



TUGAS AKHIR - TF 181801

RANCANG BANGUN KONTROL *PROPORTIONAL INTEGRAL (PI)* DAN *SLIDING MODE CONTROL (SMC)* PADA *ANTI-LOCK BRAKING SYSTEM (ABS)*

**HARYO ARIF WICAKSONO
NRP 02311745000041**

**Dosen Pembimbing
Ir. Ya'umar, M.T.
NIP. 19540406 198103 1 003**

**Program Studi S-1 Teknik Fisika
Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019**

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT - TF 181801

***DESIGN CONTROL OF PROPORTIONAL
INTEGRAL (PI) AND SLIDING MODE CONTROL
(SMC) IN ANTI-LOCK BRAKING SYSTEM (ABS)***

HARYO ARIF WICAKSONO
NRP 02311745000041

Supervisor
Ir. Ya'umar, M.T.
NIP. 19540406 198103 1 003

Bachelor Degree
Department of Engineering Physics
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Haryo Arif Wicaksono
NRP : 02311745000041

Dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir saya berjudul **"RANCANG BANGUN KONTROL PROPORTIONAL INTEGRAL (PI) DAN SLIDING MODE CONTROL (SMC) PADA ANTI-LOCK BRAKING SYSTEM (ABS)"** adalah bebas plagiasi. Apabila pernyataan ini terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar –
benarnya.

Surabaya, 10 Juni 2019
Yang membuat pernyataan,



Haryo Arif Wicaksono
NRP. 02311745000041

Halaman ini sengaja dikosongkan

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**


**RANCANG BANGUN KONTROL *PROPORTIONAL
INTEGRAL (PI)* DAN *SLIDING MODE CONTROL (SMC)*
PADA *ANTI-LOCK BRAKING SYSTEM (ABS)***

Oleh:

Harvo Arif Wicaksono
NRP. 0231174500041

Surabaya, 10 Juni 2019
Mengetahui/Menyetujui

Pembimbing I,



Ir. Ya'umar, M.T.
NIP. 19540406 198103 1 003



Halaman ini sengaja dikosongkan

RANCANG BANGUN KONTROL *PROPORTIONAL INTEGRAL (PI) DAN SLIDING MODE CONTROL (SMC)* PADA *ANTI-LOCK BRAKING SYSTEM (ABS)*

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Minat Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

HARYO ARIF WICAKSONO

NRP. 02311745000041

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Ir. Ya'umar, M.T. (Pembimbing I)
2. Dr. Bambang L. Widjiantoro, S.T., M.T. (Ketua Penguji)
3. Dr. Katherin Indriawati, S.T., M.T. (Penguji I)
4. Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc. (Penguji II)

**SURABAYA
JUNI, 2019**

Halaman ini sengaja dikosongkan

RANCANG BANGUN KONTROL *PROPORTIONAL INTEGRAL (PI)* DAN *SLIDING MODE CONTROL (SMC)* PADA *ANTI-LOCK BRAKING SYSTEM (ABS)*

Nama : Haryo Arif Wicaksono
NRP : 023174500041
Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Ya'umar, M.T.

Abstrak

Semakin tingginya angka kepemilikan kendaraan dan rendahnya pengetahuan tentang keamanan berkendara akan menyebabkan tingginya angka kecelakaan. Umum diketahui bahwa sistem pengereman berperan penting pada kendaraan dalam hal keamanan (*safety*). Kegagalan pada sistem pengereman dapat menyebabkan kecelakaan yang berakibat fatal. Teknologi sistem pengereman terkini yang umum dikenal saat ini dan telah menjadi perangkat standar kendaraan adalah sistem *anti lock braking (ABS)*. ABS merupakan sistem pengamanan pada sistem pengereman kendaraan agar roda pada mobil tidak terkunci ketika pengereman secara mendadak dilakukan. Hal ini menjadikan jarak pengereman (*braking distance*) lebih pendek dan kendaraan masih tetap stabil atau mudah dikendalikan walau direm pada kondisi berbelok. Dengan demikian, mobil dengan ABS dapat mengurangi jarak penghentian mobil dan meningkatkan manuverabilitas dibandingkan dengan mobil yang tidak memiliki sistem ABS. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan Kontrol PISMC memiliki grafik respon yang baik dengan nilai *overshoot* 30.74% dan bisa mencapai *set point* sebelum *slipratio* mengalami penurunan serta waktu pengereman juga cukup singkat yaitu 4.5 detik.

Kata Kunci: Kontrol *PISMC*, *ABS*, *Slipratio*, *Safety*

Halaman ini sengaja dikosongkan

**DESIGN CONTROL OF PROPORTIONAL INTEGRAL (PI)
AND SLIDING MODE CONTROL (SMC) IN ANTI-LOCK
BRAKING SYSTEM (ABS)**

Name : Haryo Arif Wicaksono
NRP : 0231174500041
Department : Engineering Physics
Supervisors : Ir. Ya'umar, MT.

Abstract

The higher number of vehicle ownership and low knowledge about driving safety will cause a high number of accidents. It is well known that braking systems play an important role in vehicles in terms of safety. Failure in the braking system can cause fatal accidents. The latest braking system technology that is commonly known today and has become a standard vehicle vehicle is the anti lock braking (ABS) system. ABS is a security system in the vehicle braking system so that the wheels on the car are not locked when braking is suddenly carried out. This makes braking distance shorter and the vehicle is still stable or easily controlled even when braked in a turn condition. Thus, a car with ABS can reduce car stopping distance and increase maneuverability compared to cars that do not have an ABS system. From the results of the research carried out the PISMC Control has a good response graph with an overshoot value of 30.74% and can reach the set point before the slipratio has decreased and the braking time is also quite short at 4.5 seconds.

Keywords: *PISMC Control, ABS, Slipratio, Safety*

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya, serta shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“RANCANG BANGUN KONTROL *PROPORTIONAL INTEGRAL (PI) DAN SLIDING MODE CONTROL (SMC) PADA ANTI-LOCK BRAKING SYSTEM (ABS)*”**. Penulis juga ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada semua pihak yang turut membantu baik moril maupun materiil dan berperan penting dalam penyelesaian Tugas Akhir ini. Penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D selaku Ketua Departemen Teknik Fisika dan selaku dosen wali yang telah memberikan petunjuk, ilmu, serta bimbingan selama menempuh pendidikan di Teknik Fisika.
2. Bapak Ir. Ya'umar, MT. selaku dosen pembimbing yang telah dengan sabar memberikan petunjuk, ilmu, serta bimbingan yang sangat bermanfaat.
3. Ibu Dr. Katherin Indriawati, S.T, M.T. selaku Kepala Laboratorium Fisika Rekayasa yang telah memberikan ilmu, petunjuk, nasihat, serta kemudahan perizinan.
4. Kedua orang tua (Bapak Alm. Gandung Budi Kuncahyo dan Ibu Endah Wilujeng Ikrimah). Terimakasih atas segala cinta, kasih sayang, doa, perhatian, serta dukungan moril dan materiil yang telah diberikan.
5. Seluruh teman-teman Departemen Teknik Fisika Lintas Jalur angkatan 2017, teman-teman asisten Laboratorium Fisika Rekayasa, terima kasih untuk dukungan dan bantuannya.
6. Seluruh dosen, karyawan dan civitas akademik Teknik Fisika, terimakasih atas segala bantuan dan kerjasamanya.
7. Keluarga Laboratorium Pengukuran Fisis yang banyak membantu menyemangati penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Ridha Tentiani yang menyemagati tanpa henti penulis untuk menyelesaikan tugas akhirnya.

9. Serta semua orang yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis sadar bahwa penulisan laporan tugas akhir ini tidak sempurna, namun semoga laporan ini dapat memberikan kontribusi yang berarti dan menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembaca, keluarga besar Teknik Fisika khususnya, dan civitas akademik ITS pada umumnya. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat sebagai referensi pengerjaan laporan tugas akhir bagi mahasiswa yang lain.

Surabaya, 10 Juni 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	v
LEMBAR PENGESAHAN.....	vii
ABSTRAK.....	xi
<i>ABSTRACT</i>	xiii
KATA PENGANTAR.....	xv
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Permasalahan.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat	4
1.6 Sistematika Laporan	4
BAB II TEORI PENUNJANG.....	7
2.1 <i>Anti-Lock Braking System (ABS)</i>	7
2.2 Cara Kerja <i>Anti-Lock Braking System</i>	9
2.3. Komponen Pada <i>Plant</i> Sistem Pengereman ABS	12
2.5 <i>Sliding Mode Controller</i>	17
2.6 Kontrol Proportional Integral (PI)	18
2.7 Prosedur Kalibrasi	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1 Studi Literatur	26
3.2 Rancang Bangun <i>Plant Anti-Lock Braking System</i>	27
3.3 Perancangan Sistem Kendali Proporsional Integral (PI)	28
3.4 Perancangan Kontrol <i>Sliding Mode Controller</i>	29
BAB IV ANALISA DATA.....	33
4.1 Pengujian Sensor <i>Wheelspeed (Proximity Sensor)</i>	33
4.2 Uji Pemodelan <i>Anti-Lock Braking System</i>	35

4.3 Uji <i>Closed Loop</i> Menggunakan Proporsional Integral Controller (PI).....	37
BAB V PENUTUP.....	47
5.1 Kesimpulan	47
5.2 Saran.....	48
DAFTAR PUSTAKA.....	49
LAMPIRAN A.....	53
LAMPIRAN B	67
LAMPIRAN C	69
BIODATA PENULIS.....	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Kurva perbandingan koefisien gesek permukaan jalan dengan slip ratio roda	8
Gambar 2.2	Kendali ECU ABS Ketika <i>Normal</i>	10
Gambar 2.3	Kendali ECU ABS Ketika <i>Increase</i>	10
Gambar 2.4	Kendali ECU ABS Ketika <i>Dump</i>	11
Gambar 2.5	<i>Master Silinder</i>	12
Gambar 2.6	<i>Solenoid Valve</i>	13
Gambar 2.7	<i>Brake Switch</i>	14
Gambar 2.8	<i>Sensor Proximity</i>	15
Gambar 2.9	<i>Electronic Control Unit</i>	15
Gambar 2.10	Interpretasi grafik SMC	18
Gambar 3.1	Flowchart tugas akhir	25
Gambar 3.2	Rancang Bangun Plant ABS	27
Gambar 3.3	Blok Diagram Sistem Pengendalian PI.....	29
Gambar 3.4	Blok Diagram Sistem Pengendalian PISMC.....	31
Gambar 4.1	Peletakan Sensor Proximity	33
Gambar 4.2	Grafik Pembacaan RPM Alat dan Standart.....	35
Gambar 4.3	Respon sistem pada Loop terbuka	36
Gambar 4.4	Respon kecepatan angular roda berbanding kecepatan kendaraan tanpa dilengkapi ABS	37
Gambar 4.5	Respon <i>slip ratio</i> pada uji <i>closed loop</i> dengan menggunakan nilai $K_p = 1.5$ dan $K_i = 0.04$	38
Gambar 4.6	Respon kecepatan pada uji <i>closed loop</i> dengan menggunakan nilai $K_p = 1.5$ dan $K_i = 0.04$	39
Gambar 4.7	Respon <i>slip ratio</i> pada uji <i>closed loop</i> dengan menggunakan nilai $K_p = 0.5$ dan $K_i = 0.02$	39
Gambar 4.8	Respon kecepatan pada uji <i>closed loop</i> dengan menggunakan nilai $K_p = 0.5$ dan $K_i = 0.02$	40
Gambar 4.9	Respon <i>slip ratio</i> pada uji <i>closed loop</i> dengan menggunakan nilai $K_p = 1.5$ dan $K_i = 0.02$	41
Gambar 4.10	Respon kecepatan pada uji <i>closed loop</i> dengan menggunakan nilai $K_p = 1.5$ dan $K_i = 0.02$	41

Gambar 4.11	Respon <i>slip ratio</i> pada uji <i>closed loop</i> dengan menggunakan nilai $K_{sw} = 0.005$ $K_p = 0.5$ dan $K_i = 0.02$	42
Gambar 4.12	Respon kecepatan pada uji <i>closed loop</i> dengan menggunakan nilai $K_{sw} = 0.005$ $K_p = 0.5$ dan $K_i = 0.02$	43
Gambar 4.13	Respon kecepatan pada uji <i>closed loop</i> dengan menggunakan nilai $K_{sw} = 0.01$ $K_p = 0.5$ dan $K_i = 0.02$	44
Gambar 4.14	Respon <i>slip ratio</i> pada uji <i>closed loop</i> dengan menggunakan nilai $K_{sw} = 0.01$ $K_p = 0.5$ dan $K_i = 0.02$	44
Gambar 4.15	Respon <i>slip ratio</i> pada uji <i>closed loop</i> dengan menggunakan nilai $K_{sw} = 0.007$ $K_p = 0.5$ dan $K_i = 0.02$	45
Gambar 4.16	Respon kecepatan pada uji <i>closed loop</i> dengan menggunakan nilai $K_{sw} = 0.007$ $K_p = 0.5$ dan $K_i = 0.02$	45

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Koefisien Gesek Roda - Jalan.....	9
Tabel 4.1	Hasil Pengambilan Data RPM.....	34

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sejak pengembangan kendaraan bermotor pertama pada tahun 1769 dan terjadinya kecelakaan mengemudi pertama pada tahun 1770, para insinyur bertekad untuk mengurangi angka kecelakaan kendaraan (Hart, 2003). Pakar kendaraan telah mengembangkan bidang ini melalui penemuan sistem anti-pengereman mekanis (ABS) sistem pertama yang telah dirancang dan diproduksi di industri dirgantara pada tahun 1930 (Maier & Muller, 1996). Setelah itu, pada 1960-an, mobil kelas atas dilengkapi dengan ABS hanya pada roda belakang dan dengan kemajuan pesat mikrokomputer serta teknologi elektronik, tren meledak pada 1980-an. Saat ini, ABS roda semua dapat ditemukan pada sebagian besar kendaraan model lama dan bahkan pada sepeda motor tertentu (Fling & Fenton 1981).

Penduduk di Indonesia pada tahun 2015 berdasarkan data statistik sensus penduduk Indonesia sebanyak 258,2 juta jiwa. Jumlah penduduk tersebut mengalami kenaikan sekitar 2,9 juta jiwa bila dibandingkan dengan tahun 2016 lalu. Pertumbuhan penduduk berdampak pada pertambahannya kebutuhan transportasi darat, dimana rakyat Indonesia memiliki konsep praktis, efektif, efisien dan murah, maka masyarakat Indonesia lebih memilih kendaraan bermotor. Jumlah kepemilikan kendaraan bermotor di seluruh Indonesia pada tahun 2015 menurut Badan Pusat Statistik sebanyak 92.976.240 jiwa maka pastinya setiap tahun akan bertambah (sumber : www.bps.go.id).

Semakin tingginya angka kepemilikan kendaraan dan rendahnya pengetahuan tentang keamanan berkendara akan menyebabkan tingginya angka kecelakaan. Masyarakat Indonesia yang memiliki kendaraan, terutama kendaraan bermotor, mereka tidak memikirkan resikonya, kendaraan bermotor salah satu kendaraan darat yang paling membahayakan. Salah satu contohnya mereka yang menggunakan kendaraan bermotor sering berkendara dengan kecepatan tinggi dengan alasan terkejar waktu karena

kendaraan bermotor memang ringan dan sangat mudah untuk di akselerasi terutama pada motor matic. Dampak dari mereka yang berkendara dengan kecepatan tinggi ketika berhadapan dengan lawan di jalan raya, mereka akan menginjak atau menekan rem dengan tiba-tiba akibatnya motor bisa terjatuh dan hilang kendali dan dapat berujung pada kematian. (M. Rahmadi Gilang, 2017)

Umum diketahui bahwa sistem pengereman berperan penting pada kendaraan dalam hal keamanan (*safety*). Kegagalan pada sistem pengereman dapat menyebabkan kecelakaan yang berakibat fatal. Teknologi sistem pengereman terkini yang umum dikenal saat ini dan telah menjadi perangkat standar kendaraan adalah sistem *anti lock braking* (ABS). ABS merupakan sistem pengamanan pada sistem pengereman kendaraan agar roda pada mobil tidak terkunci ketika pengereman secara mendadak dilakukan. Hal ini menjadikan jarak pengereman (*braking distance*) lebih pendek dan kendaraan masih tetap stabil atau mudah dikendalikan walau direm pada kondisi berbelok. Dengan demikian, mobil dengan ABS dapat mengurangi jarak penghentian mobil dan meningkatkan manuverabilitas dibandingkan dengan mobil yang tidak memiliki (Lee & Zak, 2002).

Aktuator yang bekerja pada sistem pengereman ABS adalah *solenoid valve*. Kontroler akan mengeluarkan sinyal elektrik yang akan digunakan *solenoid valve* untuk mengatur tekanan pengereman atau *braking pressure*. Ketika dalam keadaan tidak dibangkitkan, lilitan *solenoid valve* yang akan menggerakkan *inlet* dan *outlet* dalam keadaan mati. Sedangkan *inlet valve* dan *outlet valve* masing-masing dalam keadaan terbuka dan tertutup. Dalam penggunaannya, *solenoid valve* juga dapat terjadi kesalahan. Diantara kesalahan yang sering terjadi pada *solenoid valve* adalah: *valve* gagal untuk membuka, kesalahan akibat *valve* yang terbuka sebagian, maupun tidak berfungsinya lilitan akibat terbakar maupun meleleh. Hal ini sangat berbahaya, mengingat sistem pengereman merupakan sistem yang vital pada suatu mobil. Untuk itu, diperlukan sistem pengendalian yang mampu mengurangi dampak kesalahan tersebut. (Gou, Lingzhi, & Chengdong, 2017)

Berdasarkan uraian di atas, maka permasalahan yang diangkat dalam tugas akhir ini adalah merancang bangun sistem kontrol PI dan *sliding mode control* pada *anti-lock braking system* (ABS).

1.2 Rumusan Permasalahan

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka didapatkan permasalahan dalam tugas akhir ini, yaitu:

- Bagaimana karakteristik sistem pengereman *anti-lock braking system* (ABS) ?
- Bagaimana merancang suatu sistem kontrol pada *anti-lock braking system* (ABS) menggunakan metode kontrol *proportional integral* (PI) dan *sliding mode control* (SMC) ?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, maka tujuan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

- Mengetahui karakteristik sistem pengereman *anti-lock braking system* (ABS).
- Merancang sistem kontrol *anti-lock braking system* (ABS) menggunakan metode kontrol *proportional integral* (PI) dan *sliding mode control* (SMC).

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penenitian ini adalah sebagai berikut:

- Kendaraan yang ditinjau pemodelannya adalah berupa *Quarter Car Model* (QCM) untuk jenis kendaraan berpenumpang.
- Kendaraan diasumsikan berada pada lintasan lurus, datar, dan tidak bergelombang.
- Mikrokontroler yang digunakan adalah ATMEGA16.
- Nilai *set point* adalah 0.2 berdasarkan nilai *slip ratio* optimal pada kondisi jalan aspal kering.

1.5 Manfaat

Manfaat dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- Mengetahui karakteristik system pengereman *anti-lock braking system* (ABS) dapat dijadikan acuan sebagai parameter pada suatu sistem kendali ABS.
- Perancangan sistem kontrol *anti-lock braking system* (ABS) menggunakan metode kontrol *proportional integral* (PI) dan *sliding mode control* (SMC) dapat dijadikan parameter pembanding sistem kendali mana yang lebih baik.

1.6 Sistematika Laporan

Sistematika laporan tugas akhir diuraikan sebagai berikut

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat, dan sistematika laporan.

BAB II DASAR TEORI

Bab ini berisi mengenai teori – teori pada tugas akhir, seperti pengertian, gambaran umum, dan proses pada ABS, *sliding mode control*, sistem kendali PI, dan komponen pada sistem ABS.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini terdiri dari pemodelan sistem menggunakan perhitungan lalu disimulasikan pada software ATMEGA16 untuk mendapatkan grafik hingga bisa dilihat karakteristik responnya, langkah – langkah perancangan kendali PI, dan langkah – langkah perancangan sistem ABS serta pengujian dengan simulasi pada program ATMEGA 16.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi mengenai hasil evaluasi uji karekteristik ABS dengan metode kontrol PI dibandingkan dengan metode kontrol SMC. Setelah data diperoleh dan grafik respon diperoleh dilakukan pembahasan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dari tugas akhir dan saran untuk memperbaiki kekurangan dari hasil tugas akhir ini.pengertian, gambaran umum, dan proses pada pengereman, sistem kendali

pada pengereman ABS, sistem kendali PI, serta *sliding mode control*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

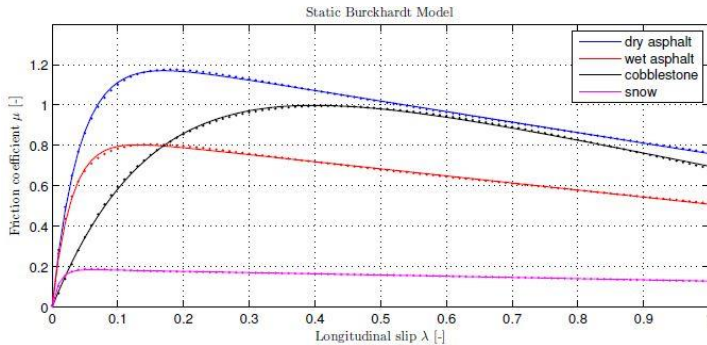
BAB II TEORI PENUNJANG

2.1 *Anti-Lock Braking System (ABS)*

Anti-Lock Braking System digunakan pada mobil untuk mencegah terjadinya slip dan penguncian pada roda saat pengereman. Unit ini adalah salah satu sistem keamanan (*safety*) pada mobil. Pada saat terjadi pengereman yang parah, terdapat sebuah titik dimana kecepatan tangensial permukaan ban tidak sama dengan kecepatan pada permukaan jalan sehingga dapat diperoleh slip optimal yang sesuai dengan gesekan maksimum (Aly dkk, 2011). ABS pertama kali diterapkan untuk kendaraan otomotif mobil pada tahun 1971 dengan tujuan utama mencegah roda terkunci, mengurangi jarak henti (*stopping distance*), meningkatkan stabilitas dan meningkatkan *steerability* kendaraan selama pengereman (Solyon, 2002). ABS mengalami kemajuan teknologi dalam kemampuannya mengkonversi energi kalor yang dihasilkan pada saat proses pengereman menjadi energi listrik dan dapat disimpan didalam baterai. Sistem pengereman inilah yang dinamakan dengan *regenerative ABS*. Sebuah teknologi pengereman kendaraan untuk mencapai tingkat akselerasi minimum dengan optimal dan efisien tanpa mempengaruhi stabilitas dan kemampuan kendali kemudi kendaraan dengan tingkat keselamatan maksimum dan mampu menyimpan energi terbangun pada saat pengereman menjadi energi listrik (Jingang dkk, 2014). Ketika roda terkunci maka biasanya pengemudi kehilangan kendali dan arah laju roda kendaraan pada permukaan geseknya menjadi tidak normal sehingga kecelakaan tidak dapat dihindari.

Pengereman yang dilakukan pada kendaraan akan menimbulkan gaya *tractive force* yang dihasilkan oleh ban. *Tractive force* sebanding dengan gaya normal jalan yang bekerja pada ban. Perbandingan variasi atau koefisien permukaan jalan diperlihatkan oleh grafik fungsi non- linear antara koefisien gesekan dengan jalan (μ) dan *slip ratio* roda (λ) untuk kondisi spesifik jalanan tertentu. Pada Gambar 2.1 ditunjukkan bahwa

untuk berbagai kondisi jalan, koefisien gesek maksimum adalah pada saat nilai *slip ratio* roda bernilai 0,2 dan sangat buruk pada saat bernilai 1 yaitu saat roda dalam keadaan terkunci sempurna. Maka dari itu, pada sistem pengereman *anti-lock* nilai *slip ratio* roda dijaga agar dalam keadaan optimal yaitu bernilai 0,2 untuk memaksimalkan koefisien gesek pada semua kondisi jalan.



Gambar 2.1 Kurva perbandingan koefisien gesek permukaan jalan dengan *slip ratio* roda (Lubbers, 2014)

Gambar 2.1 merupakan kurva perbandingan koefisien gesek permukaan jalan dengan slip ratio roda. *Slip ratio* (λ) dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan matematis yang merupakan fungsi dari kecepatan kendaraan dan putaran roda yang dapat dinyatakan pada persamaan (2.1).

$$\lambda = \frac{V - \omega R}{V} = 1 - \frac{\omega R}{V} \quad (2.1)$$

Dengan v adalah kecepatan kendaraan (m/s), ω adalah kecepatan angular roda (rad/s) dan R adalah jari-jari putaran roda (m). Nilai *slip ratio* pada kendaraan akan bernilai maksimal pada saat bernilai 1 (roda terkunci sempurna) dan bernilai minimum 0 pada saat roda berputar tanpa adanya gaya pengereman yang dilakukan. Hubungan antara nilai koefisien gesekan roda dengan

slip ratio yang dihasilkan pada saat pengereman dapat dinyatakan pada persamaan (2.2) :

$$\mu(\lambda, v) = [C_1(1 - e^{-C_2\lambda}) - C_3\lambda]e^{-C_4\lambda v} \quad (2.2)$$

Dengan:

C_1 = nilai maksimum kurva gesek

C_2 = bentuk kurva gesek

C_3 = perbedaan antara kurva gesek pada nilai maksimum dan pada saat $\lambda = 1$

C_4 = nilai karakteristik kebasahan jalan.

Tabel 2.1 Koefisien Gesek Roda - Jalan (Jingang dkk, 2014)

Kondisi Jalan	C_1	C_2	C_3	C_4
Aspal Kering	1.029	17.16	0.523	0.03
Beton Kering	1.1973	25.168	0.5373	0.03
Salju	0.1946	94.129	0.0646	0.03
Es	0.05	306.39	0	0.03

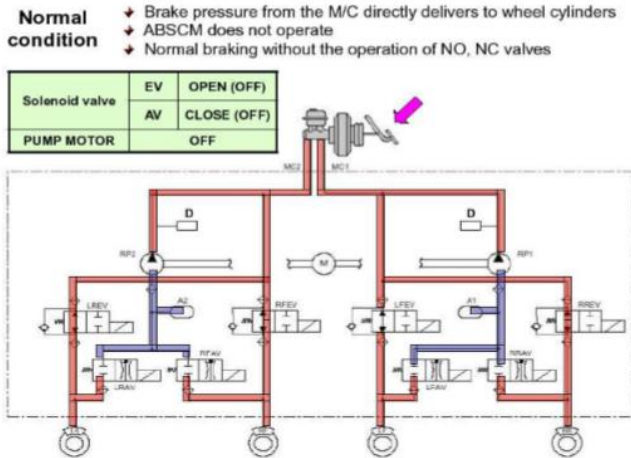
Nilai koefisien gesek yang dihasilkan mempengaruhi nilai *tractive force* pada roda kendaraan. Namun dengan adanya kendali *slip ratio* yang dijaga agar tetap berada pada kisaran 0,2 maka kerja roda dapat lebih optimal dan meminimalisir tingkat keausan ban. Untuk beberapa koefisien berdasar parameter profil jalan dijelaskan pada Tabel 2.1.

2.2 Cara Kerja *Anti-Lock Braking System*

Pada cara kerja *anti-lock braking system* ini terdapat empat kondisi. Terdapat kondisi normal, kondisi *increase*, kondisi *hold*, dan kondisi *dumb*. Keempat kondisi tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.2 – Gambar 2.5 :

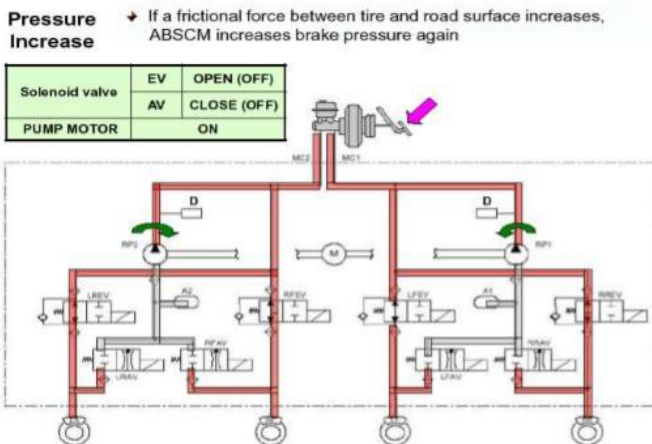
Kondisi pertama bila pedal rem baru saja diinjak pertama kali, maka posisi kendali normal seperti Gambar 2.2. Pengertian normal adalah seperti terjadi pada pengereman tanpa ABS atau disebut *lock brake system* (LBS). Pada pengereman seperti dipastikan *slip* terjadi menuju 100% (*full lock*), sehingga koefisien

gesek menemui nilai terendahnya, kondisi jarak pengereman menjadi panjang. Sehingga pengendara tidak bisa mengendalikan kendaraannya (Harly, 2019).



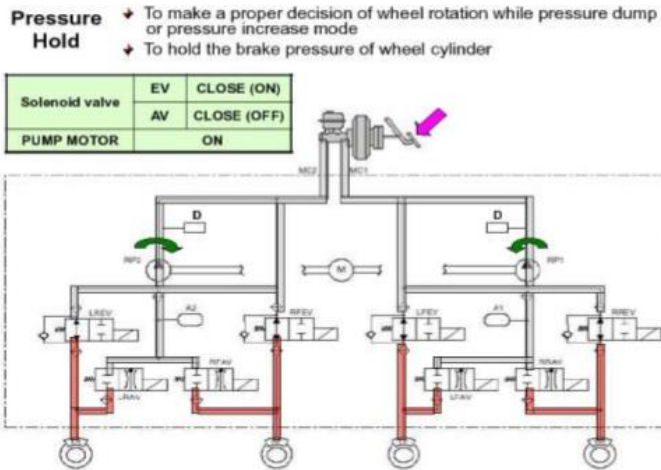
Gambar 2.2 Kendali ECU ABS Ketika Normal (Harly,2019)

Kondisi kedua yaitu bila pedal rem terus diinjak dan *slip* dibawah 15%, maka posisi kendali *increase* seperti Gambar 2.3 (Harly, 2019)



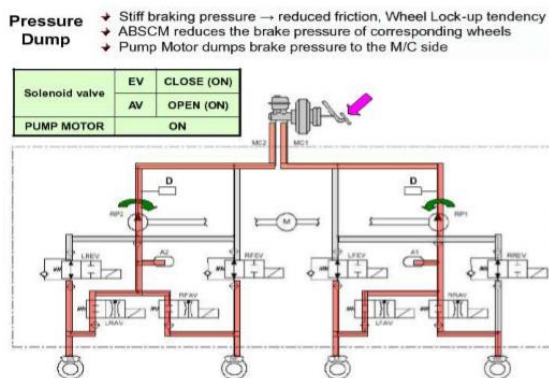
Gambar 2.3Kendali ECU ABS Ketika Increase (Harly, 2019)

Kondisi ketiga yaitu bila pedal rem terus diinjak dan *slip* antara 15% - 25%, maka posisi kendali *hold* seperti Gambar 2.4 : (Harly, 2019)



Gambar 2.4 Kendali ECU ABS Ketika *Hold* (Harly, 2019)

Kondisi keempat bila pedal rem terus diinjak dan *slip* diatas 25%, maka posisi kendali *dump* seperti Gambar 2.5 (Harly, 2019)



Gambar 2.4 Kendali ECU ABS Ketika *Dump* (Harly, 2019)

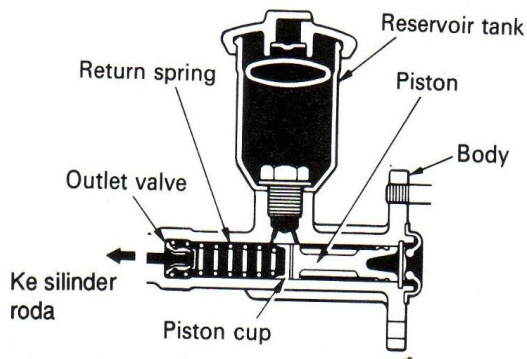
2.3. Komponen Pada *Plant* Sistem Pengereman ABS

Pada sistem pengereman ABS ini terdapat beberapa komponen utama yaitu sebagai berikut

- **Silinder *Master***

Pada sistem rem terdiri dari beberapa komponen, komponen-komponen pada sistem rem salah satunya adalah master silinder. Master silinder terdapat pada tipe rem hidrolis.

Pada Gambar 2.6 ini *master* silinder terdapat reservoir tank yang berfungsi untuk menampung cairan rem pada kendaraan. Baik pada rem hidrolis tipe *tromol* maupun *cakram* tetap menggunakan master silinder pada sistem remnya. *Master* silinder sendiri berfungsi untuk menaikkan tekanan dari pedal setelah pedal diinjak oleh pengemudi, yang nantinya tekanan dari pedal akan dirubah menjadi tekanan hidrolis pada master silinder yang kemudian digunakan untuk menekan piston pada kaliper atau silinder roda yang terdapat pada tiap-tiap roda. Master silinder rem terletak setelah pedal, namun pada kendaraan yang menggunakan booster rem, master silinder terletak setelah booster rem (Anata, 2014).



TIPE KONVENSIONAL

Gambar 2.5 Master Silinder (Ahmad, 2015)

- ***Solenoid Valve***



Gambar 2.6 Solenoid Valve (Frank D Petruzella, 2014)

Solenoid valve merupakan katup yang dikendalikan dengan arus listrik baik AC maupun DC melalui kumparan / selenoida. Solenoid valve ini merupakan elemen kontrol yang paling sering digunakan dalam sistem fluida. Seperti pada sistem pneumatik, sistem hidrolis ataupun pada sistem kontrol mesin yang membutuhkan elemen kontrol otomatis.

Pada Gambar 2.6 ini *solenoid valve* untuk fluida kerja cair. Prinsip kerja dari *solenoid valve* yaitu katup listrik yang mempunyai koil sebagai penggerakannya dimana ketika koil mendapat *supply* tegangan maka koil tersebut akan berubah menjadi medan magnet sehingga menggerakkan *piston* pada bagian dalamnya ketika piston bertekanan yang berasal dari *supply (service unit)*, pada umumnya *solenoid valve pneumatic* ini mempunyai tegangan kerja 100/200 VAC namun ada juga yang mempunyai tegangan kerja DC sebesar 12 – 24 VDC.

- ***Brake Switch***

Fungsi *switch* sendiri untuk menyambung dan memutuskan listrik dari aki ke lampu rem. saat pedal rem diinjak,

tangkai *switch* akan terdorong keluar oleh per dan memerintahkan arus listrik untuk menyalakan lampu rem. Jika pedal rem dilepas, maka aliran listrik kembali putus dan lampu akan mati.



Gambar 2.7 Brake Switch (Darmawan, 2014)

Pada Gambar 2.7 *brake switch* memiliki 2 kaki yang berfungsi menghubungkan kabel ke aki untuk mendapatkan tegangan sebesar 5 volt. Pemasangan kutub positif dan negatif pada *brake switch* ini bebas dikarenakan berfungsi hanya untuk memutus arus.

- **Sensor Kecepatan**

Sensor yang digunakan untuk mengetahui kecepatan roda adalah sensor *proximity* seperti pada Gambar 2.9. Sensor ini dipasang diatas piringan bergerigi yang secara langsung berhubungan dengan poros penggerak roda.

Putaran yang dihasilkan oleh roda akan sama dengan putaran pada piringan bergerigi dan hal ini akan menyebabkan terjadinya perubahan fluks magnetik pada sensor. Medan magnet yang berubah-ubah inilah yang akan menginduksi tegangan pada coil

yang diukur. Frekuensi dan amplitude sinyal yang dihasilkan sensor dapat merepresentasikan kecepatan putar roda.



Gambar 2.8 Sensor *Proximity* (Stanislaw, 2002)

- *Electronic Controller Unit (ECU)*



Gambar 2.9 Electronic Control Unit (Heryanto, 2013)

ECU merupakan bagian terpenting dari sistem pengereman *regenerative* ABS. Fungsi dari ECU yaitu menerima sinyal masukan dari sensor untuk kemudian diproses dalam fungsi kecepatan roda untuk digunakan menghitung estimasi kecepatan kendaraan.

ABS juga memiliki fungsi untuk mengatur logika perhitungan *tractive force* maupun kecepatan roda dan kendaraan untuk melakukan kontrol nilai *slip ratio* agar tetap pada nilai yang optimum dengan membandingkan kecepatan dari masing-masing roda. Sinyal kontrol nilai *slip ratio* optimum akan dikodekan ECU pada setiap aliran tekanan *solenoid valve* agar diatur melalui modulator tekanan pada setiap *master silinder* rem yang terhubung pada *disk brake* masing-masing roda.

Pada Gambar 2.9 merupakan *mikrokontroller* ATMEGA 16 yang berfungsi sebagai ECU pada *plant* ABS ini. Data kecepatan sensor, input dari *brake switch*, nilai sinyal kontrol *Proportional* dan *Proportional Integral* diproses oleh ATMEGA 16. Hasil data yang dikeluarkan akan dapat ditampilkan di *display*.

- ***Hydraulic Control Unit (HCU)***

Sebuah HCU memiliki dua komponen penting yaitu katup hidrolik rem ABS dan modulator tekanan pengereman. Modulator tekanan pengereman merupakan komponen berbentuk *valve* yang bergerak membuka dan menutup sirkuit hydraulic yang menghubungkan antara *master silinder* dan rem. Sementara katup hydraulic rem ABS berfungsi mendistribusikan tekanan fluida atau minyak rem ke setiap bagian roda. Pada saat pengereman dilakukan *valve* masukan pada *master silinder* akan terbuka dan tekanan outlet rem dan pompa akan tertutup sehingga akan memberikan kerja pada masing-masing rem. Kemudian, ECU akan mengendalikan bukaan outlet *valve* antara rem dan tekanan pompa agar tidak adanya tekanan berlebih pada rem tiap-tiap roda sehingga nilai *slip ratio* dapat terkontrol. Dalam pengoperasiannya sistem ABS memiliki beberapa katup dengan fungsi yang berbeda. Katup tersebut terdiri dari tiga bagian yaitu

supply port, *delivery port*, *exhaust port* yang akan dijelaskan sebagai berikut :

- *Supply Port*
Bagian atau sisi yang menerima tekanan udara dari *relay valve*.
- *Delivery Port*
Bagian atau sisi yang memberi tekanan udara menuju ruangan rem.
- *Exhaust Port*
Bagian atau sisi yang membuang tekanan udara dari sisi *delivery port* saat ABS kontrol saja (Wabco, 2013).

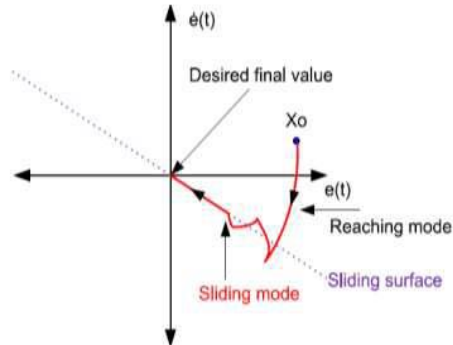
Valve pada ABS memiliki 3 fungsi utama dalam menunjang performa sistem pengereman. Fungsi pertama yaitu membuka dan memberi jalan fluida hidrolis dari pedal rem atau pompa untuk mencapai sistem pengereman. Fungsi kedua ialah untuk mengatur tekanan sebelumnya untuk diberikan ke sistem pengereman. Hal ini dapat dicapai dengan menutup katup untuk menahan tekanan lebih lanjut dari pedal rem. Fungsi ketiga dari *valve* yaitu untuk mengurangi jumlah tekanan hidrolis pada sistem pengereman. Hal ini dapat dicapai dengan membuka katup untuk mengarahkan fluida hidrolis untuk dilepas dari sistem pengereman.

2.5 *Sliding Mode Controller*

Pengendali jenis *sliding mode* adalah suatu jenis kendali dengan pendekatan *state space* dalam menganalisa sebuah sistem yang kompleks (Nasir, 2010). Penerapannya pada kontrol ABS dapat digunakan dalam melakukan *feedback* on-off berskala tinggi dalam penentuan aliran tekanan fluida pada distribusi tiap-tiap rem. Prinsip kerja SMC yaitu mengendalikan *trajectory state* suatu sistem untuk menuju suatu permukaan luncur (*reaching mode*) dan mempertahankan pada nilai tertentu. Penentuan nilai permukaan luncur mempertimbangkan *state* dari suatu sistem dengan menggunakan fase bidang yang terdiri dari *error* dan turunan pertama *error* tersebut. Dapat dilihat bahwa pada saat dimulai dari berbagai kondisi, keadaan trayektori akan menuju permukaan

luncur dan kemudian akan meluncur sepanjang permukaan menuju *set point*.

Pada Gambar 2.11 grafik SMC permukaan luncur (*sliding surface*) sistem pengendali harus ditentukan dengan memperhatikan parameter *set point* yang digunakan.



Gambar 2.10 Interpretasi grafik SMC (Holkar, 2013)

Untuk sistem *regenerative* ABS parameter yang digunakan dalam penentuan *set point* merupakan nilai *slip ratio* ideal kendaraan saat melakukan pengereman. Penentuan permukaan luncur ini dilakukan agar dapat menjaga sistem tetap berada pada nilai *set point*nya.

$$\lambda = \frac{V - \omega R}{V} = 1 - \frac{\omega R}{V} \quad (2.3)$$

Membangun pengendali dengan metode *sliding mode control* juga melibatkan model sistem yang akan dikontrol.

2.6 Kontrol Proporsional Integral (PI)

Kontrol PI merupakan sistem kontrol gabungan dari kontrol proporsional dan sistem kontrol integral, dimana kedua sistem kontrol tersebut disatukan untuk mengontrol sebuah plant (katup solenoid). Kinerja yang baik dari sebuah kontrol PI dapat ditunjukkan dengan cara bagaimana sistem kontrol tersebut dapat mengatur plant sesuai nilai set point dengan respons time yang

lebih cepat dan mampu mempertahankan posisi plant tetap stabil pada nilai set point yang telah ditentukan. Sehingga dengan begitu proses pendinginan pada suatu bahan pangan akan lebih cepat dan hasil pendinginannya mempunyai kualitas yang baik.

Kinerja kontrol PI akan didapatkan hasil yang maksimal apabila didapatkan konstanta yang tepat pada masing-masing sistem kontrol yaitu konstanta proporsional (K_p) dan konstanta integral (K_i). Nilai konstanta tersebut pada sistem kontrol PI perlu diatur, karena dengan mengatur nilai konstanta pada masing-masing sistem kontrol yaitu sistem kontrol proporsional dan sistem kontrol integral akan didapatkan hasil pengontrolan yang baik, yaitu response time semakin cepat, temperatur pendinginan lebih stabil, dan nilai error overshoot dapat dihilangkan (Bashori, 2013).

Proses penentuan nilai konstanta pada sistem kontrol PI pada penelitian ini diperoleh berdasarkan proses perhitungan dengan menggunakan metode Trial and Error. Metode Trial and Error tersebut dilakukan untuk mendapatkan nilai konstanta yang tepat, karena melihat banyaknya nilai konstanta yang dapat diatur pada sistem kontrol yang telah dibuat, serta adanya ciri-ciri dari masing-masing sistem kontrol dalam hal ini adalah sistem kontrol proporsional dan sistem kontrol integral yang perlu dilakukan pertimbangan. Dimana menurut (Budi, 2011), ciri-ciri dari sistem kontrol proporsional yaitu:

- Nilai K_p kecil, pengontrolan proporsional hanya mampu melakukan koreksi kesalahan yang kecil, sehingga akan menghasilkan respons sistem yang lambat.
- Nilai K_p dinaikkan, respons sistem menunjukkan semakin cepat mencapai set point dan keadaan stabil.
- Nilai K_p diperbesar hingga mencapai harga yang berlebihan, akan mengakibatkan sistem bekerja tidak stabil.

Sedangkan ciri-ciri sistem kontrol dari kontrol integral (Budi, 2011) adalah:

- Keluaran pengontrol integral membutuhkan selang waktu tertentu, sehingga pengontrol integral cenderung memperlambat respon.

- Ketika sinyal kesalahan berharga nol, keluaran pengontrol akan bertahan pada nilai sebelumnya.
- Jika sinyal kesalahan tidak berharga nol (0), keluaran akan menunjukkan kenaikan atau penurunan yang dipengaruhi oleh besarnya sinyal kesalahan dan nilai K_i .
- Konstanta integral K_i yang berharga besar akan mempercepat hilangnya offset. Tetapi semakin besar nilai konstanta K_i akan mengakibatkan peningkatan osilasi dari sinyal keluaran pengontrol.

2.7 Prosedur Kalibrasi

Rangkaian kegiatan kalibrasi secara sederhana dapat digambarkan sebagai kegiatan persiapan kalibrasi, pelaksanaan kalibrasi, perhitungan data kalibrasi, penentuan ketidakpastian dan penerbitan laporan kalibrasi.

- **Persiapan kalibrasi**

Persiapan alat standar dan alat yang dikalibrasi. Alat yang akan dikalibrasi dan alat standar dikondisikan pada kondisi yang sama sesuai metode kalibrasi, hal ini diperlukan untuk menghindari perbedaan hasil ukur akibat pengaruh lingkungan.

Pelaksana kalibrasi harus dipilih orang yang mengerti tentang kalibrasi yang akan dilaksanakan, misalnya telah pernah mengikuti kursus kalibrasi, telah berpengalaman dibidangnya, dan dalam hal tertentu memerlukan persyaratan latar belakang pendidikan atau persyaratan fisik tertentu (misalnya tidak boleh buta warna). Hal ini diperlukan untuk menghindari kesalahan pengambilan data ukur.

Kondisi lingkungan kalibrasi harus diatur sedemikian sesuai persyaratan metode kalibrasi umpama suhu dan kelembaban. Tidak selamanya kalibrasi harus dilakukan pada ruang yang terkondisi dengan ketat. Pengkondisian lingkungan kalibrasi biasanya dilakukan untuk kalibrasi peralatan yang mudah berubah akibat pengaruh suhu, kelembaban, getaran, cahaya, dan sebagainya.

Metode kalibrasi dapat mengacu kepada metode standar internasional maupun metode standar lainnya semisal text book, jurnal, buletin, dan manual peralatan, namun perlu diperhatikan bahwa acuan tersebut harus merupakan publikasi yang diakui masyarakat luas. Selain itu dari beberapa pilihan metode kalibrasi dapat dipilih metode yang mudah dilaksanakan, karena sulitnya mengikuti metode kalibrasi dapat berakibat kesalahan dalam pengambilan data kalibrasi.

- Pelaksanaan kalibrasi

Jika alat yang dikalibrasi berupa instrumen, pastikan bahwa alat tersebut dapat beroperasi normal. Jika alat berupa objek ukur pastikan bahwa alat mempunyai bentuk sempurna. Pada prinsipnya pelaksanaan kalibrasi tidak bertujuan untuk memperbaiki alat, karenanya alat yang tidak normal seyogyanya tidak boleh dikalibrasi. Alat demikian harus diperbaiki dulu oleh petugas yang khusus menangani perbaikan alat hingga alat tersebut diyakini beroperasi normal.

Penyetelan alat yang akan dikalibrasi biasanya diperlukan untuk menghindari kesalahan titik nol. Penyetelan dapat berupa menyetel kedataran, pembersihan alat dari kotoran, menyetel titik nol, dalam hal misalnya kalibrasi neraca elektronik penyetelan dapat berupa kalibrasi internal sesuai prosedur dalam manual.

Pengamatan ini dimaksudkan untuk memastikan kewajaran penunjukan alat. Jika alat menunjukkan hasil ukur yang tidak wajar mungkin perlu penyetelan kembali atau perlu dicari penyebab ketidakwajaran penunjukan alat tersebut.

Pengukuran dilakukan pada titik ukur tertentu seperti dinyatakan dalam dokumen acuan kalibrasi sesuai kapasitas alat atau rentang ukur tertentu yang biasa digunakan oleh pengguna alat. Jika dokumen acuan kalibrasi tidak menyatakan titik ukur, biasanya pengukuran dilakukan dalam selang 10% dari kapasitas ukur alat. Titik uku harus dibuat mudah dibaca oleh pengguna alat. Pada waktu pengukuran hanyalah melakukan pengambilan data dan tidak boleh melakukan kegiatan lainnya yang mungkin menyebabkan pembacaan atau pencatatan menjadi salah.

- Pencatatan

Pencatatan hasil ukur harus berdasar kepada apa yang dilihat bukan kepada apa yang dirasakan. Pencatatan dilakukan seobjektif mungkin menggunakan format yang telah dirancang dengan teliti sesuai dengan ketentuan metode kalibrasi. Selain data ukur hal yang perlu dicatat adalah identitas alat selengkapya serta faktor yang mempengaruhi kalibrasi seperti suhu ruangan, kelembaban, tekanan udara dan sebagainya.

- Perhitungan

Data kalibrasi yang diperoleh dihitung sesuai metode kalibrasi. Perhitungan biasanya melibatkan pekerjaan mengkonversi satuan, menghitung nilai maksimum-minimum, nilai rata-rata, standar deviasi, atau menentukan persamaan regresi. Hasil perhitungan akan menjadi dasar dalam penarikan kesimpulan dan penentuan ketidakpastian kalibrasi.

- Penentuan ketidakpastian

Penentuan ketidakpastian kalibrasi diperlukan karena ternyata bahwa hasil kalibrasi yang diperoleh dipengaruhi oleh berbagai faktor antara lain operator, alat kalibrasi, alat bersangkutan, lingkungan, metode kalibrasi. Besarnya pengaruh faktor-faktor tersebut ada yang dominan dan ada pula yang dapat diabaikan tergantung jenis kalibrasi yang dilakukan. Dengan demikian nilai telusur atau kesalahan sistematis yang diperoleh dari kalibrasi tidak berada di satu titik tertentu melainkan dalam suatu rentang nilai sebesar nilai ketidakpastian kalibrasi. Untuk keterangan lebih rinci termuat dalam butir 8.

- Laporan kalibrasi

Format laporan kalibrasi hendaknya mengacu kepada pedoman SNI 19-17025. Proses penerbitan laporan kalibrasi secara sederhana meliputi tahap:

Pengkonsepan laporan berdasarkan hasil pengukuran, perhitungan data, dan perhitungan ketidakpastian.

Pemeriksaan konsep oleh petugas yang berwenang untuk mengecek kesalahan identitas alat, pengambilan data, kesalahan perhitungan data dan perhitungan ketidakpastian;

Pengetikan konsep laporan dan pemeriksaan kebenaran pengetikan dengan cara membandingkan antara konsep laporan dengan konsep net laporan.

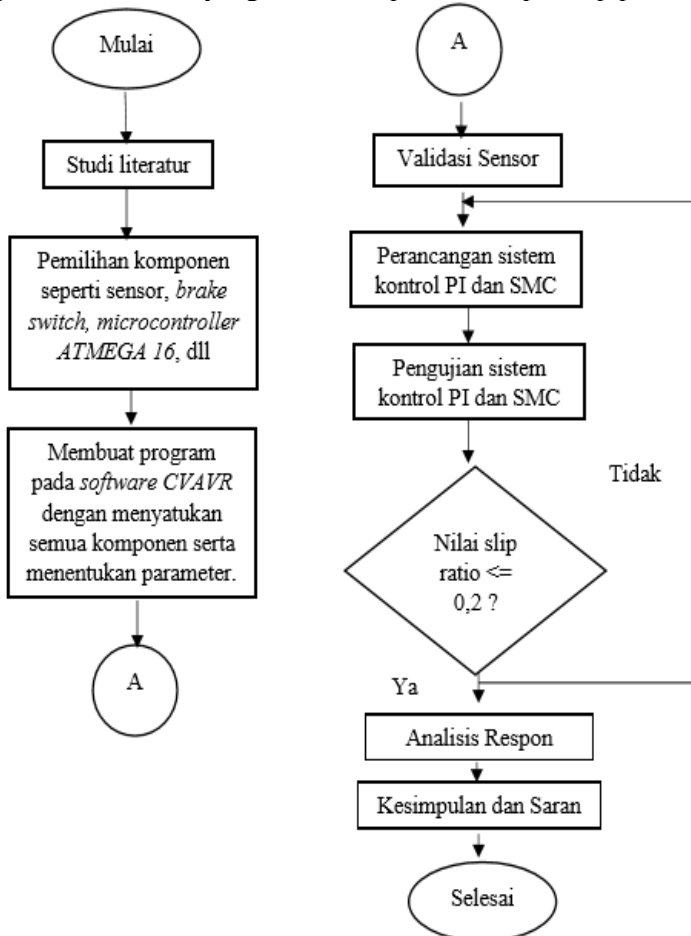
- Pengesahan laporan

Pengesahan laporan. Biasanya yang mengesahkan laporan kalibrasi adalah kepala laboratorium kalibrasi atau seseorang yang ditunjuk atas dasar pengetahuannya di bidang kalibrasi.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang digunakan untuk mencapai tujuan dari tugas akhir ini dijelaskan melalui diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 3.1 yang mendeskripsikan tahap-tahap penelitian.



Gambar 3.1 Flowchart tugas akhir

Tahap awal dalam tugas akhir ini yaitu melakukan studi literatur mengenai sistem pengereman pada kendaraan konvensional melalui buku, jurnal, dan penelitian terdahulu mengenai pengereman khususnya sistem pengereman ABS, pengendalian PI, dan pemilihan komponen. Kemudian dilanjutkan dengan melakukan pemilihan komponen seperti sensor, *brake switch*, *microcontroller ATMEGA 16*, dll. Setelah itu membuat program pada *software ATMEGA 16* untuk menyatukan semua komponen serta menentukan parameter. Setelah program pada *CVAVR* bisa berjalan, langkah selanjutnya melakukan validasi sensor dengan cara kalibrasi sensor dengan *stroboskop*.

Perancangan sistem kontrol PI dan SMC dengan menggunakan metode *trial and error* dengan menggunakan parameter $K_p = 1.5$ dan variasi K_i yaitu 0.02; 0,04; 0.06. Simulasi sistem pengendalian *loop* tertutup kemudian dilakukan dengan menggunakan pengendali jenis *Proportional Integral*. Pada grafik respon apakah *slip ratio* lebih kecil atau sama dengan 0,2, kalau sudah 0,2 maka pengujian sistem telah selesai. Langkah berikutnya yaitu melakukan analisa respon. Setelah melakukan analisa pada grafik respon PI dan SMC maka dapat ditarik kesimpulan yang menjawab dari rumusan masalah. Setelah itu tahapan penelitian telah selesai.

Analisa respon berdasarkan uji performansi sistem dengan controller yang sudah ditetapkan dengan melakukan metode *trial and error* dengan menggunakan metode tersebut didapatkan grafik respon yang baik.

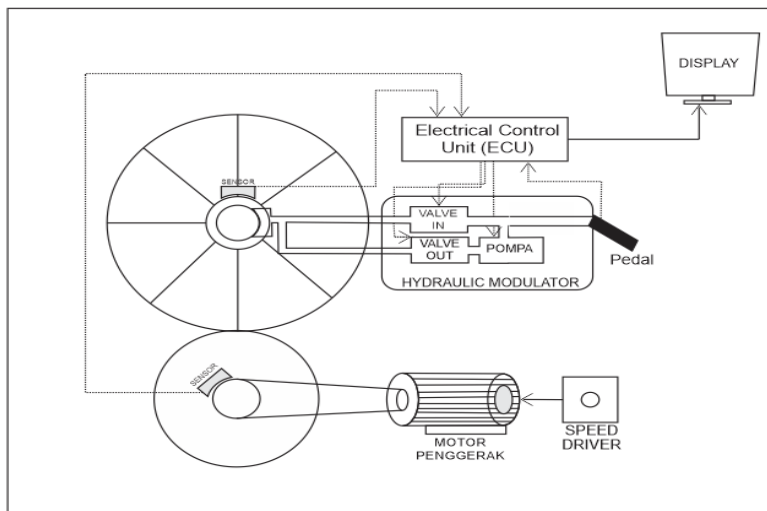
3.1 Studi Literatur

Pada tahap studi literatur pada tugas akhir ini dimaksudkan untuk membangun pemahaman awal hingga mendalam tentang penelitian yang akan dilakukan. Pemahaman secara teoritis terhadap penelitian tugas akhir ini agar kerangka pola terbentuk agar tidak menyusahakan penulis. Dengan mengumpulkan referensi yang mendukung penelitian tugas akhir mengenai *anti-lock braking system* pada mobil konvensional, komponen – komponen

yang membentuk sistem ABS, teori pengendalian PI dan SMC, pemrograman menggunakan *software* CVAVR. Pengumpulan literatur dan referensi ini diharapkan membantu untuk menerapkan metode kontrol terhadap *plant* ABS.

3.2 Rancang Bangun Plant Anti-Lock Braking System

Plant ABS yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini hanya menggunakan satu roda saja. Terdapat beberapa komponen utama pada *plant* ABS ini antara lain dua buah sensor kecepatan (*wheelspeed sensor*) yang berfungsi mengukur kecepatan putaran roda dan kecepatan kendaraan, dua buah solenoid *valve* dan satu pompa yang merupakan kesatuan dari *hydraulic modulator* dan *electrical control unit* yang menggunakan mikrokontroler ATMEGA 16 yang berfungsi sebagai pengendali dari sistem ABS.



Gambar 3.2 Skema plant anti-lock braking system

Gambar 3.2 merupakan skema keseluruhan dari *plant anti-lock braking system* dengan *speed driver* menjalankan roda sehingga menghasilkan kecepatan putaran roda dan kecepatan kendaraan. Setelah itu dua buah sensor *proximity* akan melakukan

pengukuran kecepatan masing – masing roda. Ketika dilakukan pengereman ECU akan menerima data kecepatan dan melakukan aksi terhadap *hydraulic modulator* dan menjalankan kontrol PI dan *sliding mode control* dan dapat ditampilkan pada *display* dalam bentuk grafik respon.

Sensor proximity ini berfungsi menghasilkan sinyal *High* dan *Low*. Jika bernilai *high* maka adanya *ring* yang terdeteksi oleh sensor (*signal trigger*) dan ketika bernilai *low* sensor tidak mendeteksi adanya *ring* yang melewati sensor. Nilai yang diukur oleh sensor adalah waktu putaran *ring* untuk mencapai satu putaran. Semakin cepat roda berputar maka waktu yang dibutuhkan sensor untuk menerima sinyal lebih cepat begitu pula sebaliknya semakin lambat roda berputar maka waktuyang dibutuhkan sensor untuk mengukur semakin lambat.

Electrical Control Unit (ECU) sangat berperan penting dalam *plant* ini. ECU yang digunakan yaitu mikrokontroler ATMEGA 16, semua data yang dihasilkan akan diproses oleh ECU seperti data kecepatan dua roda, *slipratio*, controller, dan memberikan aksi ke setiap *valve* dan pompa. Ketika pada saat melakukan pengereman terjadi *slip* maka ECU melakukan aksi kepada *input solenoid valve* untuk menutup dan *output solenoid valve* untuk terbuka serta menyalakan pompa. Sehingga tidak terjadi *lock* atau penguncian terhadap roda.

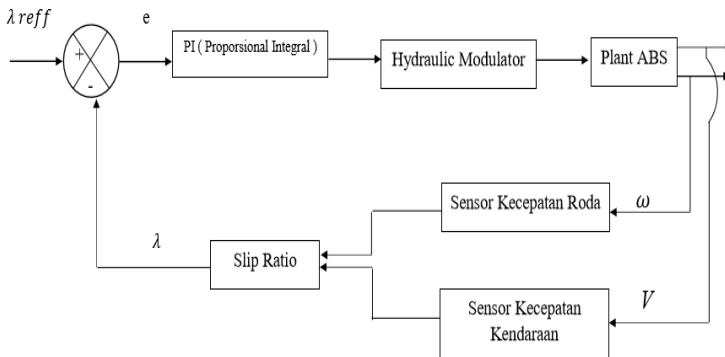
3.3 Perancangan Sistem Kendali Proporsional Integral (PI)

Pengendalian proporsional integral pada penelitian kali ini digunakan untuk memberikan sinyal kontrol guna mengendalikan pompa serta kedua solenoid *valve* pada sistem *hydraulic modulator*. Sinyal kontrol ini yang akan mengubah nilai *duty cycle* yang merupakan nilai *output* buka tutup untuk kedua solenoid dan pompa untuk memberi nilai *on off*.

Gambar 3.3 merupakan diagram blok pengendalian PI, *controller* yang digunakan yaitu proporsional integral, *hydraulic modulator* sebagai aktuator, *anti-lock braking system* sebagai *plant*, *output* dari *plant* ada dua yaitu kecepatan roda (ω) dan

kecepatan kendaraan (V). Pengendalian ini dilakukan agar dapat mempertahankan nilai *slip ratio* pada nilai λ^* *references* yang dapat dilihat pada grafik $F_x - \lambda$ pada Gambar 2.1. Dimana pengendalian ini didasarkan pada nilai error yang didefinisikan sebagai berikut pada persamaan (3.1).

$$\lambda_e = \lambda_{ref} - \lambda \quad (3.1)$$



Gambar 3.3 Blok Diagram Sistem Pengendalian PI

Sinyal kontrol yang dihasilkan oleh pengendalian PI ini mempunyai persamaan yaitu :

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt \quad (3.2)$$

3.4 Perancangan Kontrol *Sliding Mode Controller*

Langkah awal yang dilakukan untuk merancang *sliding mode controller* adalah menentukan persamaan permukaan (*sliding surface*) agar spesifikasi dari desain plant terpenuhi. Langkah selanjutnya adalah dengan merekonstruksi *gain switched feedback* agar dapat mengendalikan *trajectory state plant* menuju *sliding surface*.

$$u_{sm} = u_c + u_d \quad (3.3)$$

Dimana u_c dan u_d berturut-turut adalah sinyal kontrol proporsional integral dan sinyal kontrol SMC.

Sinyal kontrol proporsional integral yang digunakan pada PISMC adalah sama dengan sinyal kontrol proporsional yang digunakan pada pengendalian PI, sehingga sinyal kontrol tersebut dapat dilihat pada persamaan 3.3. Sedangkan untuk sinyal kontrol SMC persamaan yang digunakan dapat dilihat pada persamaan (3.4).

$$ud = \frac{1}{B(Vx)} K_{sw} \text{sign}(s) \quad (3.4)$$

Dimana $B(Vx)$ didefinisikan sebagai

$$B(Vx) = \frac{1}{V_x} \frac{r_\omega}{J_\omega} \quad (3.5)$$

K_{sw} merupakan *gain* kontrol dan s merupakan *sliding surface*. Sehingga *sliding surface* dapat didefinisikan sebagai

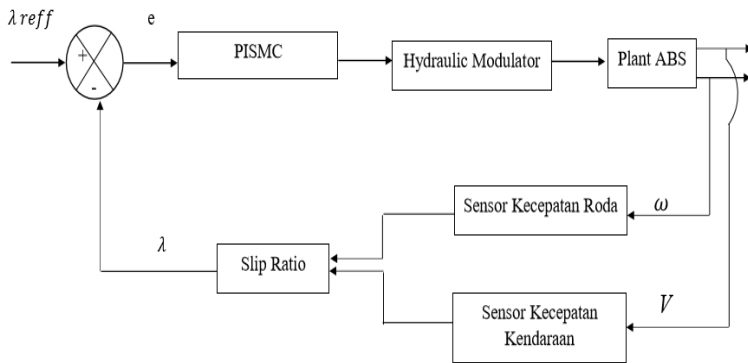
$$s = \lambda_e \quad (3.6)$$

Fungsi signum (sgn) didefinisikan sebagai persamaan berikut:

$$sgn(s) = \begin{cases} 1 & s > 0 \\ -1 & s < 0 \end{cases} \quad (3.7)$$

Gambar 3.4 merupakan diagram blok pengendalian PI, *controller* yang digunakan yaitu *proportional integral SMC*, *hydraulic modulator* sebagai *actuator*, *anti-lock braking system* sebagai *plant*, *output* dari *plant* ada dua yaitu kecepatan roda (ω) dan kecepatan kendaraan (V). Pada persamaan (3.3) U_c merupakan *error* dari kontrol PI dan U_d sebagai *error* kontrol SMC. Pada persamaan (3.5) nilai J_ω bernilai 1 dikarenakan karakteristik dari *plant* ABS belum diketahui. Nilai sgn (*signum*) disini berfungsi untuk memaksa *trajectory state plant* menuju *sliding surface*. Oleh karena itu kontrol SMC ini banyak digunakan pada sistem pengereman ABS karena dianggap memiliki respon yang baik dibanding kontrol yang lain.

Diagram blok dari SMC untuk ABS mobil konvensional adalah ditunjukkan pada Gambar 3.4 sebagai berikut:



Gambar 3.4 Blok Diagram Sistem Pengendalian PISMIC

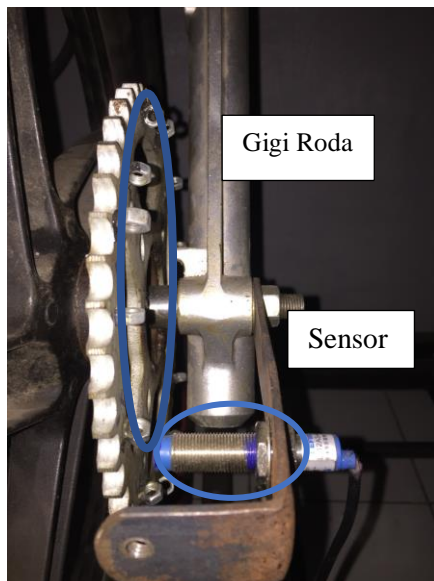
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV ANALISA DATA

Pada Bab IV ini berisi mengenai analisa data dan pembahasan. Data dari penelitian *anti-lock braking system* diolah dan mendapatkan beberapa grafik respon yang nantinya akan dilakukan pembahasan.

4.1 Pengujian Sensor *Wheelspeed* (*Proximity Sensor*)

Berikut ini merupakan hasil pengujian sensor kecepatan menggunakan sensor *proximity*. Pengambilan data dilakukan sebanyak 10 kali dengan kecepatan tetap. Gambar 4.1 merupakan letak sensor *proximity* dan gigi roda pada saat melakukan pengambilan data.



Gambar 4.1 Peletakan Sensor Proximity

Pada validasi sensor kecepatan ini alat ukur yang digunakan untuk kalibrasi yaitu menggunakan stroboskop. Pada saat roda

berputar maka stroboskop akan memberikan nilai berupa rpm. Nilai rpm ini yang dikonversikan kedalam km/jam pada *software* CVAVR untuk menentukan nilai kecepatan yang benar.

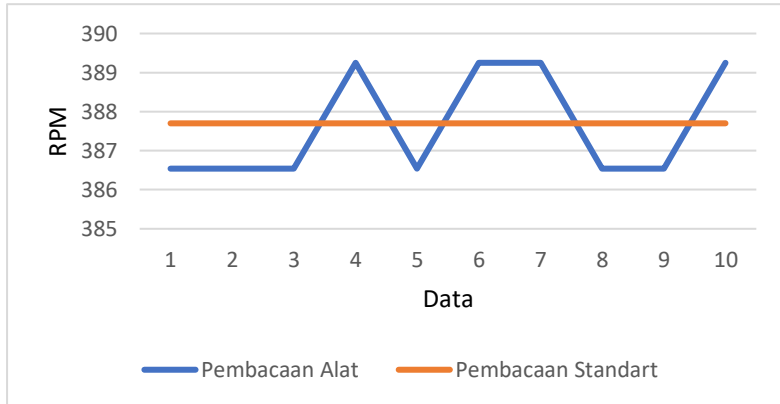
Tabel 4.1 merupakan nilai pembacaan alat (x_i) dan pembacaan standart (X_i) dalam satuan RPM. Setelah mendapat dua jenis data tersebut, maka kita dapat mengkalibrasi berdasarkan data tersebut. Setelah dapat nilai – nilai ketidakpastian pengukuran barulah kita dapat menentukan sensor kecepatan yang digunakan layak untuk dipakai atau tidak.

Tabel 4.1 Hasil Pengambilan Data RPM

No.	Pembacaan alat (x_i)(RPM)	Pembacaan Standart (X_i) (RPM)
1	386,54	387,7
2	386,54	387,7
3	386,54	387,7
4	389,25	387,7
5	386,54	387,7
6	389,25	387,7
7	389,25	387,7
8	386,54	387,7
9	386,54	387,7
10	389,25	387,7

Gambar 4.2 merupakan data pembacaan alat menggunakan *software serial Arduino* dimana data tersebut dibandingkan dengan pembacaan alat *standart* menggunakan alat *stroboskop*. Pembacaan dilakukan secara bersamaan agar data yang dibandingkan sesuai dengan kenyataannya / *real time*. Data yang berjumlah 10 tersebut bertujuan untuk mempermudah perhitungan pada saat kalibrasi. Jadi data yang terkumpul banyak maka keakuratan data yang dihasilkan juga semakin baik pula. Dapat

dilihat pula pada Gambar 4.2 pula pembacaan alat tidak stabil dikarenakan penyangga roda tidak benar – benar lurus pada poros sehingga mengakibatkan getaran yang mengganggu pembacaan sensor.



Gambar 4.2 Grafik Pembacaan RPM Alat dan Standart

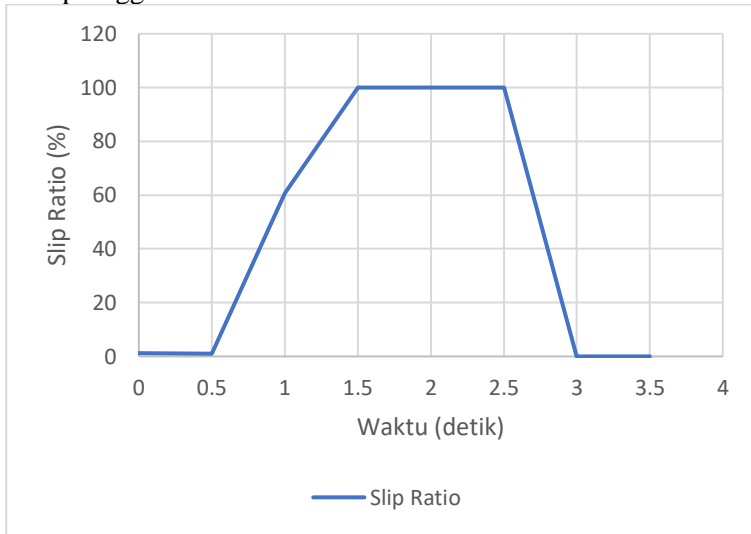
Karakteristik statis suatu alat ukur adalah karakteristik yang harus diperhatikan apabila alat tersebut digunakan untuk mengukur suatu kondisi yang tidak berubah karena waktu atau hanya berubah secara lambat laun. Karakteristik statis adalah hal-hal yang harus diperhitungkan bila alat ukur dipergunakan untuk mengukur suatu keadaan yang tidak bergantung pada waktu, yaitu :

1. *Range* : 0 km/jam – 40 km/jam
2. *Span* : 40
3. *Sensitivitas* : 0,37
4. *Resolusi* : 0,01

4.2 Uji Pemodelan *Anti-Lock Braking System*

Uji *loop* terbuka pada simulasi dengan menggunakan *software* CVAVR dan menampilkan serial data pada *serial monitor* Arduino serta data yang diperoleh diplot menggunakan *excel*. Pada Gambar 4.3 menunjukkan bahwa ketika dilakukan pengereman tanpa dilengkapi ABS, *slip ratio* terus naik hingga maksimal pada nilai 100% sehingga hal ini dapat menyebabkan kendaraan

kehilangan kemampuan *steerability*-nya karena roda terkunci. Hal ini dapat terjadi dikarenakan pada saat kecepatan kendaraan masih cukup tinggi roda sudah dalam keadaan berhenti.



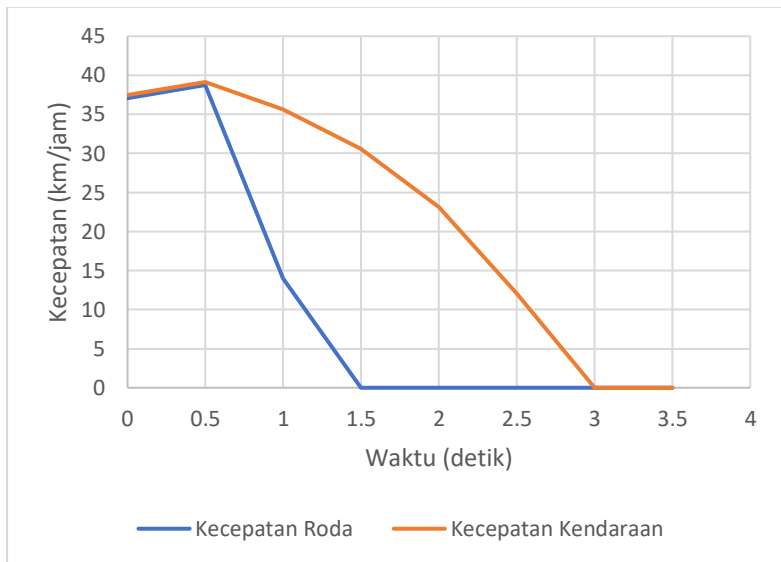
Gambar 4.3 Respon sistem pada *Loop* terbuka

Hasil uji validasi *loop* terbuka ini digunakan untuk menguji pemodelan *quarter car model* dengan jurnal yang telah melakukan penelitian tentang ABS sebelumnya. Hasil menunjukkan bahwa respon *slip ratio* pada pemodelan telah sesuai karena telah mengalami lock atau terkunci.

Pada percobaan *open loop* maupun *closed loop* menggunakan T_s (*Time sampling*) = 0,5 dikarenakan pembacaan sensor kecepatan pada *plant* ini bagus pada saat *time sampling* 0,5. Pada saat digunakan *time sampling* 0,1 - 0,6 didapatkan data yang tidak teratur dan pembacaan tidak sesuai dengan aslinya. Pada saat diberi $T_s = 1$ data yang dibaca bagus, namun data yang dihasilkan setiap 1 detik hanya 1 data saja hal ini kurang mendukung pengumpulan data yang ingin diolah. Sehingga diambil $T_s = 0,5$ dengan pembacaan data 1 detik sebanyak 2 data. Hal ini terjadi dikarenakan sensor yang digunakan terkena *noise* dari motor AC 3 fasa yang berfungsi sebagai penggerak roda. Gelombang

electromagnetic yang dihasilkan mengganggu pembacaan sensor sehingga pembacaan T_s 0,1 tidak bisa dengan data yang tidak sesuai dengan aslinya.

Pada Gambar 4.4 merupakan uji kecepatan roda dan kecepatan kendaraan, kendaraan yang tanpa dilengkapi dengan *Anti-Lock Braking System* (ABS) menunjukkan hasil pengereman yang kurang baik. Dimana pada saat kendaraan masih berada pada kecepatan 39 km/jam roda mobil sudah mengalami *locking*.

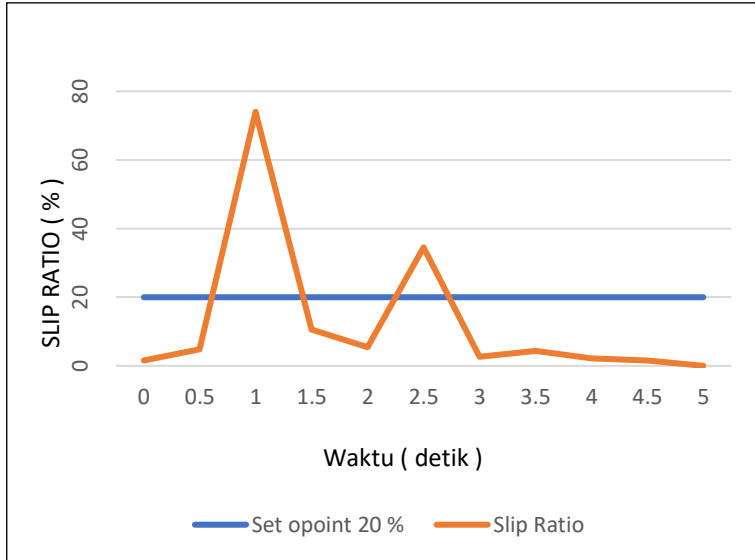


Gambar 4.4 Respon kecepatan angular roda berbanding kecepatan kendaraan tanpa dilengkapi ABS

4.3 Uji *Closed Loop* Menggunakan Proporsional Integral Controller (PI)

Tujuan dari pengujian *closed loop* ini sendiri untuk meninjau respon yang dihasilkan sistem setelah adanya pengendalian proporsional integral terhadap *slip ratio*. Dengan harapan nilai *slip* stabil dinilai 20% atau 0,2. Gambar 4.5 respon yang dihasilkan ketika adanya pengereman. Pada detik ke 0.5 dilakukan pengereman sehingga *slip ratio* naik hingga mencapai 74 %, hal ini

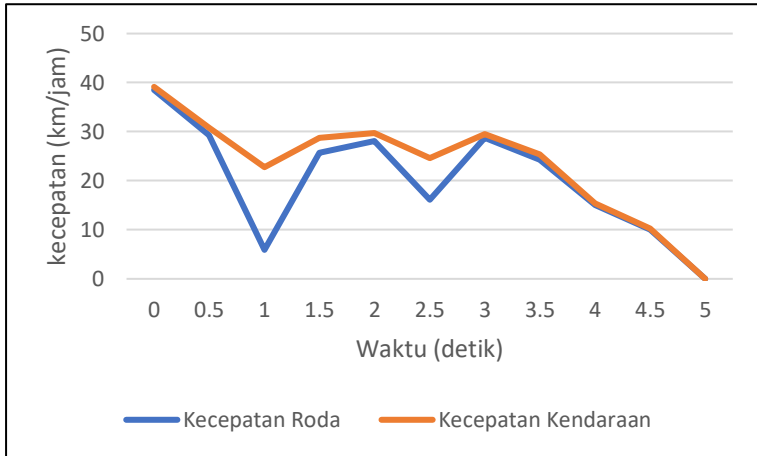
menunjukkan bahwa sistem dalam keadaan akan mencapai slip, sehingga harus dilakukan aksi yang dapat menghindari menuju *lock*. Nilai *slip* yang terlalu tinggi tidak baik bagi pengendara karena kurang bisa mengendalikan kendaraannya.



Gambar 4.5 Respon *slip ratio* pada uji *closed loop* dengan menggunakan nilai $K_p = 1.5$ dan $K_i = 0.04$

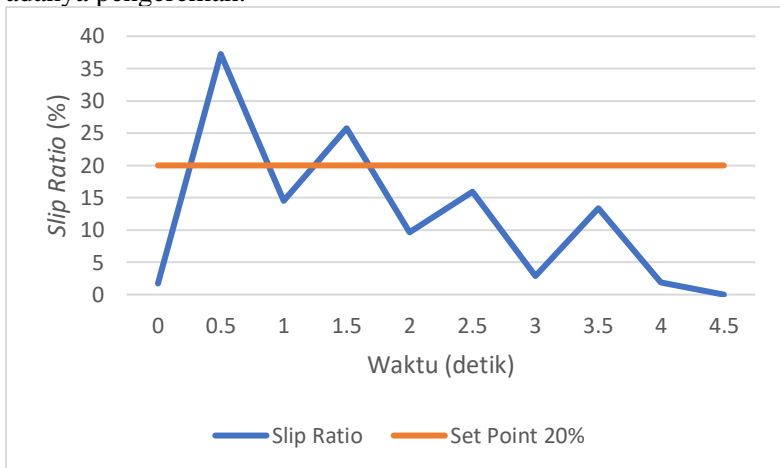
Seiring aksi yang diberikan untuk menjaga slip diangka 20 % maka slip turun sebesar 10,56% namun respon yang dihasilkan masih belum stabil hingga kendaraan berhenti pada detik ke 5. Pengendalian dikatakan baik pada sistem ini ketika nilai *slip* mendekati set point dan waktu pengereman sesingkat – singkatnya.

Gambar 4.6 merupakan grafik respon kecepatan, kecepatan roda dapat menyesuaikan kecepatan kendaraan, hal ini dibuktikan dengan berhentinya kendaraan dan berhentinya roda adalah sama pada waktu ke 5 detik. Adanya ABS membuktikan bahwa kecepatan roda dapat dikendalikan menyesuaikan dengan kecepatan kendaraan sehingga dapat meningkatkan kemampuan pengemudi untuk mengendalikan kendaraannya.



Gambar 4.6 Respon kecepatan pada uji *closed loop* dengan menggunakan nilai $K_p = 1.5$ dan $K_i = 0.04$

Pada Gambar 4.7 respon yang yang dihasilkan ketika adanya pengereman.

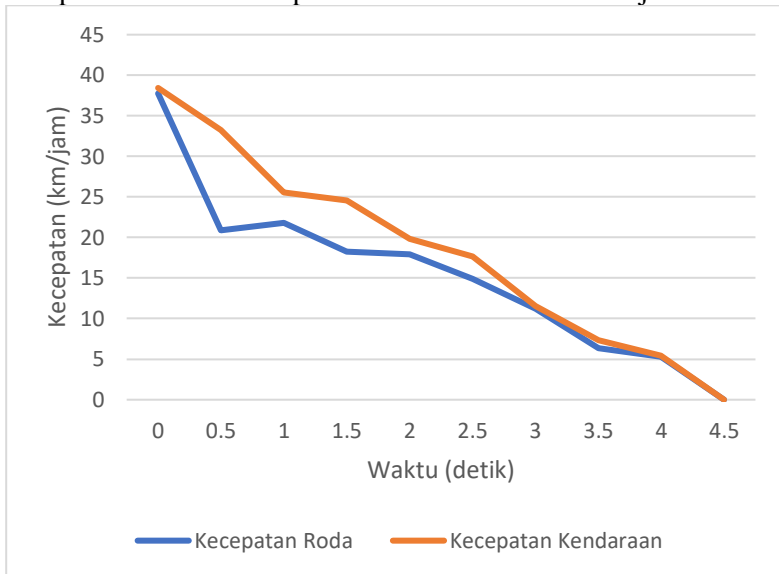


Gambar 4.7 Respon *slip ratio* pada uji *closed loop* dengan menggunakan nilai $K_p = 0.5$ dan $K_i = 0.02$

Pada detik ke 0.5 dilakukan pengereman sehingga *slip ratio* naik hingga mencapai 38,43 %, hal ini menunjukkan bahwa

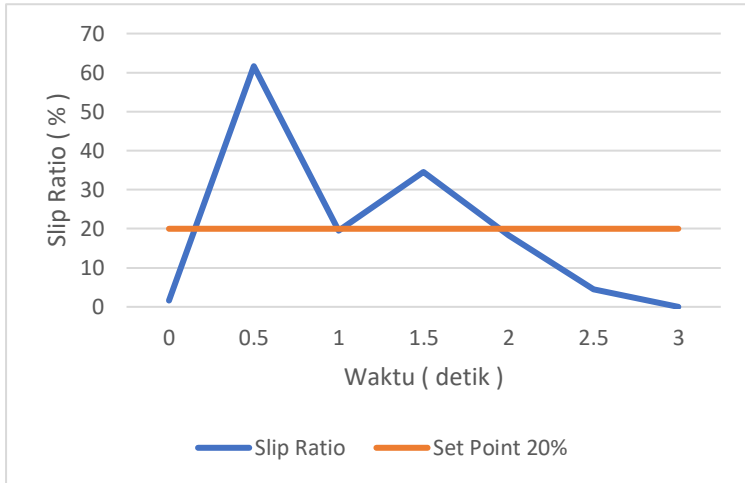
sistem dalam keadaan akan mencapai slip, sehingga harus dilakukan aksi yang dapat menghindari menuju *lock*. Seiring aksi yang diberikan untuk menjaga slip diangka 20 % maka slip turun sebesar 14,56% namun respon yang dihasilkan masih belum stabil hingga kendaraan berhenti pada detik ke 4,5.

Gambar 4.8 merupakan grafik respon kecepatan, kecepatan roda dapat menyesuaikan kecepatan kendaraan, hal ini dibuktikan dengan berhentinya kendaraan dan berhentinya roda adalah sama pada waktu ke 4.5 detik. Pada saat pengereman berlangsung waktu yang dibutuhkan lebih singkat dan perbedaan kecepatan roda dan kecepatan kendaraan tidak terlalu jauh.

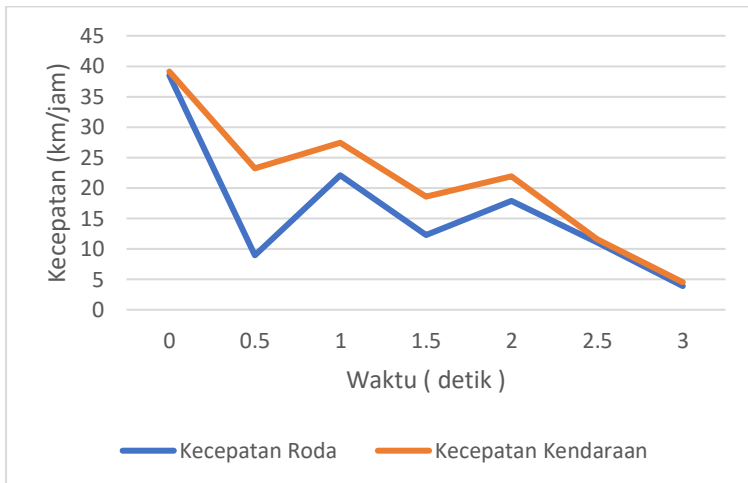


Gambar 4.8 Respon kecepatan pada uji *closed loop* dengan menggunakan nilai $K_p = 0.5$ dan $K_i = 0.02$

Pada gambar 4.9 respon yang yang dihasilkan ketika adanya pengereman. Pada detik ke 0.5 dilakukan pengereman sehingga *slip ratio* naik hingga mencapai 61,61 %, hal ini menunjukkan bahwa sistem dalam keadaan akan mencapai slip, sehingga harus dilakukan aksi yang dapat menghindari menuju *lock*.



Gambar 4.9 Respon *slip ratio* pada uji *closed loop* dengan menggunakan nilai $K_p = 1.5$ dan $K_i = 0.02$

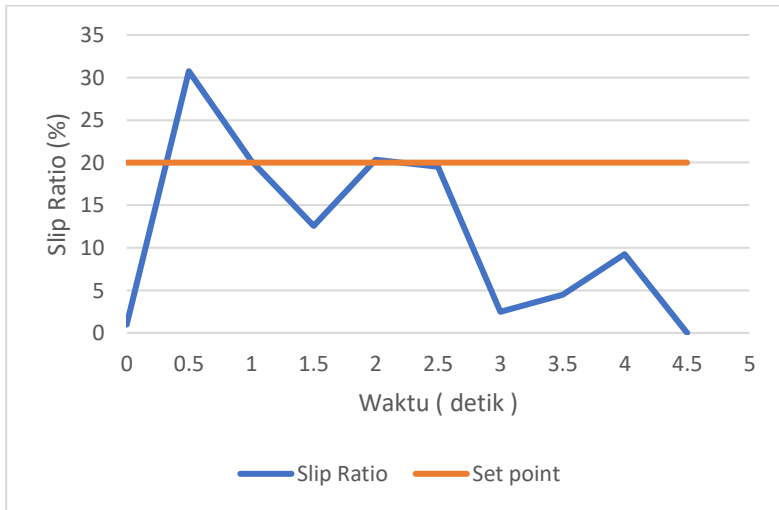


Gambar 4.10 Respon kecepatan pada uji *closed loop* dengan menggunakan nilai $K_p = 1.5$ dan $K_i = 0.02$

Seiring aksi yang diberikan untuk menjaga *slip* diangka 20 % maka *slip* turun sebesar 19,45% namun respon yang

dihasilkan masih belum stabil hingga kendaraan berhenti pada detik ke 3. Respon yang dihasilkan memiliki *overshoot* yang lumayan tinggi namun bisa mendekati set point 20% dengan baik

Gambar 4.10 merupakan grafik respon kecepatan, kecepatan roda dapat menyesuaikan kecepatan kendaraan, hal ini dibuktikan dengan berhentinya kendaraan dan berhentinya roda adalah sama pada waktu ke 3 detik. Pada saat pengereman berlangsung waktu yang dibutuhkan lebih singkat dan perbedaan kecepatan roda dan kecepatan kendaraan tidak terlalu jauh.

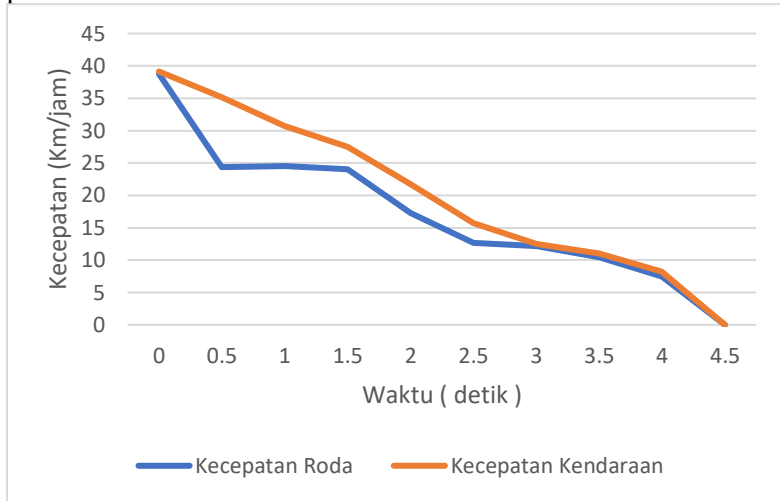


Gambar 4.11 Respon *slip ratio* pada uji *closed loop* dengan menggunakan nilai $K_{sw} = 0.005$ $K_p = 0.5$ dan $K_i = 0.02$

Gambar 4.11 merupakan grafik respon *slip ratio* menggunakan kontrol *sliding mode control* (SMC). Pada detik ke 0.5 dilakukan pengereman sehingga *slip ratio* naik hingga mencapai 30.74 %, hal ini menunjukkan bahwa sistem dalam keadaan akan mencapai slip, sehingga harus dilakukan aksi yang dapat menghindari menuju *lock*.

Seiring aksi yang diberikan untuk menjaga slip diangka 20 % maka slip turun sebesar 20,21% namun respon yang dihasilkan masih belum stabil hingga kendaraan berhenti pada detik ke 4.5.

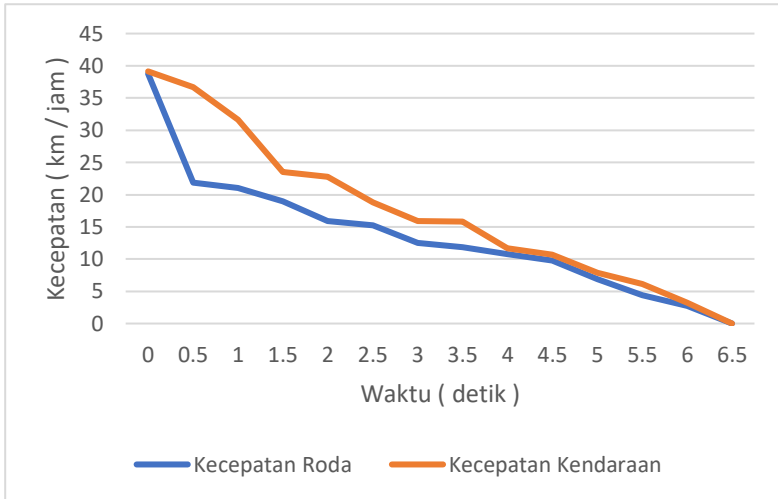
Respon yang dihasilkan memiliki *overshoot* yang rendah dari kontrol PI biasa dan bisa mendekati set point 20% dengan baik. Waktu yang dibutuhkan untuk roda berhenti dengan sempurna pada kontrol SMC lebih lama 0.5 detik dari kontroler PI.



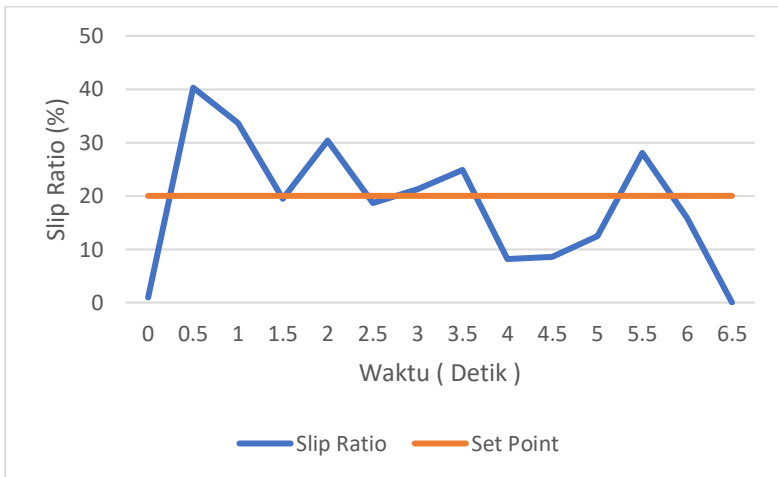
Gambar 4.12 Respon kecepatan pada uji *closed loop* dengan menggunakan nilai $K_{sw} = 0.005$ $K_p = 0.5$ dan $K_i = 0.02$

Gambar 4.12 merupakan grafik respon kecepatan, kecepatan roda dapat menyesuaikan kecepatan kendaraan, hal ini dibuktikan dengan berhentinya kendaraan dan berhentinya roda adalah sama pada waktu ke 4.5 detik. Pada saat pengereman berlangsung waktu yang dibutuhkan lebih singkat dan perbedaan kecepatan roda dan kecepatan kendaraan tidak terlalu jauh.

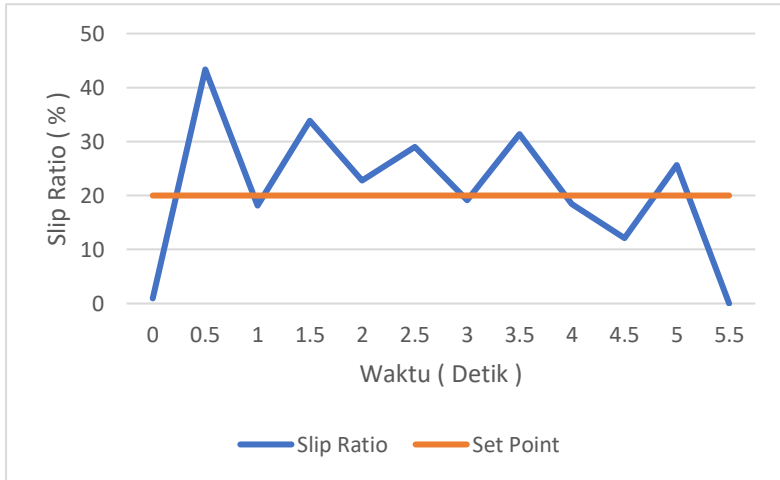
Gambar 4.13 merupakan respon kecepatan dengan nilai $K_{sw} = 0,01$ kecepatan roda dapat menyesuaikan kecepatan kendaraan, hal ini dibuktikan dengan berhentinya kendaraan dan berhentinya roda adalah sama pada waktu ke 6.5 detik. Pada saat pengereman berlangsung waktu yang dibutuhkan lebih singkat dan perbedaan kecepatan roda dan kecepatan kendaraan tidak terlalu jauh. Waktu pengereman yang lama dapat mengakibatkan kecelakaan yang fatal.



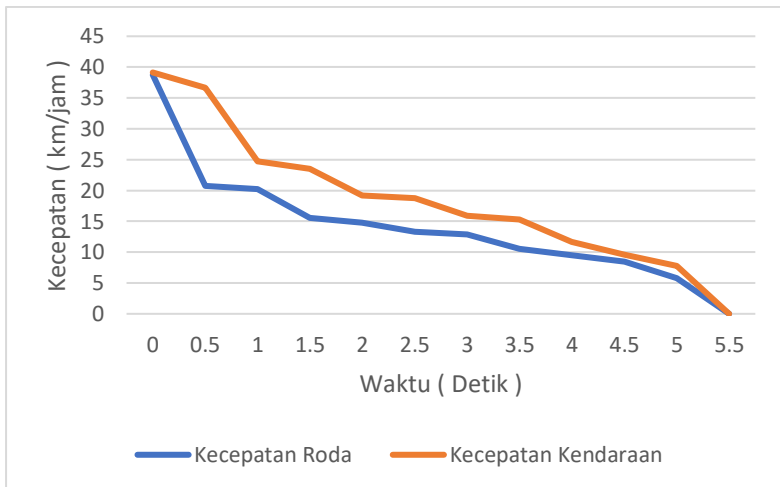
Gambar 4.13 Respon kecepatan pada uji *closed loop* dengan menggunakan nilai $K_{sw} = 0.01$ $K_p = 0.5$ dan $K_i = 0.02$



Gambar 4.14 Respon *slip ratio* pada uji *closed loop* dengan menggunakan nilai $K_{sw} = 0.01$ $K_p = 0.5$ dan $K_i = 0.02$



Gambar 4.15 Respon *slip ratio* pada uji *closed loop* dengan menggunakan nilai $K_{sw} = 0.007$ $K_p = 0.5$ dan $K_i = 0.02$



Gambar 4.16 Respon kecepatan pada uji *closed loop* dengan menggunakan nilai $K_{sw} = 0.007$ $K_p = 0.5$ dan $K_i = 0.02$

Gambar 4.14 merupakan grafik respon *slip ratio* menggunakan kontrol *sliding mode control* (SMC) dengan variasi nilai Ksw 0,01. Pada detik ke 0.5 dilakukan pengereman sehingga *slip ratio* naik hingga mencapai 40.27 %, hal ini menunjukkan bahwa sistem dalam keadaan akan mencapai *slip*, sehingga harus dilakukan aksi yang dapat menghindari menuju *lock*. Seiring aksi yang diberikan untuk menjaga *slip* diangka 20 % maka *slip* turun sebesar 33,65% namun belum mencapai *set point* . Pada detik 1,5 *slip* baru turun sebesar 19,46%, kondisi seperti ini kurang baik karena *slip* yang dihasilkan cukup besar dan waktu pengereman juga panjang.

Gambar 4.15 merupakan grafik respon *slip ratio* menggunakan kontrol *sliding mode control* (SMC) dengan variasi nilai Ksw 0,007. Pada detik ke 0.5 dilakukan pengereman sehingga *slip ratio* naik hingga mencapai 43.36 %, hal ini menunjukkan bahwa sistem dalam keadaan akan mencapai *slip*, sehingga harus dilakukan aksi yang dapat menghindari menuju *lock*. Seiring aksi yang diberikan untuk menjaga *slip* diangka 20 % maka *slip* turun sebesar 18,14%. Dengan variasi nilai Ksw 0,007 nilai *slip* yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan nilai Ksw 0,01 dan 0,005. Waktu yang dibutuhkan untuk kendaraan berhenti juga cukup lama yaitu detik ke-5,5.

Gambar 4.16 merupakan respon kecepatan dengan nilai Ksw = 0,007 kecepatan roda dapat menyesuaikan kecepatan kendaraan, hal ini dibuktikan dengan berhentinya kendaraan dan berhentinya roda adalah sama pada waktu ke 5.5 detik. Pada saat pengereman berlangsung waktu yang dibutuhkan lebih lama dibandingkan dengan variasi Ksw = 0,005 yaitu 4,5 detik dan perbedaan kecepatan roda dan kecepatan kendaraan tidak terlalu jauh.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa data yang telah dilakukan, didapat kesimpulan dari tugas akhir ini mengenai rancang bangun kontrol proporsional integral (PI) dan *sliding mode control* (SMC) pada *anti-lock braking system* (ABS) antara lain :

- Pada sistem *open loop* tanpa menggunakan kontrol didapatkan roda terkunci / *lock* (*slip ratio* 100%) sehingga kecepatan roda langsung berhenti.
- Respon kecepatan pada sistem *open loop* yaitu kecepatan roda langsung berhenti pada detik ke 1,5 dan kecepatan kendaraan berhenti pada detik ke-3
- Respon sistem *closed loop* menggunakan kontrol PI dengan *gain* $K_p = 0,05$ dan $K_i = 0,02$ didapatkan hasil terbaik *slip ratio* 38,43 % dan respon sistem hampir mencapai *set point*.
- Respon kecepatan sistem *closed loop* menggunakan kontrol PI dengan *gain* $K_p = 0,05$ dan $K_i = 0,02$ didapatkan kecepatan roda dan kecepatan kendaraan berhenti pada detik ke-4,5.
- Respon sistem *closed loop* menggunakan kontrol PI dengan *gain* $K_p = 1,5$ dan $K_i = 0,04$ didapatkan hasil terburuk dengan *slip ratio* 74 % dan respon sistem tidak mencapai *set point*.
- Respon kecepatan sistem *closed loop* menggunakan kontrol PI dengan *gain* $K_p = 1,5$ dan $K_i = 0,04$ didapatkan kecepatan roda dan kecepatan kendaraan berhenti pada detik ke – 5.
- Respon *slip ratio* pada uji *closed loop* menggunakan kontrol PISMC dengan menggunakan nilai $K_{sw} = 0.005$; $K_p = 0.5$; dan $K_i = 0.02$ didapatkan hasil terbaik yaitu dengan *slip ratio* 30,74% serta respon sistem mencapai *setpoint*.
- Respon kecepatan pada uji *closed loop* menggunakan kontrol PISMC dengan menggunakan nilai $K_{sw} = 0.005$; $K_p = 0.5$; dan $K_i = 0.02$ didapatkan hasil terbaik kecepatan roda dan kecepatan kendaraan pada detik ke-4,5 .

- Respon *slip ratio* pada uji *closed loop* menggunakan kontrol PISMC dengan menggunakan nilai $K_{sw} = 0.01$; $K_p = 0.5$; dan $K_i = 0.02$ didapatkan hasil terbaik yaitu dengan *slip ratio* 40,27% serta respon sistem tidak mencapai *setpoint*.
- Respon kecepatan pada uji *closed loop* menggunakan kontrol PISMC dengan menggunakan nilai $K_{sw} = 0.01$; $K_p = 0.5$; dan $K_i = 0.02$ didapatkan hasil terburuk kecepatan roda dan kecepatan kendaraan pada detik ke-6,5.
- Secara keseluruhan sistem ABS menggunakan kontrol PISMC lebih baik dari pada menggunakan kontrol PI.

5.2 Saran

Dalam proses tugas akhir ini terdapat saran yang digunakan untuk penelitian selanjutnya adalah

Dalam dunia otomotif, pengendalian dapat digunakan untuk menambah tingkat keamanan kendaraan konvensional terutama dalam hal pengereman. Sehingga performansi dan keandalan sistem pengereman menggunakan ABS dapat ditingkatkan.

Dalam proses tugas akhir ini terdapat saran yang dapat digunakan sebagai acuan untuk penelitian selanjutnya khususnya dalam dunia otomotif yaitu pengendalian dapat digunakan untuk menambah tingkat keamanan kendaraan konvensional terutama dalam hal pengereman. Sehingga performansi dan keandalan sistem pengereman menggunakan ABS dapat ditingkatkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aly, A. A., Zeidan, E. S., Hamed, A., and Salem, F. (2011). *An Antilock-Braking System (ABS) Control: A Technical Review*. Intelligent Control and Automation, pp. 186-195
- Anair, Don., and Amine, M. (2012). *State of Charge Electric Vehicle's Global Warming Emissions and Fuel-Cost Savings across the United States*. Cambridge: Union of Concerned Scientists
- Faisal, A. M. (2008). *High-Speed Baud-Rate Clock Recovery*. Electrical and Computer Engineering University of Toronto
- Gamazo, J. C., Vazquez-Sanchez, E., and Gommez-Gil, J. (2010). *Position and Speed Control of Brushless DC Motors Using Sensorless Techniques and Application Trends*. Departement of Signal Theory, Communications and Telematics Engineering, University of Valladolid. pp. 6901-6947
- Grunditz, E. A. (2014). *BEV Powertrain Component Sizing with Respect to Performance, Energy Consumption and Driving Patterns*. Departement of Energy and Environment Division of Electric Power Engineering, Chalmers University of Technology, Goteborg, Sweden.
- Jiang, J. (2005). *Fault-tolerant Control Systems - An Introductory Overview*. Acta Automatica Sinica, vol. 31, no. 1, pp. 161-174
- Jingang, G., Jian, X., and Lin, G. (2014). *Performance Evaluation of an Anti-Lock Braking System for Electric Vehicle with a Fuzzy Sliding Mode Controller*. IEEE, pp. 6459-6476
- Holkar, K. S. (2013). *Sliding Mode Control with Predictive PID Sliding Surface for Improved Performance*. International Journal of Computer Application. pp. 1- 5
- Indriawati, K., Agustinah, T., & Jazidie, A. (2015). *Robust Observer-based Fault Tolerant Tracking Control for Linear Systems with Simultaneous Actuator and Sensor*

- Faults: Application to a DC Motor System*. Praise Worthy Prize, VIII(6). Pp. 375-385.
- Lee, Y. Zak, S.H. (2002). *Designing a Genetic Neural Fuzzy Anti-lock Brake System Controller*. Transaction on Evolutionary Computation.
- Liu, J., and Wang, X. *Advanced Sliding Mode Control for Mechanical Systems*. (2012). Tsinghua University Press, Beijing and Springer-Verlag Berlin Heidelberg: Springer.
- Lubbers, K. H. B. (2014). *Design and Analysis of a Model based Low Level Slip Controller based on a Hybrid Braking System*. Delf Center for System and Control Delf University of Technology. pp. 10
- Lunze, J. (2008). *Bibliographical review on Reconfigurable Fault-Tolerant Control Systems*. Annual Reviews in Control, pp. 229-252
- Maya, A. S. (2018). *Design Active Fault Tolerant Control on ABS in Electric Vehicle in Sensor Fault*. Surabaya, Jawa Timur: Repository ITS.
- Nasir, A. N. K., Ismail, R. M. T. R., and Ahmad, M. A., (2010). *Performance Comparision between Sliding Mode Controller (SMC) and PD-PID Controllers for a Nonlinear Inverted Pendulum System*. *International Journal of Computer, Electricalm Automation, Control and Information Engineering*. pp 1-6.
- Ogata, K. (2004). *Modern Control Engineering*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Peng, D., Zhang, Y., Yin, C. L., and Zhang, J. W. (2008). *Combined Control of a Regenerative Braking and Anti-lock Braking System for Hybrid Electric Vehicles*. *International Journal Automotive Technology*, pp. 749-757
- Solyon, S. (2002). *Synthesis of a Model-Based Tire Slip Controller*. Departement of Automotive Control, Lund, Sweden.
- Student Manual. (2013). *Anti-Lock Braking System Training Program*. Meritor Wabco.

- Swaroop, D., Gerdes, J.C., Hedrick, J.K. (1997). *Fault Tolerant Control of Automatically Controlled Vehicles in Response to Brake System Failures*. Proceedings of the 1997 IEEE International Conference on Control Applications. Hartford, USA.
- Tur, O., Ustun, O., and Tuncay, R. N. (2007). *An Introduction to Regenerative Braking of Electric Vehicle as Anti-Lock Braking System*. IEEE Intelligent Vehicle Symposium, Istanbul, Turkey.
- Yao, J., Zhong, Z. M., Sun, C. Z. (2006). *A Fuzzy Logic based Regenerative Braking Regulation for a Fuel Cell Bus*. Proceedings of the IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety, Beijing, China

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN A

SourceCode CVAVR

```
/*  
***
```

This program was created by the
CodeWizardAVR V3.14 Advanced
Automatic Program Generator
© Copyright 1998-2014 Pavel Haiduc, HP InfoTech s.r.l.
<http://www.hpinfotech.com>

Project :
Version :
Date : 5/8/2019
Author :
Company :
Comments:

Chip type : ATmega16A
Program type : Application
AVR Core Clock frequency: 12.000000 MHz
Memory model : Small
External RAM size : 0
Data Stack size : 256

```
*****
```

```
**/
```

```
int bool0=0;  
int bool1=0;  
int tesp0=0;  
int tesp1=0;  
int tespinf;  
int tesp1f;  
int cnt=0;  
int tambah=0;
```

```
int tanda=0;
int print=0;
int aa=0;
float rpm;
float kecepatan=0.0;
float kecepatan1=0.0;
float error,outp,outtotal;
float kp =0.7; //1.25
float error_sblmI=0,outI=0,Ki=0.04; //0.04
float errorI, Tc=0.01;
float slipratio;
int period;
float outtotal;

//smc
float ud;
float bx;
float signum;
//smc

#include <megal6a.h>
#include <stdio.h>
#include <delay.h>

// Declare your global variables here

// External Interrupt 0 service routine
interrupt [EXT_INT0] void ext_int0_isr(void)
{
// Place your code here

}

// External Interrupt 1 service routine
```

```

interrupt [EXT_INT1] void ext_int1_isr(void)
{
// Place your code here
//cnt++;
//if(cnt%2==0){
// tanda=0;
//}
//else{
// tanda=1;
//}

}

// Standard Input/Output functions

// Timer1 overflow interrupt service routine
interrupt [TIM1_OVF] void timer1_ovf_isr(void)
{
// Reinitialize Timer1 value
//TCNT1H=0xFF8A >> 8;
//TCNT1L=0xFF8A & 0xff;
TCNT1H=0xFFF4 >> 8;
TCNT1L=0xFFF4 & 0xff;
print++;
period++;

if(PINB.1==0){

    if(period>=outp+ud&&period<=500){
        DDRD.6=0;
    }
    else{

```

```

        DDRD.6=1;
    }
}
else{
    DDRD.6=0;

}

if(bool0==1){
    tespin++;
    //delay_ms(1);
    if(tespin>3000){
        kecepatan=0;
    }
}

if(bool1==1){
    tespin1++;
    //delay_ms(1);
    if(tespin1>3000){
        kecepatan1=0;
    }
}

if(print%500==0){

slipratio = ((kecepatan1-kecepatan)/kecepatan1)*100;
if(slipratio<0){slipratio=0;}
error = 20-slipratio;

if(error>=-80&&error<0){
    outp =kp*error;
    outp=100+outp; //rentang 0-100
    signum=-1;
}
if(error>0&&error<=20){

```

```

    outp =kp*error;
    outp=100-outp; //rentang
    //outp = 100-outp;
    signum=1;
}

outp=outp*5;

errorI=error+error_sblmI;
outI=Ki*errorI; //nilai Ki ditentukan melalui tuning
error_sblmI=errorI;
outtotal=outp+outI;

//smc
bx = (1/kecepatan)*(0.0275/1);
ud = (1/bx)*0.001*signum;
//smc

if(outtotal>500){outtotal=500;}

    if(kecepatan1==0){
        errorI=0;
        error_sblmI=0;

        outtotal=outp+outI;
        printf("roda berhenti");
        printf("\n");
    }
    else{
        //
        slipratio = ((kecepatan-
kecepatan1)/kecepatan)*100;
        printf("%i",tespinf);printf(" | ");
        printf(" BESAR = %.2f",kecepatan);printf(" kmh");

```

```

printf(" | ");

printf("%i",tespin1f);printf(" | ");
printf(" KECIL = %.2f",kecepatan1);printf(" kmh");
printf(" | ");

printf("%.2f ",slipratio);
printf(" | ");

printf(">>>>>errorP = %.1f ",error);
printf(" | ");

printf(" outP = %.1f",outp);
printf(" | ");

printf(" >>>>errorI = %.1f ",errorI);
printf(" | ");
printf(" outI = %.1f",outI);
printf(" | ");
printf(" OUTTOTAL = %.1f",outtotal);
printf(" | ");
printf(" ud = %.1f",ud);

printf("\n");
}

// slipratio = ((kecepatan-kecepatan1)/kecepatan);
// slipratio = slipratio*100;
// error = 20-slipratio;

if(print==1000){print=0;}
if(period==500){period=0;}
}

//Pengendalian

```



```

// slipratio = ((kecepatan1-kecepatan)/kecepatan1);
// slipratio = slipratio*100;
// error = 20-slipratio;
//
// outp =kp*error;
// errorI=error+error_sblmI;
// outI=Ki*errorI*Tc; //nilai Ki ditentukan melalui tuning
//
// error_sblmI=errorI;
// outtotal=outp+outI;
//
//     if(PINC.0==0&&kecepatan!=0&&kecepatan1 !=0){
//
//         if(cnt>=0&&cnt<=outp){
//             DDRD.6=1;
//         }
//         else{
//             DDRD.6=0;
//         }
//
//     }
//     else{
//         DDRD.6=0;
//         error=0;
//         outp=0;
//
//     }
// }

void main(void)
{

```

```

// Declare your local variables here

// Input/Output Ports initialization
// Port A initialization
// Function: Bit7=In Bit6=In Bit5=In Bit4=In Bit3=In Bit2=In
Bit1=In Bit0=In
DDRA=(0<<DDA7) | (0<<DDA6) | (0<<DDA5) | (0<<DDA4) |
(0<<DDA3) | (0<<DDA2) | (0<<DDA1) | (0<<DDA0);
// State: Bit7=T Bit6=T Bit5=T Bit4=T Bit3=T Bit2=T Bit1=T
Bit0=T
PORTA=(0<<PORTA7) | (0<<PORTA6) | (0<<PORTA5) |
(0<<PORTA4) | (0<<PORTA3) | (0<<PORTA2) | (0<<PORTA1)
| (0<<PORTA0);

// Port B initialization
// Function: Bit7=In Bit6=In Bit5=In Bit4=In Bit3=In Bit2=In
Bit1=In Bit0=In
DDRB=(0<<DDB7) | (0<<DDB6) | (0<<DDB5) | (0<<DDB4) |
(0<<DDB3) | (0<<DDB2) | (0<<DDB1) | (0<<DDB0);
// State: Bit7=T Bit6=T Bit5=T Bit4=T Bit3=T Bit2=T Bit1=T
Bit0=T
PORTB=(0<<PORTB7) | (0<<PORTB6) | (0<<PORTB5) |
(0<<PORTB4) | (0<<PORTB3) | (0<<PORTB2) | (0<<PORTB1) |
(0<<PORTB0);

// Port C initialization
// Function: Bit7=In Bit6=In Bit5=In Bit4=In Bit3=In Bit2=In
Bit1=In Bit0=In
DDRC=(0<<DDC7) | (0<<DDC6) | (0<<DDC5) | (0<<DDC4) |
(0<<DDC3) | (0<<DDC2) | (0<<DDC1) | (0<<DDC0);
// State: Bit7=T Bit6=T Bit5=T Bit4=T Bit3=T Bit2=T Bit1=T
Bit0=T
PORTC=(0<<PORTC7) | (0<<PORTC6) | (0<<PORTC5) |
(0<<PORTC4) | (0<<PORTC3) | (0<<PORTC2) | (0<<PORTC1) |
(0<<PORTC0);

```

```

// Port D initialization
// Function: Bit7=In Bit6=In Bit5=In Bit4=In Bit3=In Bit2=In
// Bit1=In Bit0=In
DDRD=(0<<DDD7) | (0<<DDD6) | (0<<DDD5) | (0<<DDD4) |
(0<<DDD3) | (0<<DDD2) | (0<<DDD1) | (0<<DDD0);
// State: Bit7=T Bit6=T Bit5=T Bit4=T Bit3=T Bit2=T Bit1=T
// Bit0=T
PORTD=(0<<PORTD7) | (0<<PORTD6) | (0<<PORTD5) |
(0<<PORTD4) | (0<<PORTD3) | (0<<PORTD2) | (0<<PORTD1)
| (0<<PORTD0);

// Timer/Counter 0 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer 0 Stopped
// Mode: Normal top=0xFF
// OC0 output: Disconnected
TCCR0=(0<<WGM00) | (0<<COM01) | (0<<COM00) |
(0<<WGM01) | (0<<CS02) | (0<<CS01) | (0<<CS00);
TCNT0=0x00;
OCR0=0x00;

// Timer/Counter 1 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: 11.719 kHz
// Mode: Normal top=0xFFFF
// OC1A output: Disconnected
// OC1B output: Disconnected
// Noise Canceler: Off
// Input Capture on Falling Edge
// Timer Period: 10.069 ms
// Timer1 Overflow Interrupt: On
// Input Capture Interrupt: Off
// Compare A Match Interrupt: Off
// Compare B Match Interrupt: Off
TCCR1A=(0<<COM1A1) | (0<<COM1A0) | (0<<COM1B1) |
(0<<COM1B0) | (0<<WGM11) | (0<<WGM10);

```

```

TCCR1B=(0<<ICNC1) | (0<<ICES1) | (0<<WGM13) |
(0<<WGM12) | (1<<CS12) | (0<<CS11) | (1<<CS10);
TCNT1H=0xFF;
TCNT1L=0xF4;
ICR1H=0x00;
ICR1L=0x00;
OCR1AH=0x00;
OCR1AL=0x00;
OCR1BH=0x00;
OCR1BL=0x00;

```

```

// Timer/Counter 2 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer2 Stopped
// Mode: Normal top=0xFF
// OC2 output: Disconnected
ASSR=0<<AS2;
TCCR2=(0<<PWM2) | (0<<COM21) | (0<<COM20) | (0<<CTC2)
| (0<<CS22) | (0<<CS21) | (0<<CS20);
TCNT2=0x00;
OCR2=0x00;

```

```

// Timer(s)/Counter(s) Interrupt(s) initialization
TIMSK=(0<<OCIE2) | (0<<TOIE2) | (0<<TICIE1) |
(0<<OCIE1A) | (0<<OCIE1B) | (1<<TOIE1) | (0<<OCIE0) |
(0<<TOIE0);

```

```

// External Interrupt(s) initialization
// INT0: On
// INT0 Mode: Rising Edge
// INT1: On
// INT1 Mode: Rising Edge
// INT2: Off
GICR|=(1<<INT1) | (1<<INT0) | (0<<INT2);
MCUCR=(1<<ISC11) | (1<<ISC10) | (1<<ISC01) | (1<<ISC00);
MCUCSR=(0<<ISC2);

```

```
GIFR=(1<<INTF1) | (1<<INTF0) | (0<<INTF2);
```

```
// USART initialization
```

```
// Communication Parameters: 8 Data, 1 Stop, No Parity
```

```
// USART Receiver: On
```

```
// USART Transmitter: On
```

```
// USART Mode: Asynchronous
```

```
// USART Baud Rate: 9600
```

```
UCSRA=(0<<RXC) | (0<<TXC) | (0<<UDRE) | (0<<FE) |  
(0<<DOR) | (0<<UPE) | (0<<U2X) | (0<<MPCM);
```

```
UCSRB=(0<<RXCIE) | (0<<TXCIE) | (0<<UDRIE) | (1<<RXEN)  
| (1<<TXEN) | (0<<UCSZ2) | (0<<RXB8) | (0<<TXB8);
```

```
UCSRC=(1<<URSEL) | (0<<UMSEL) | (0<<UPM1) |  
(0<<UPM0) | (0<<USBS) | (1<<UCSZ1) | (1<<UCSZ0) |  
(0<<UCPOL);
```

```
UBRRH=0x00;
```

```
UBRRL=0x4D;
```

```
// Analog Comparator initialization
```

```
// Analog Comparator: Off
```

```
// The Analog Comparator's positive input is
```

```
// connected to the AIN0 pin
```

```
// The Analog Comparator's negative input is
```

```
// connected to the AIN1 pin
```

```
ACSR=(1<<ACD) | (0<<ACBG) | (0<<ACO) | (0<<ACT) |  
(0<<ACIE) | (0<<ACIC) | (0<<ACIS1) | (0<<ACIS0);
```

```
SFIOR=(0<<ACME);
```

```
// ADC initialization
```

```
// ADC disabled
```

```
ADCSRA=(0<<ADEN) | (0<<ADSC) | (0<<ADATE) |  
(0<<ADIF) | (0<<ADIE) | (0<<ADPS2) | (0<<ADPS1) |  
(0<<ADPS0);
```

```
// SPI initialization
```

```
// SPI disabled
```

```
SPCR=(0<<SPIE) | (0<<SPE) | (0<<DORD) | (0<<MSTR) |
(0<<CPOL) | (0<<CPHA) | (0<<SPR1) | (0<<SPR0);
```

```
// TWI initialization
```

```
// TWI disabled
```

```
TWCR=(0<<TWEA) | (0<<TWSTA) | (0<<TWSTO) |
(0<<TWEN) | (0<<TWIE);
```

```
// Global enable interrupts
```

```
#asm("sei")
```

```
DDRD.7=1; // nyalakan pompa
```

```
while (1)
```

```
{
```

```
if(PINC.1==0&&tespin>135){
```

```
    //tespin = (tespin-1787)*-1;
```

```
    //rpm = (tespin*414.4)/1646;
```

```
    //kecepatan=(rpm*42)/414;
```

```
        if(tespin>1000){
```

```
            //kecepatan=0.0;
```

```
        }
```

```
        else{
```

```
            tespinf=tespin;
```

```
            kecepatan=(6006.0/tespinf);
```

```
        }
```

```
        tespin=0;
```

```
        bool0=0;
```

```
    }
```

```
else{
```

```
    bool0=1;
```

```
}
```

```
if(PINC.6==0&&tespin1>80){
```

```
        if(tespin1>1000){
//kecepatan1=0.0;
        }
        else{
            tespin1f=tespin1;
            kecepatan1=(3600.0/tespin1f);// 3570
        }
        tespin1=0;
        bool1=0;
    }

    else{
        bool1=1;
    }

    // printf("big: %.2f",kecepatan); printf(" kmh| ");
    // printf("small: %.2f",kecepatan1); printf("kmh| ");
    // printf("\n\r");

    /// printf("%i",tespin);printf(" | ");
    // printf("%.2f",kecepatan);printf(" kmh| ");
    /// printf("%i",tespin1);printf(" | ");
    // printf("%.2f",kecepatan1);printf(" kmh| ");
    // printf("\n\r");
    }
}
```

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN B

Datasheet Proximity Lefircko

M18 Inductive proximity sesnor Specification E2E-X10ME1/PR18-5DN

- Detection distance:4-8mm
- Adopt shield technology , better anti-daturbance performance
- Adopt imported chip , more reliable
- With indicator to dstinguish the action
- Fully replaced E2E , PR series sensor

Detection distance 5mm				Model no.	Other model no.	Replaced model no.	Replaced model no.	
Flush	DC	NPN	NO	LJ18A3-5-Z/BX	LM18-3005NA	E2E-X10ME1	PR18-5DN	
			NC	LJ18A3-5-Z/AX	LM18-3005NB	E2E-X10ME2	PR18-5DN2	
			NO+NC	LJ18A3-5-Z/CX	LM18-3005NC			
		PNP	NO	LJ18A3-5-Z/BY	LM18-3005PA	E2E-X10MF1	PR18-5DP	
			NC	LJ18A3-5-Z/AY	LM18-3005PB	E2E-X10MF2	PR18-5DP2	
			NO+NC	LJ18A3-5-Z/CY	LM18-3005PC			
	AC	2 wires system	NO	LJ18A3-5-Z/EX	LM18-3005LA			
			NC	LJ18A3-5-Z/DX	LM18-3005LB			
		SCR	NO	LJ18A3-5-J/EZ	LM18-2005A	E2E-X10MY1	PR18-5AO	
			NC	LJ18A3-5-J/DZ	LM18-2005B	E2E-X10MY2	PR18-5AC	
			Silicon Controlled Rectifier	NO+NC	LJ18A3-5-J/EZD	LM18-2005C		
				Relay output				
Detection distance 8mm								
Non-flush	DC	NPN	NO	LJ18A3-8-Z/BX	LM18-3008NA	E2E-X10E1	PR18-8DN	
			NC	LJ18A3-8-Z/AX	LM18-3008NB	E2E-X10E2	PR18-8DN2	
			NO+NC	LJ18A3-8-Z/CX	LM18-3008NC			
		PNP	NO	LJ18A3-8-Z/BY	LM18-3008PA	E2E-X10F1	PR18-8DP	
			NC	LJ18A3-8-Z/AY	LM18-3008PB	E2E-X10F2	PR18-8DP2	
			NO+NC	LJ18A3-8-Z/CY	LM18-3008PC			
	AC	2 wires system	NO	LJ18A3-8-Z/EX	LM18-3008LA			
			NC	LJ18A3-8-Z/DX	LM18-3008LB			
		SCR	NO	LJ18A3-8-J/EZ	LM18-2008A	E2E-X10Y1	PR18-8AO	
			NC	LJ18A3-8-J/DZ	LM18-2008B	E2E-X10Y2	PR18-8AC	
			Silicon Controlled Rectifier	NO+NC	LJ18A3-8-J/EZD	LM18-2008C		
				Relay output				

LM18 Product feature

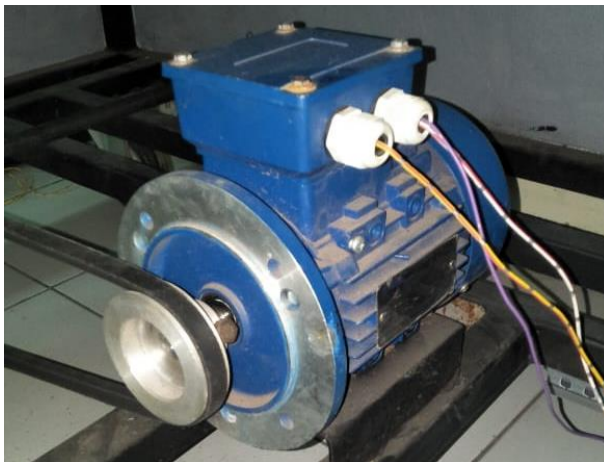
Output current	DC SCR/Relay	150mA
Output voltage drop	DC(NPN , PNP)<3V , 2wires <3.0VDC , <10VACDC< 3V , AC<	
Consumption current	DC(NPN , PNP) DC 12V 8mA , 24V 15mA , AC 10mA DC<15mA , AC<10mA	
Standard detected object	18*18*(A3 Iron)	
Repeated precision	0.02	
Response frequency	200Hz/25Hz	
Working environment temperature	-25°C ~+75°C	
Insulation resistance	50MΩ	
Shell material	Metal	
Protection Grade	IP67	
Alternative model	E2E-X18M	

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN C
Foto Plant Anti-Lock Braking System



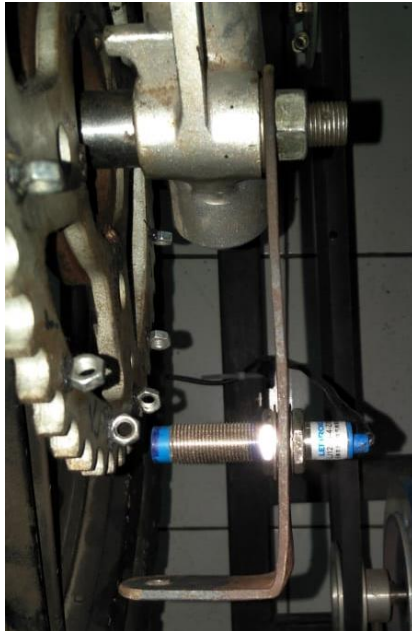
Gambar C.1. Plant ABS



Gambar C.2. Motor Penggerak



Gambar C.3. Driver Motor AC



Gambar C.4. Sensor Kecepatan Roda Atas



Gambar C.5. Sensor Kecepatan Roda Bawah



Gambar C.6. Solenoid Valve

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Nama Penulis Haryo Arif Wicaksono, dilahirkan di Surabaya, 14 Mei 1996. Riwayat Pendidikan Penulis dimulai dari TK Mutiara Islam dilanjutkan di SDN Kendangsari 1 / 276 Surabaya dan dilanjutkan lagi di SMPN 19 Surabaya dan dilanjutkan lagi di SMAN 1 Surabaya dan pada tahun 2014 masuk di prodi D3 Metrologi & Instrumentasi, Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dan sedang menempuh pendidikan S1 Teknik Fisika ITS hingga sekarang. Apabila terdapat pertanyaan tentang tugas akhir ini maka dapat menghubungi nomor telpon penulis yaitu : 082232159203, dan dapat juga melalui email penulis yaitu haryoarifw@gmail.com

Halaman ini sengaja dikosongkan