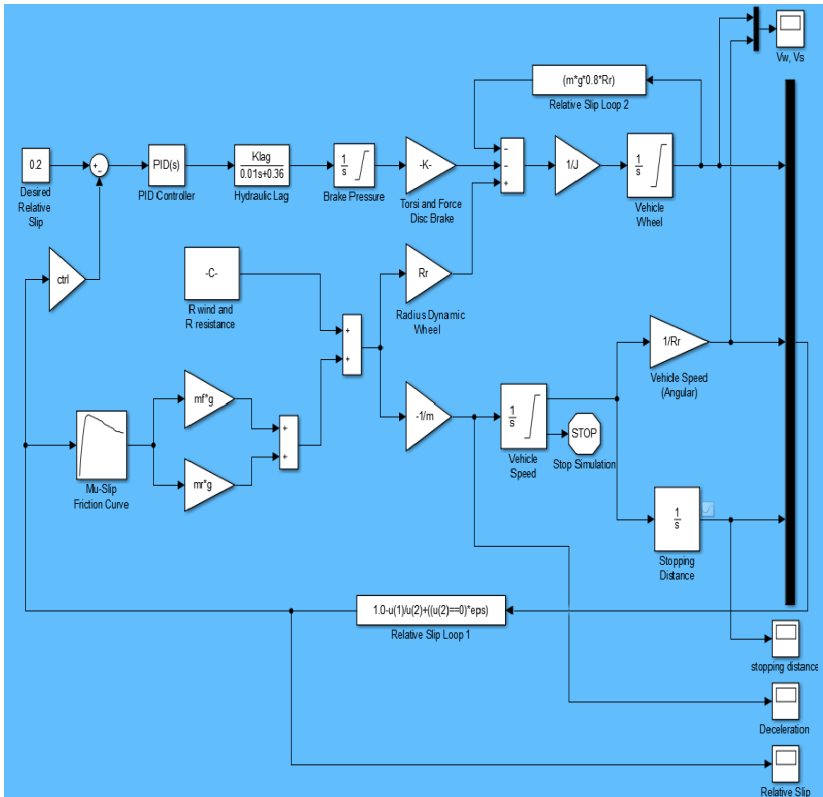
$$T_b = F_b \cdot r_{\text{dinamis}}$$

Redaman jalan (torsi gesek)

$$\omega_w \cdot B = W \cdot r_w \cdot \mu_d$$

4.4.3 Pemodelan di Simulink

Setelah mendapatkan pemodelan matematis dari dinamika kendaraan pada saat terjadi pengereman maka selanjutnya akan dibuat blok-blok diagram pada program MATLAB sesuai dengan pemodelan matematis diatas, berikut merupakan blok simulasi dari program MATLAB. Pada simulink ini ada beberapa parameter pemodelan yang di tuliskan pada *m-script* (lampiran).



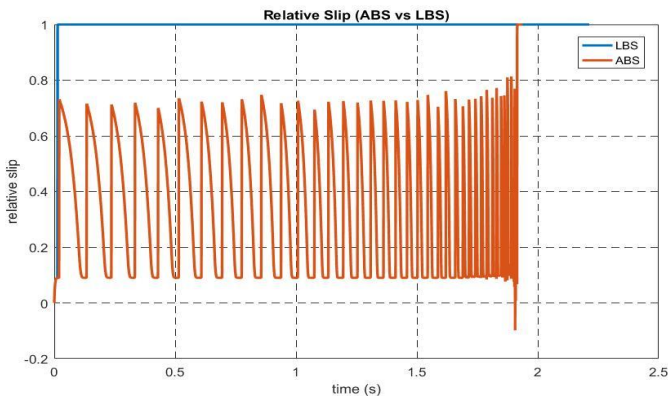
Gambar 4.20 Blok Simulink MATLAB *Antilock Braking System*

4.5 Hasil *Lock* dan *Antilock Braking System*

Dari hasil pemodelan dinamis dan simulasi pada program MATLAB untuk sistem pengereman *Lock Braking System* (LBS) dan *Antilock Braking System* (ABS) di dapatkan beberapa karakteristik

pengereman. Pada tugas akhir ini dilakukan simulasi untuk kecepatan 60 km/jam pada jalan lurus. Hasil simulasi dari kecepatan 60 km/jam akan ditampilkan sebagai berikut.

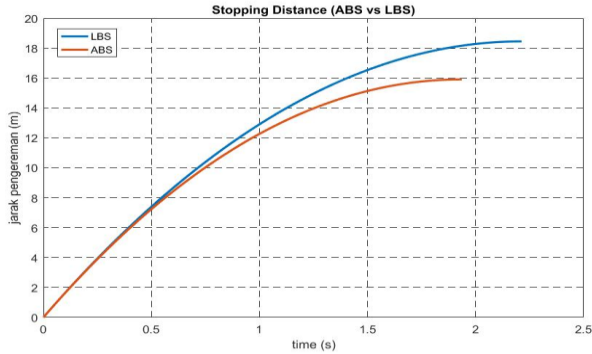
4.5.1 Respon Relative Slip



Gambar 4.21 Grafik perbandingan respon *slip* LBS dan ABS

Gambar diatas adalah grafik hasil dari simulasi perbandingan, antara respon *slip* roda *lock braking* dengan *antilock braking system*. Pada sistem *antilock* respon *slip* dijaga pada kondisi 10% - 70% hingga berhenti di 1.94 detik, sedangkan untuk sistem *lock* 100% respon *slip* terjadi saat 0.13 detik dan akan berhenti pada 2.20 detik.

4.5.2 Respon *Stopping Distance*

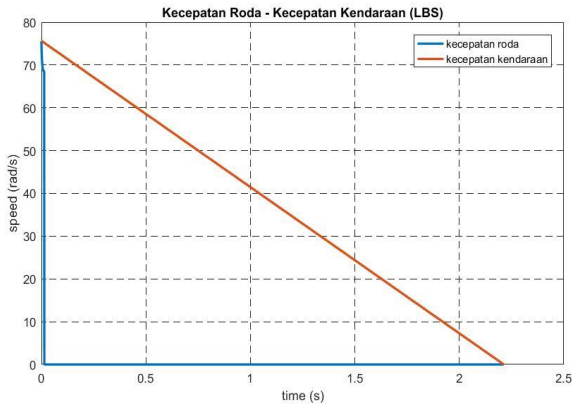


Gambar 4.22 Grafik perbandingan jarak pengereman LBS dan ABS

Gambar diatas merupakan grafik perbandingan dari hasil simulasi jarak pengereman dengan kecepatan kendaraan 60 km/jam dari pengereman sistem *antilock* dengan sistem *lock*, pada sistem *antilock* yang ditandai warna merah, kendaraan akan berhenti pada 16 meter di 1.94 detik sedangkan pada sistem *lock* kendaran akan berhenti pada 18.45 meter di 2.20 detik, hal ini menunjukkan bahwa sistem pengereman *antilock* lebih dekat jarak pemberhentiannya dari pada sistem pengereman *lock*.

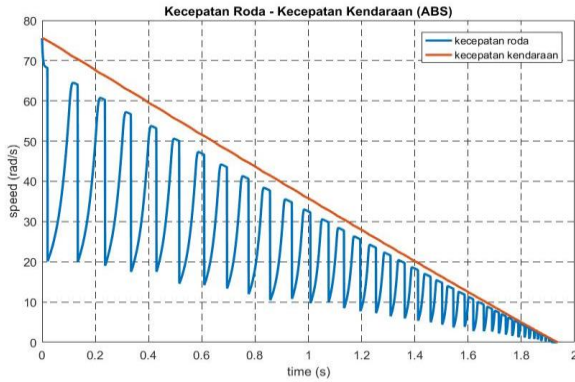
4.5.3 Respon Kecepatan Angular Roda vs Kecepatan Kendaraan

Kendaraan



Gambar 4.23 Grafik kecepatan angular roda dan kendaraan LBS

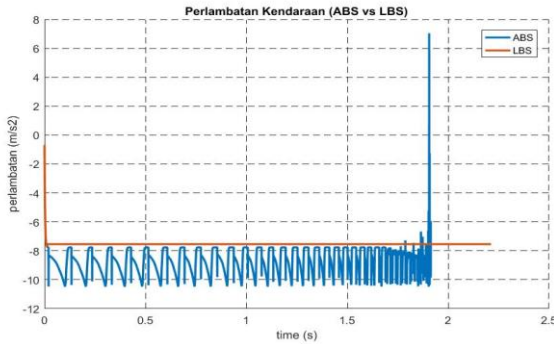
Gambar diatas merupakan grafik kecepatan angular roda dan kendaraan pada *lock braking* hasil dari simulasi MATLAB, grafik diatas menunjukkan kecepatan angular roda (rad/s) mencapai nilai 0.00 di 0.01 detik dan tidak menunjukkan fluktuasi kecepatan hingga berhenti akibat dari respon *slip* yang terjadi pada roda, maka bisa dikatakan slip kendaraan adalah 100%.



Gambar 4.24 Grafik kecepatan angular roda dan kendaraan ABS

Gambar diatas merupakan grafik kecepatan angular roda dan kendaraan pada ABS hasil dari simulasi, pada kecepatan angular roda mengalami penurunan pertama dari 75.59 rad/sec menjadi 20.82 rad/sec dan seterusnya hingga berhenti pada 1.94 detik. Kecepatan awal kendaraan 16.67 m/s dan berhenti pada 1.94 detik sama seperti kecepatan angular roda. Roda mengalami *slip* 0.05 detik, *no slip* 0.15 detik dan berfluktuasi terus hingga berhenti di 1.94 detik.

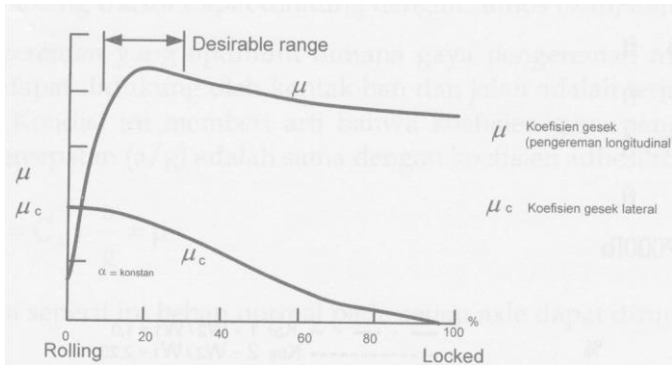
4.5.4 Respon Perlambatan



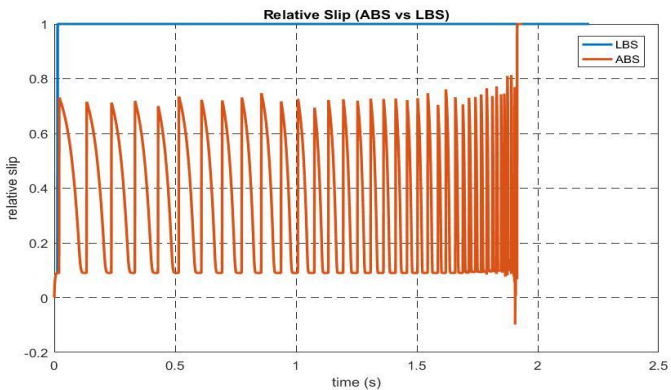
Gambar 4.25 Grafik perbandingan perlambatan kendaraan LBS dan ABS

Gambar diatas adalah grafik perbandingan perlambatan LBS dengan ABS pada sistem *lock* ditunjukkan warna merah perlambatan awal pada 0.015 detik yaitu 8.50 m/s^2 kemudian pada 0.126 detik perlambatan menjadi 7.54 m/s^2 sedangkan pada *antilock* perlambatan yang terjadi 7.76 m/s^2 di 0.012 detik hingga 10.46 m/s^2 sampai kendaraan berhenti.

4.5.5 Respon Perilaku Belok Kendaraan



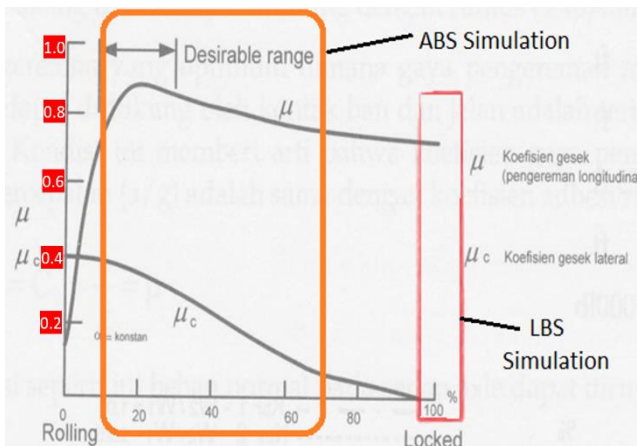
Gambar 4.26 Pengaruh *Skid* terhadap Koefisien Adhesi



Gambar 4.27 Grafik perbandingan respon *slip* LBS dan ABS

Respon perilaku belok kendaraan terlihat pada hubungan gambar 4.26 dan gambar 4.27. Gambar 4.26 menunjukkan pengaruh koefisien gesek longitudinal dan koefisien gesek lateral terhadap persentase *lock*

roda. Besarnya angka koefisien gesek longitudinal mempengaruhi *stopping distance* sedangkan untuk koefisien gesek lateral mempengaruhi respon belok kendaraan saat mengerem. Lalu untuk gambar 4.34 menunjukkan *relative slip* – waktu Panser ABS dan LBS. Disini terlihat bahwa ABS mempunyai *relative slip* = 0.1 - 0.7 yang berarti mempunyai kisaran nilai koefisien gesek longitudinal 0.75 – 0.90 dan lateral 0.10 – 0.40. Sedangkan untuk LBS mempunyai *relative slip* = 1 (*lock 100%*) yang berarti mempunyai kisaran nilai koefisien gesek longitudinal 0.75 dan lateral hampir 0.00.



Gambar 4.29 Hubungan *skid* terhadap koefisien adhesi

Salah satu parameter untuk melihat perilaku belok (kasus ini *oversteer*) yaitu besarnya nilai koefisien gesek lateralnya. Dan terlihat bahwa perbedaan koefisien gesek lateral ABS lebih besar dibanding LBS, oleh karena itu perilaku cenderung *oversteer* Panser lebih besar di sistem ABS dibanding sistem LBS. Kesimpulannya yaitu, stabilitas

Panser saat berbelok lebih bagus pada *Antilock Braking System* dibanding dengan *Lock Braking System*.

Tabel 4.1 Respon Parameter ABS dan LBS

<i>Parameter (60 km/h)</i>	<i>UK</i>		
	<i>ABS</i>	<i>LBS</i>	<i>Standard Stopping Distance</i>
<i>Jarak pengereman (m)</i>	16	18.45	22
<i>Waktu pengereman (det)</i>	1.94	2.20	-
<i>Perlambatan (m/s²)</i>	7.76 – 10.49	7.54	-
<i>Relative slip</i>	0.1 – 0.7	1	-

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari pemodelan, analisa data dan simulasi yang telah dilakukan maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

- Respon jarak pengereman pada *antilock braking system* dan *lock braking system* yang ditunjukkan pada kecepatan 60 km/jam yaitu untuk *antilock braking system* yaitu 16 meter, sedangkan untuk *lock braking system* adalah 18.45 meter. Disini dapat disimpulkan dari nilai jarak pengereman bahwa *antilock braking system* lebih baik daripada *lock braking system*.
- Respon waktu pengereman pada *antilock braking system* dan *lock braking system* yang ditunjukkan pada kecepatan 60 km/jam untuk *antilock braking system* yaitu 1.94 detik. Sedangkan untuk *lock braking system* yaitu 2.20 detik. Terlihat sedikit perbedaan waktunya namun *antilock braking system* tetap lebih aman dibanding *lock braking system*.
- Karena hanya roda belakang yang ditambahkan komponen *antilock braking*, maka *lock braking system* lebih cenderung *oversteer* karena nilai koefisien gesek lateralnya hampir 0.00 sedangkan untuk *antilock braking system* nilai koefisien gesek lateralnya 0.10 – 0.40.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, saran untuk pengembangan dalam penelitian selanjutnya agar kedepannya menjadi lebih baik adalah sebagai berikut :

1. Untuk penelitian berikutnya mengenai *stopping distance* dan perilaku belok dapat dilakukan dengan berdasarkan pengujian lapangan agar dapat diketahui bagaimana efisiensi dari sistem pengereman kendaraan.
2. Untuk mendapatkan respon yang lebih baik maka untuk penelitian berikutnya menggunakan *control* yang lebih baik seperti *adaptive*, *robust* maupun *fuzzy*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Maurya, Akhilesh (2012). **Study of Deceleration Behaviour of Different Vehicle Types**. International Journal for Traffic and Transport Engineering. 2(3): 253-270.
- [2] Mortiner, R. G (1970). **Brake Force Requirement Study: Driver-Vehicle Braking Performance as a Function of Brake System Design Variables**. National Highway Safety Bureau. Washington D.C.
- [3] Puhn, Fred (1985). **The Brake Handbook**. HPBooks. Tucson, U.S.A.
- [4] Reif, Konrad (2014). **Brakes, Brake Control and Driver Assistance Systems**. Germany, Springer Fachmedien Wiesbaden.
- [5] Siebertz, Karl (2009). **Computer Aided Ergonomics Study Case : Vehicle Brake System**. Ford Forschungszentrum. Aachen, Germany.
- [6] Song, J., K. Heungseob dan B. Kwangsuck (2005). **A Study on An Anti-Lock Braking System Controller and Rear-Wheel Controller to Enhance Vehicle Lateral Stability**. Proc. IMechE Vol. 221 Part D: J. Automobile Engineering. (777-787).

- [7] Sutantra, I Nyoman dan Sampurno, Bambang (2010). **Teknologi Otomotif ; Edisi Kedua**. Surabaya : Guna Widya.
- [8] TUR. Okan, Ozgur USTUN, Member IEEE, & R. Nejat TUNCAY, Member, IEEE (2007). **An Introduction to Regenerative Braking of Electric Vehicles as Antilock Braking System**. Intelligent Vehicles Symposium Istanbul, Turkey.
- [9] Wenjuan Li, Xudong Wang, Xue Leng, and Meng Wang (2008). **Modeling and Simulation of Automobile Braking System Based on Kinetic Energy Conversion**. College of Electrical & Electronic Engineering, Harbin University of Science & Technology, Harbin, China. IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC).
- [10] Wibowo, 2007. **Rancang Bangun Sistem Rem Antilock ABS Dengan Penambahan Komponen Elastik Untuk Memperbaiki Kinerja Dari Semi ABS**. Thesis ITS. Surabaya.

LAMPIRAN

UK Government : Department for Transport

GOV.UK

The Highway Code

[Give feedback about this page](#)

From: [Department for Transport](#)
Updated: 5 December 2016, [see all updates](#)

Search this manual

[Contents](#) > General rules, techniques and advice for all drivers and riders (103 to 158)

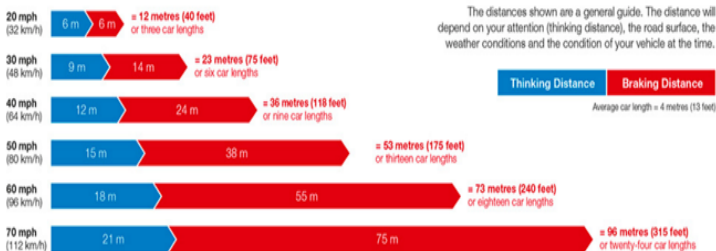
General rules, techniques and advice for all drivers and riders (103 to 158)

The Highway Code general rules, techniques and advice for all drivers and riders, including signals, stopping procedures, lighting requirements, control of the vehicle, speed limits, stopping distances, lines and lane markings, multi-lane carriageways and general advice.

[Open all](#) Close all

Rule 126

Typical Stopping Distances



M File MATLAB || ABS PANSER ANOA APC 6X6

```

Af      = 4.425;luas frontal m^2
Amc     = 0.0030203;luas master caliper m^2
          d=0.062
Ams     = 0.0005728;luas master silinder m^2
          d=0.027
cd      = 0.8;koefisien drag kendaraan
          penumpang
ctrl    = 1;on/off | abs on=1 // lbs off=0
Fpe     = 300;gaya pedal N
Fr      = 0.08;koefisien hambatan
g       = 9.81;gravitasi bumi m/s^2
J       = 8.1;inersia roda kgm^2
          1/2m(r1^2-r2^2)
Kfds    = 0.00005981;koefisien disk pad
          (Ams*rds)
Klag    = 18527976;tekanan pengereman Pa
la      = 0.22;jarak pedal rem ke tumpuan m
lb      = 0.025;jarak rod ke tumpuan m
m       = 13690;massa kendaraan kg + 12
          penumpang
mf      = 5389.87;massa depan kendaraan kg
          + 12 penumpang
mr      = 8300.13;massa belakang kendaraan
          kg + 12 penumpang
mu      = [0 .4 .8 .97 1.0 .98 .96 .94 .92
          .9 .88 .855 .83 .81 .79 .77 .75 .73
          .72 .71 .7];
Plagmax = 20000000;tekanan pengereman Pa
Rr      = 0.2205;radius dinamis roda m
          0.381/2 +(rout-rin/2)
slip    = (0:.05:1.0);koefisien gesek
v0      = 16.666667;kecepatan awal m/s
          60km/h=16.666667m/s

```

BIODATA PENULIS



Muhammad Jundulloh lahir pada 10 Oktober 1993 di Kota Pasuruan – Jawa Timur, adalah anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis menyelesaikan pendidikan mulai dari SD 07 Mataram (1999-2004), SD Celep 02 Sidoarjo (2004-2005), SMP Boarding School Ar-Rahmah Malang (2005-2008) dan SMAN 1 Sidoarjo (2008-2011). kemudian pada tahun 2011 penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang sarjana (S1) di Jurusan Teknik Mesin - Institut Teknologi

Sepuluh Nopember, Surabaya dengan NRP 2111100145.

Selain belajar, penulis juga pernah aktif dalam *event* besar Teknik Mesin ITS tahun 2013 “*Mechanical City*” sebagai direktur publikasi dan dokumentasi. Penulis juga memiliki hobi *adventure* dan *travelling*. Selama masa perkuliahan, penulis sangat menyukai bidang ilmu mengenai Otomotif dan Mesin Pembakaran Dalam. Keinginan untuk mengamalkan ilmu yang didapat selama kuliah, mendorong penulis untuk mengambil topik tugas akhir “Pemodelan dan Analisa *Antilock Braking System* (ABS) pada *Military Vehicle* Studi Kasus Panser Anoa APC 6X6” dibawah bimbingan Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc, Ph.D. Penulis memiliki harapan agar ilmu yang telah didapatkan dapat diamalkan untuk keluarga, lingkungan, bangsa.

Penulis mempunyai motto “kesalahan adalah hal yang paling berharga ketika kesalahan tersebut tidak terulang kembali. karena manusia tidak akan pernah **tidak melakukan kesalahan** sama sekali dalam hidupnya.” Penulis dapat dihubungi melalui *email* dengan alamat jundivale@gmail.com.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”