



**TUGAS AKHIR - TF 181801**

**RANCANG BANGUN *FAULT TOLERANT  
SLIDING MODE CONTROL (FTSMC)* PADA  
*ANTILOCK BRAKING SYSTEM* DENGAN  
KESALAHAN AKTUATOR**

**MOHAMAD FAIZUL FIKRI  
NRP 0231164000040**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Bambang L. Widjiantoro, S.T., M.T.  
NIP. 1969052071995121001**

**Program Studi S-1 Teknik Fisika  
Departemen Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2020**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mohamad Faizul Fikri  
NRP : 0231164000040

Dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir saya berjudul **“RANCANG BANGUN *FAULT TOLERANT SLIDING MODE CONTROL (FTSMC)* PADA *ANTILOCK BRAKING SYSTEM* DENGAN KESALAHAN AKTUATOR”** 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, 27 Desember 2019  
Yang membuat pernyataan,



**Mohamad Faizul Fikri**  
NRP. 0231164000040

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

LEMBAR PENGESAHAN  
TUGAS AKHIR

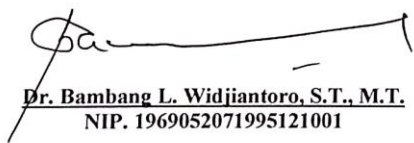
RANCANG BANGUN *FAULT TOLERANT SLIDING MODE CONTROL (FTSMC)* PADA *ANTILOCK BRAKING SYSTEM*  
DENGAN KESALAHAN AKTUATOR

Oleh:

Mohamad Faizul Fikri  
NRP. 0231164000040

Surabaya, 27 Desember 2019  
Mengetahui/Menyetujui

Pembimbing I,



Dr. Bambang L. Widjiantoro, S.T., M.T.  
NIP. 1969052071995121001



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**RANCANG BANGUN *FAULT TOLERANT SLIDING MODE CONTROL (FTSMC)* PADA *ANTILOCK BRAKING SYSTEM* DENGAN KESALAHAN AKTUATOR**

**TUGAS AKHIR**

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

Oleh:

**MOHAMAD FAIZUL FIKRI**

NRP. 0231164000040

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Bambang L. Widjiantoro, S.T., M.T. .... (Pembimbing I)
2. Dr. Katherin Indriawati, S.T., M.T. .... (Ketua Penguji)
3. Dr. Dhany Arifianto, S.T., M.Eng ..... ( Penguji I)
4. Dr. Ir. Ali Musyafa', MSc ..... ( Penguji II)
5. Moh. Kamalul Wafi, S.T., M.Sc. DIC ..... ( Penguji III)

**SURABAYA**  
**Januari , 2020**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



# **RANCANG BANGUN *FAULT TOLERANT SLIDING MODE CONTROL (FTSMC)* PADA *ANTILOCK BRAKING SYSTEM* DENGAN KESALAHAN AKTUATOR**

**Nama** : Mohamad Faizul Fikri  
**NRP** : 0231164000040  
**Departemen** : Teknik Fisika FTI-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Bambang L. Widjiantoro, S.T.,  
M.T.

## **ABSTRAK**

Tingginya angka penggunaan kendaraan bermotor menyebabkan beberapa masalah baru ditambah dengan pemahaman akan pentingnya keselamatan yang kurang. Hal ini dapat mengakibatkan tumbuhnya angka kecelakaan, dimana umum diketahui salah satu sistem safety adalah pengereman kendaraan. Kegagalan pada sistem pengereman merupakan sebuah hal yang 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. Pada beberapa hal komponen aktuator pada kendaraan berkurang kemampuannya sehingga hal ini dapat diantisipasi dengan menggunakan Fault Tolerant. Pada penelitian telah dirancang kontrol FTSMC dengan hasil pada pengujian kesalahan 1% overshoot yang dihasilkan adalah sebesar 0,3% dengan waktu berhenti 4,2 s. Pada pengujian kesalahan 2% overshoot yang dihasilkan adalah sebesar 1,8% dengan waktu berhenti 4,2s. Sementara dengan kesalahan 10% didapatkan data overshoot 0,7% dan waktu berhenti 5,4s. Kemudian pada pengujian kesalahan aktuator pada nilai 20% didapatkan data overshoot 3,7% dengan waktu berhenti 6s.

**Kata Kunci** : FTSMC, aktuator, *Antilock Braking System*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**DESIGN OF FAULT TOLERANT SLIDING MODE  
CONTROL (FTSMC) ON ANTILOCK BRAKING SYSTEM  
WITH THE AKTUATOR'S ERROR**

**Name** : Mohamad Faizul Fikri  
**NRP** : 0231164000040  
**Department** : Engineering Physics  
**Supervisors** : Dr. Bambang L. Widjiantoro, S.T.,  
M.T

**ABSTRACT**

*The high rate of use of motorized vehicles causes several new problems coupled with an understanding of the importance of lack of safety. This can result in the growth of accident rates, where it is commonly known that one of the safety systems is vehicle braking. The failure of the braking system is a fatal thing. The latest braking system technology that is commonly known today and has become a standard vehicle device is the anti lock braking system (ABS). ABS is a security system on the vehicle braking system so that the wheels on the car are not locked when braking suddenly done. In some cases the actuator component on the vehicle is reduced so that this can be anticipated by using Fault Tolerant. In this research, the FTSMC control has been designed with the result of error testing of 1% resulting overshoot is equal to 0.3% with a stop time of 4.2 s. In error testing 2% of overshoot generated was 1.8% with a stop time of 4.2s. Between 10% error, 0.7% overshoot data and 5,4s stopping time. Then in testing the actuator error at a value of 20%, it was obtained 3.7% overshoot data with a stop time of 6s.*

**Keywords:** *FTSMC, aktuator , Antilock Braking System*

*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 *FAULT TOLERANT SLIDING MODE CONTROL (FTSMC)* PADA *ANTILOCK BRAKING SYSTEM* DENGAN KESALAHAN AKTUATOR”**. 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 Dr. Suyanto S.T., M.T., sebagai Kepala Departemen Teknik Fisika yang telah memberikan petunjuk, ilmu, serta bimbingan baik di dalam kelas maupun diluar selama menempuh pendidikan di Teknik Fisika.
2. Bapak Dr. Bambang L. Widjiantoro, S.T., M.T. dan Ibu Dr. Katherin Indriawati, S.T, M.T. 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. Bapak Ir. Wiratno Argo Asmoro M.Sc. selaku dosen wali yang telah membimbing penulis selama perkuliahan.
5. Kedua orang tua (Bapak Suwandi dan Ibu Rokhayatun). Terimakasih atas segala cinta, kasih sayang, doa, perhatian, serta dukungan moril dan materiil yang telah diberikan.
6. Seluruh teman-teman Departemen S1 Teknik Fisika angkatan 2016, dan teman-teman asisten Laboratorium Fisika Rekayasa, terima kasih untuk dukungan dan bantuannya.
7. Seluruh dosen, karyawan dan civitas akademik Teknik Fisika, terimakasih atas segala bantuan dan kerjasamanya.

8. Keluarga Laboratorium Pengukuran Fisis yang banyak membantu menyemangati penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
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, 27 Desember 2019

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
LEMBAR PENGESAHAN .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
ABSTRAK .....	ix
ABSTRACT .....	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR .....	xvii
DAFTAR TABEL .....	xix
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	4
1.5 Manfaat.....	4
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1 <i>Anti-lock Braking System (ABS)</i> .....	7
2.2 <i>Cara Kerja Antilock Braking System</i> .....	10
2.3 <i>Sliding Mode Control (SMC)</i> .....	12
2.4 <i>Fault Tolerant Control (FTC)</i> .....	13

2.5	Komponen Penyusun <i>Antilock Braking System</i> .....	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....		21
3.1	Studi Literatur .....	23
3.2	Rancang Bangun Plant ABS.....	23
3.3	Perancangan Sistem Kendali <i>Slide Mode Control</i> (SMC) .....	25
3.4	Perancangan <i>Fault Tolerant Control</i> .....	26
3.5	Perancangan Observer.....	27
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN .....		33
4.1	Uji Pemodelan <i>Antilock Braking System</i> .....	33
4.2	Uji <i>Closed Loop</i> Menggunakan Sistem Kontrol PISMC .....	34
4.3	Uji Observer FTSMC .....	36
4.4	Uji PISMC dengan Kesalahan.....	43
BAB V PENUTUP .....		47
5.1	Kesimpulan .....	47
5.2	Saran .....	47
DAFTAR PUSTAKA .....		49
LAMPIRAN A.....		53
LAMPIRAN B.....		55
LAMPIRAN C.....		57
BIODATA PENULIS .....		59



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Kurva perbandingan koefisien gesek permukaan jalan dengan <i>slip ratio</i> roda .....7
<b>Gambar 2.2</b>	Kendali ECU ABS Ketika Normal .....9
<b>Gambar 2.3</b>	Kendali <i>ECU ABS Ketika Increase</i> ..... 10
<b>Gambar 2.4</b>	Kendali ECU ABS Ketika <i>Hold</i> ..... 10
<b>Gambar 2.5</b>	Kendali ECU ABS Ketika <i>Dump</i> ..... 11
<b>Gambar 2.6</b>	Interpretasi grafik SMC.....12
<b>Gambar 2.7</b>	Klasifikasi FTC.....14
<b>Gambar 2.8</b>	Klasifikasi FDI.....15
<b>Gambar 2.9</b>	Master Silinder.....16
<b>Gambar 2.10</b>	Solenoid Valve..... 16
<b>Gambar 2.11</b>	Proximity Sensor.....18
<b>Gambar 2.12</b>	NI DAQ 6001 .....18
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Alir Penelitian.....20
<b>Gambar 3.2</b>	Skema plant anti-lock braking system.....22
<b>Gambar 3.3</b>	Diagram Blok Perancangan FTC.....25
<b>Gambar 3.4</b>	Skema Extended Observer.....30
<b>Gambar 4.1</b>	Respon <i>Slip Ratio</i> Uji <i>Open Loop</i> .....33
<b>Gambar 4.2</b>	Respon Kecepatan Uji <i>Open Loop</i> .....34
<b>Gambar 4.3</b>	Respon <i>Slip Ratio</i> PISMC.....35
<b>Gambar 4.4</b>	Respon Kecepatan PISMC.....36
<b>Gambar 4.5</b>	Respon Estimasi $\hat{T}$ pada Observer .....37
<b>Gambar 4.6</b>	Respon Estimasi Kecepatan .....37
<b>Gambar 4.7</b>	Respon <i>Slip Ratio</i> dengan Kesalahan 1% .....38
<b>Gambar 4.8</b>	Respon Kecepatan dengan Kesalahan 1%.....39
<b>Gambar 4.9</b>	Respon <i>Slip Ratio</i> dengan Kesalahan 2%.....39
<b>Gambar 4.10</b>	Respon Kecepatan dengan Kesalahan 2%.....40
<b>Gambar 4.11</b>	Respon <i>Slip Ratio</i> dengan Kesalahan 10% .....41
<b>Gambar 4.12</b>	Respon Kecepatan dengan Kesalahan 10% ....41
<b>Gambar 4.13</b>	Respon <i>Slip Ratio</i> dengan Kesalahan 20%.....42
<b>Gambar 4.14</b>	Respon Kecepatan dengan Kesalahan 20%.....43

<b>Gambar 4.15</b>	Respon <i>Slip Ratio</i> PISMC kesalahan 10%.....	44
<b>Gambar 4.16</b>	Respon Kecepatan PISM kesalahan 10%.....	44

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Koefisien Gesek Roda - Jalan .....	9
<b>Tabel 4.1</b>	Hasil Uji Kesalahan Aktuator .....	43
<b>Tabel 4.2</b>	Data perbandingan penggunaan FTSMC dan PISMIC .....	45



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Penggunaan kendaraan bermotor pada masa sekarang ini merupakan hal yang sangat mudah kita temui dengan kemajuan zaman dan kebutuhan seseorang yang semakin mengharuskan seseorang dengan mobilitas tinggi. Maka penggunaan kendaraan adalah hal yang sangat wajar, apalagi didukung dengan adanya usaha pemerintah untuk meramaikan pasar otomotif nasional. Maka dengan adanya program tersebut wajar adanya jika banyak kendaraan roda empat yang sekarang dapat kita temui di jalan sekarang.

Jumlah kendaraan roda empat yang semakin meningkat di jalan banyak menggunakan bahan bakar fosil. Berdasarkan hasil catatan badan pusat statistik menyatakan bahwa jumlah kendaraan yang beredar saat ini di Indonesia adalah 138. 556. 669 unit (Statistik, 2017). Jumlah tersebut didominasi oleh kendaraan dengan penggunaan bahan bakar fosil. Dampak yang dihasilkan dengan adanya jumlah kendaraan sebanyak itu merupakan polusi yang sampai sekarang sulit diatasi. Maka dengan alasan penyebab polusi tersebut maka harus adanya solusi atas penggunaan bahan bakar fosil tersebut, salah satu yang mulai menggantikan hal tersebut adalah mobil dengan mobil tenaga listrik. Namun Penjualan mobil listrik masih kecil, setidaknya sampai 2017 penjualan mobil listrik baru mencapai 3 juta unit dan ini masih hanya berlaku di beberapa negara terutama china dengan penjualan 1,230 juta unit (Kompas, 2017). Padahal dengan adanya penggunaan mobil listrik ini dapat mengurangi beban ketergantungan pada bahan bakar fosil. Sektor transportasi menghabiskan sekitar 75% suplai BBM nasional menurut

kementrian ESDM berdasarkan analisis dan evaluainya pada tahun 2014 dimana sektor ini menghabiskan 732,86 ribu Barel per hari (ESDM, 2014). Maka jelas dengan pengurangan penggunaan bbm pada sektor ini dapat sangat mengurangi polusi yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil.

Selain adanya masalah polusi yang ditimbulkan dengan adanya banyak penggunaan kendaraan, ada juga masalah keamanan yang ditimbulkan dengan adanya kendaraan tersebut. Menurut data kepolisian angka kematian mencapai 3 orang setiap jamnya akibat kecelakaan kendaraan (KOMINFO, 2017). Hal ini disebabkan oleh banyak faktor selain kondisi pengemudi hal ini juga dapat disebabkan oleh kondisi kendaraan yang digunakan. Penggunaan kendaraan tanpa memperhatikan kondisinya adalah hal yang sangat fatal, salah satu penyebab dalam kecelakaan adalah gagalnya kendaraan dalam melakukan pengereman. Pengereman dengan kondisi mendadak dapat menyebabkan roda kendaraan dalam keadaan terkunci. Solusi yang saat ini dapat ditawarkan adalah dengan penambahan *Antilock Braking System* pada sistem pengereman yang ada. Penambahan *Antilock Braking System* dalam hal ini akan membuat roda tidak terkunci pada saat melakukan pengereman dan jarak pengereman dapat dikurangi.

Pada *Antilock Braking System* (ABS) terdapat beberapa *equipment* yang diperlukan diantaranya penggunaan sensor kecepatan putaran roda, *solenoid valve*, pompa ABS. Pada sistem ini *solenoid valve* bertindak sebagai aktuator yang mana nantinya pengereman akan berjalan secara dikit demi sedikit dengan parameter *slip ratio* yang nilainya akan dijaga. Saat *Antilock Braking System* 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. Pada penggunaan *solenoid valve* dapat terjadi kesalahan. Diantara kesalahan yang dapat terjadi adalah *valve* gagal membuka atau terbuka sebagian, maupun tidak berfungsinya *valve* akibat *instrument* yang sudah rusak seperti lilitan yang meleleh. Hal ini merupakan kejadian yang sangat bahaya dimana pengereman merupakan hal vital dalam kendaraan. Untuk itu, diperlukan sistem pengendalian yang mampu mengurangi dampak kesalahan tersebut (Zhang, 2017).

Berdasarkan uraian yang telah disampaikan diatas maka disusun sebuah tugas akhir ini dengan topik Rancang Bangun *System ANTILOCK BRAKING SYSTEM (ABS) FTSMC Controler* dengan Estimasi Kesalahan pada Aktuator.

## 1.2 Rumusan Masalah

Maka atas penjelasan uraian diatas, permasalahan yang akan diselesaikan dalam Tugas Akhir ini adalah:

- Bagaimana rancangan *Antilock Braking System* dengan menggunakan FTSMC dengan toleransi kesalahan pada aktuator?
- Bagaimana perbandingan respon penggunaan FTSMC dan PISMC pada sistem Antilock Braking System dengan kesalahan aktuator?

## 1.3 Tujuan

Adapun yang menjadi tujuan dari Tugas Akhir ini adalah untuk:

- Merancang *Antilock Braking System* dengan FTSMC dengan estimasi kesalahan pada aktuator
- Merancang *observer* pada *plant Antilock Braking System*

#### 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Kendaraan yang ditinjau dalam penelitian ini adalah bentuk kendaraan *Quarter Car Model (QCM)* dalam hal ini digunakan simulator
- Kendaraan diumpamakan melewati jalur lurus, datar dan tidak bergelombang
- Komunikasi data dilakukan dengan menggunakan USB NI-DAQ 6001
- Nilai *setpoint* bernilai 0,2 sesuai dengan kondisi optimal *slip ratio* pada jalan aspal kering

#### 1.5 Manfaat

Pelaksanaan tugas akhir yang dilakukan bermanfaat sebagai berikut:

- Mengetahui karakteristik pengereman *anti-lock braking system* untuk dijadikan acuan dalam pengendalian sistem ABS
- Perancangan sebuah kendali *Fault Tolerant Slide Mode Control (FTSMC)* pada *anti-lock braking system (ABS)* dapat menjadi gambaran untuk penerapan sistem *safety* dalam pengereman kendaraan.

#### 1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan laporan disusun dalam lima bab yaitu:

##### 1. BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang gambaran umum dari penulisan yang meliputi latar belakang, rumusan masalah, tujuan dan sistematika laporan

##### 2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Bab ini berisi mengenai teori – teori pada tugas akhir, seperti pengertian, gambaran umum, dan proses pada ABS, *sliding mode control*, *Fault Tolerant Control*, dan komponen pada sistem ABS

### 3. BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang langkah langkah yang digunakan dalam penyelesaian masalah pada Tugas Akhir. Selain itu dijelaskan juga prosedur dan proses pelaksanaan tiap tiap langkah yang dilakukan dalam menyelesaikan Tugas Akhir.

### 4. BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dijelaskan hasil dari penerapan FTSMC pada sistem quarter car pada simulator yang telah dirancang. Kemudian hasilnya akan dibandingkan dengan tanpa penggunaan FTSMC dengan parameter yang dilihat adalah nilai slip ratio dengan nilai 0,2.

### 5. BAB V PENUTUP

Bab ini menjelaskan tentang kesimpulan yang dapat diambil dari pelaksanaan Tugas Akhir dan saran yang akan diberikan untuk penelitian yang dapat dikembangkan selanjutnya.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB II**

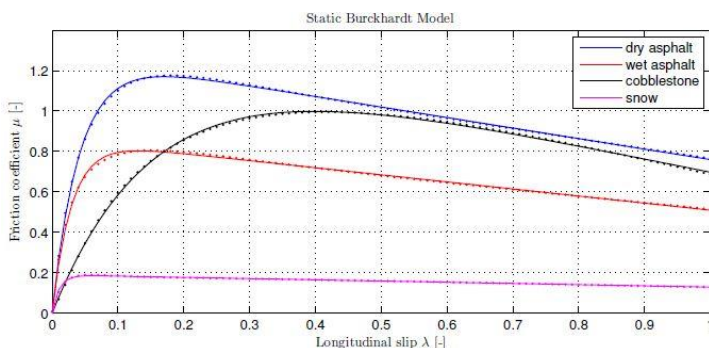
### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 *Anti-lock Braking System (ABS)***

*Anti-Lock Braking System* merupakan sistem pengereman yang dilakukan untuk mencegah terjadinya slip ketika mobil melakukan pengereman secara mendadak atau dalam keadaan normalnya. Sistem 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 terbuang 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 ( $\mu$ ) dan *slip ratio* roda ( $\lambda$ ) 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 2.4** 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* ( $\lambda$ ) 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),  $\omega$  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 2.2** Koefisien Gesek Roda - Jalan (Jingang dkk, 2014)

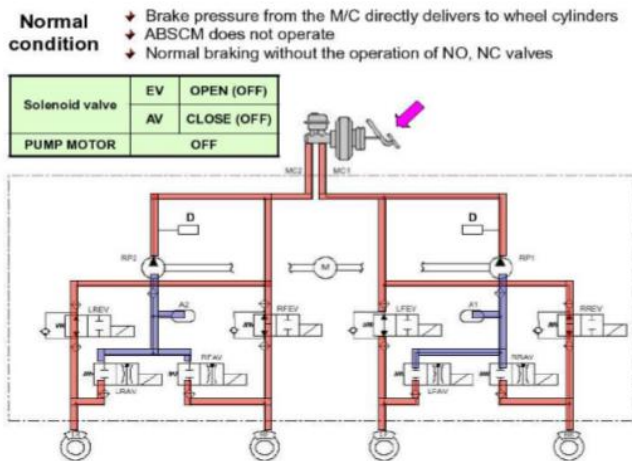
Kondisi Jalan	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$
Aspal Kering	1.029	17.16	0.523	0.03
Beton Kering	1.1973	25.168	0.5373	0.03
Salju	0.1946	94.129	0.0646	0.03
Es	0.05	306.39	0	0.03

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 Antilock 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).

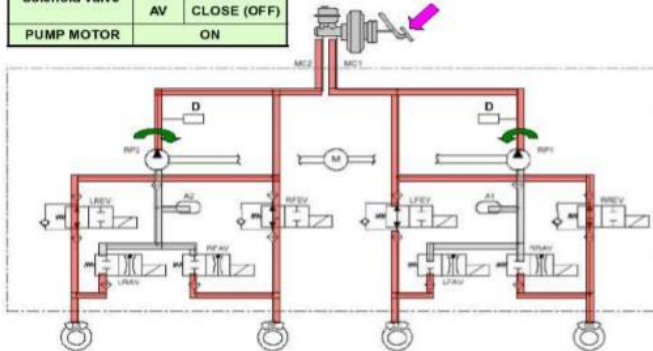


**Gambar 2.5** Kendali ECU ABS Ketika Normal (Harly,2019)

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

**Pressure Increase** → If a frictional force between tire and road surface increases, ABSCM increases brake pressure again

Solenoid valve	EV	OPEN (OFF)
	AV	CLOSE (OFF)
PUMP MOTOR		ON

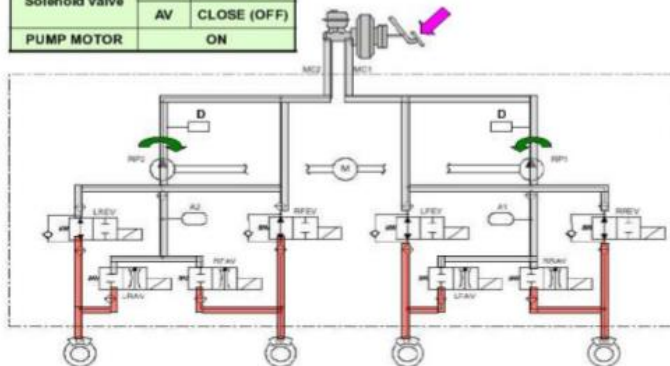


**Gambar 2.6** Kendali ECU ABS Ketika Increase (Harly, 2019)

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

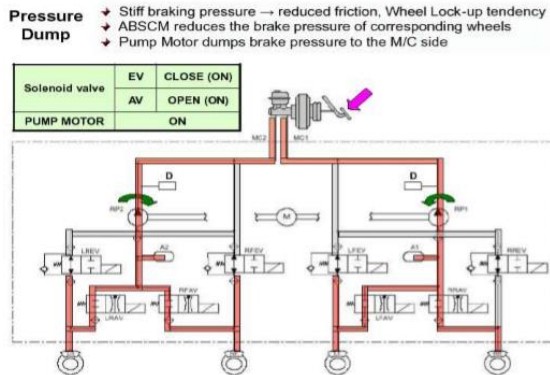
**Pressure Hold** → To make a proper decision of wheel rotation while pressure dump or pressure increase mode  
 → To hold the brake pressure of wheel cylinder

Solenoid valve	EV	CLOSE (ON)
	AV	CLOSE (OFF)
PUMP MOTOR		ON



**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)



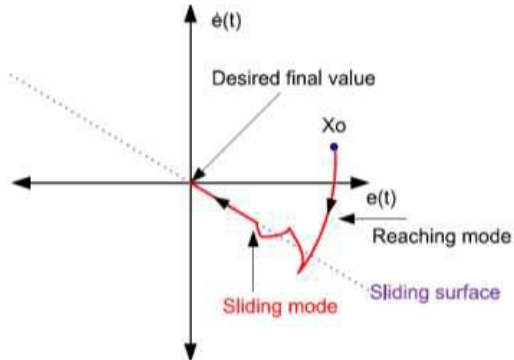
**Gambar 2.5** Kendali ECU ABS Ketika Dump (Harly, 2019)

### 2.3 Sliding Mode Control (SMC)

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



**Gambar 2.6** 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.

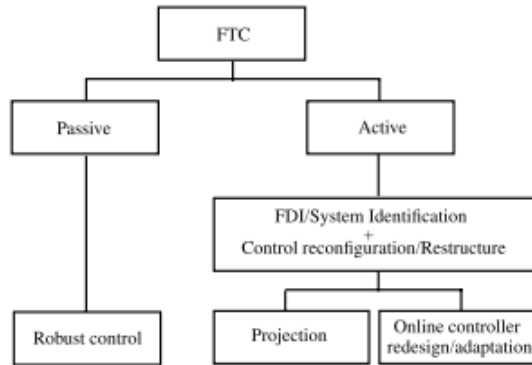
$$\lambda = \frac{V - \omega R}{V} = 1 - \frac{\omega R}{V} \quad (2.3)$$

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

#### 2.4 Fault Tolerant Control (FTC)

Komponen dalam sebuah sistem kontrol seperti halnya sensor dan juga aktuator untuk menentukan aksi kontrol dapat mengalami penurunan performa sehingga mempengaruhi hasil sistem kontrol tersebut. Hal ini terjadi karena kesalahan kecil yang tidak segera

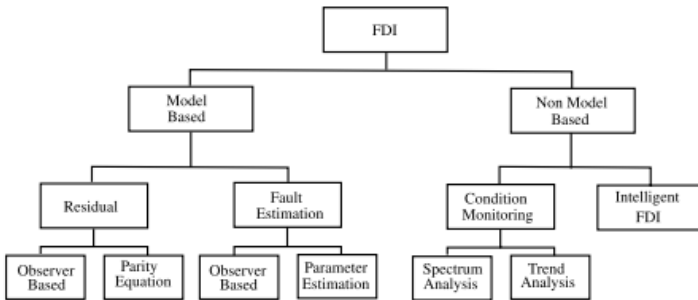
diatasi. Untuk mengatasi hal tersebut telah dilakukan pengembangan pendekatan baru untuk mengendalikan sistem. Pendekatan ini dilakukan dengan menolerir kerusakan pada komponen serta mempertahankan stabilitas dan kinerja sistem yang diinginkan. Pendekatan baru yang diterapkan dalam sistem kontrol adalah *Fault Tolerant Control* (FTC). Tujuan umum dari sistem FTC adalah merancang pengendali dengan struktur yang cocok untuk mencapai kestabilan dan kinerja yang diinginkan dan tidak hanya saat komponen pengendali berfungsi secara normal melainkan saat adanya kesalahan pada suatu komponen tersebut (Indriawati, Sebe, Agustinah, & Jazidie, 2015). Sistem FTC dapat dibangun dengan 2 pendekatan yaitu *passive* dan *active*. *Passive Fault Tolerant Control* (PFTC) dirancang untuk mempertahankan sistem *closed loop* tetap sensitif terhadap kegagalan yang terjadi, sedangkan *Active Fault Tolerant Control* (AFTC) bereaksi terhadap kegagalan komponen dengan merekonfigurasi aksi kontrol, sehingga kestabilan dan kinerja pada sistem dapat dijaga (Ichikawa et al., 2017). Perbedaan mendasar antara PFTC dan AFTC yaitu pada perancangan *Reconfigurable Control* (RC) dan *Fault Detection and Diagnosis Scheme* (FDD) dimana perancangan tersebut diperlukan pada sistem AFTC sedangkan sistem PFTC tidak memerlukan perancangan tersebut. Penambahan kontrol jenis ini diharapkan dapat mengurangi kesalahan dari penggunaan komponen - komponen dalam sistem kontrol yang sudah dirancang. Hal ini akan memberi dampak untuk mentolerir kesalahan sehingga aksi kontrol yang dikeluarkan oleh ECU tetap benar. Berikut merupakan gambar klasifikasi dari FTC:



**Gambar 2. 7** Klasifikasi FTC(Patton, 1997)

Secara umum, sebuah sistem FTC aktif terdiri atas beberapa bagian sub-sistem seperti teknik deteksi/diagnosis kesalahan; mekanisme rekonfigurasi kontroler; dan kontroler (*reconfigurable controller*). Ketiga bagian tersebut harus bekerja secara berkesinambungan. Ketika sebuah kesalahan terdeteksi, unit FDI menentukan dimana letak kesalahan tersebut, yaitu isolasi kesalahan, kemudian algoritma estimasi kesalahan yang bekerja secara *on-line* diaktifkan. Berdasarkan pada estimasi ini, kontroler dirancang ulang untuk mengkompensasi pengaruh kesalahan. Kontroler ini disebut sebagai *reconfigurable controller* yang biasanya berupa kontroler digital dengan parameter dan/atau struktur dapat diubah secara mudah seperti yang diperintahkan oleh mekanisme rekonfigurasi kontroler. FDI dibagi menjadi 2 bagian yaitu berdasarkan model dan tidak berdasarkan model seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7. Model dapat berupa deskripsi secara matematis dari sistem atau dapat juga secara kualitatif menggunakan pohon kesalahan (*fault trees*). Metode menggunakan model kuantitatif dibagi ke dalam 3 kategori utama, yaitu metode

estimasi *state*, estimasi parameter, dan *space parity*



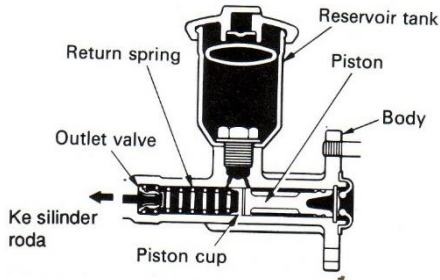
**Gambar 2. 8** Klasifikasi FDI (Tabatabaeipour, 2011)

## 2.5 Komponen Penyusun *Antilock Braking System*

Pada sistem ABS yang telah dibangun terdapat beberapa komponen utama penyusun yang dijelaskan sebagai berikut:

- Silinder Master

Pada sistem pengereman terdapat banyak komponen salah satu komponen utamanya adalah silinder master. Silinder master digunakan pada kendaraan dengan sistem pengereman hidrolik. Pada Gambar 2.8 ini master silinder terdapat reservoir tank yang berfungsi untuk menampung cairan rem pada kendaraan. Baik pada rem hidrolik 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 hidrolik 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 2.8** Master Silinder ( Ahmad, 2015 )

- *Solenoid Valve*



**Gambar 2.7** Selenoid Valve (Goszczak, 2017)

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 hidrolik 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 penggerakanya 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.

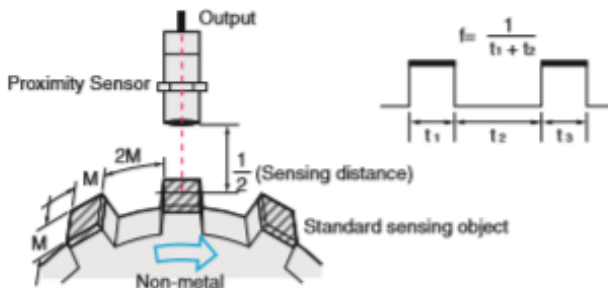
- *Brake Switch*

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.

- *Sensor Proximity*

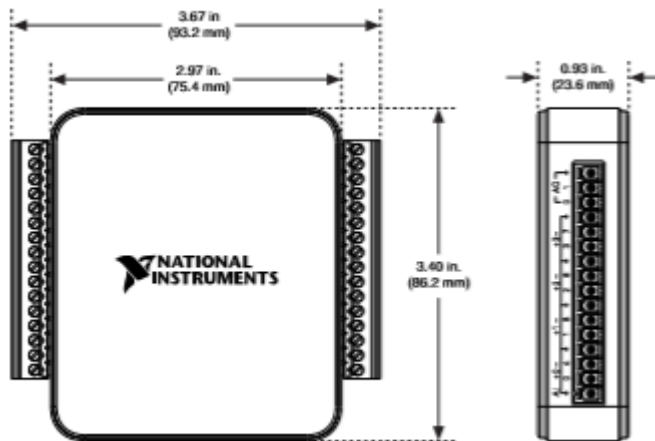
Sensor yang digunakan untuk mengetahui kecepatan roda adalah sensor *proximity* seperti pada Gambar 2.7. Sensor ini dipasang diatas piringan bergerigi yang secara langsung berhubungan dengan poros penggerak roda.

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



**Gambar 2.7** Proximity Sensor (Omron, 2019)

- *Electronic Control Unit (ECU)*



**Gambar 2.8** NI DAQ 6001(National Instrument,2019)

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.

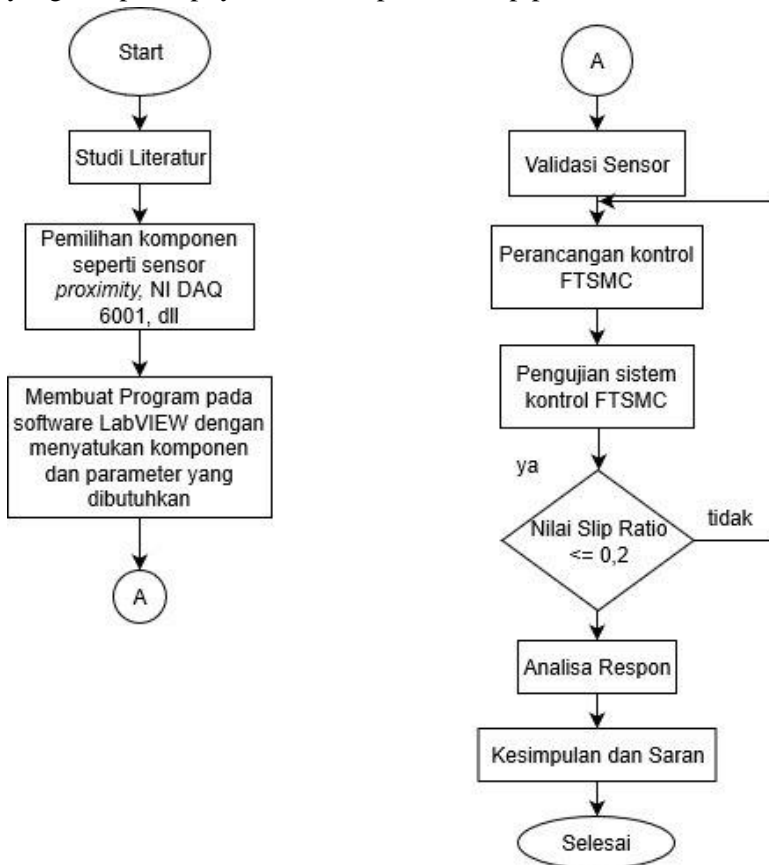
Pada Gambar 2.8 merupakan *mikrokontroler* NI DAQ 6001 yang berfungsi sebagai ECU pada *plant ABS* ini. Data kecepatan sensor, input dari *brake switch*, kontrol *Fault Tolerant Control* diproses oleh NI DAQ 6001. Hasil data yang dikeluarkan akan dapat ditampilkan di *display*.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang dilakukan untuk tercapainya tujuan penelitian dijelaskan melalui diagram alir yang sesuai dengan gambar 3.1 yang tahap tahapnya mendeskripsikan tahap penelitian.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini diawali dengan melakukan studi literatur untuk mendapatkan pemahaman mengenai hal hal yang akan dikerjakan pada sistem pengereman. Studi literatur dilakukan dengan membaca buku, jurnal atau penelitian selanjutnya mengenai sistem pengereman utamanya ABS yang menggunakan sistem kontrol SMC. Selajutnya dilakukan pemilihan komponen seperti sensor yang digunakan yaitu sensor proximity dan penggunaan device melakukan perekaman data yaitu menggunakan NI DAQ 6001. Setelah itu kemudian pemrograman dilakukan pada *software* Labview untuk menyatukan semua komponen sehingga parameter yang diinginkan dapat dibaca dan dianalisis. Setelah pemrograman yang dibuat berjalan kemudian dilakukan validasi dari pembacaan sensor dengan cara membandingkanya dengan penelitian sebelumnya menggunakan sistem yang diteliti sama.

Perancangan kontrol FTSMC dilakukan dengan merancang matriks untuk mengestimasi kesalahan pada aktuator yang nilai-nilainya didapatkan dengan menggunakan sistem trial and error. Pengendalian dilakukan dengan kontrol sistem *closed loop* dengan jenis kontrol FTSMC. Kemudian dilakukan pengujian sistem dimana parameter yang menyatakan pengendalian sudah baik atau belum adalah nilai slip ratio dengan *setpoint* 0,2. Apabila telah mencapai nilai yang ditentukan tersebut maka perancangan dapat dinyatakan selesai. Langkah selanjutnya dilakukan dengan menganalisa hasil keluaran pada pengendalian FTSMC dan dibandingkan dengan penggunaan SMC. Sehingga dapat dilakukan penarikan kesimpulan dari penelitian ini. Setelah itu tahapan penelitian selesai.

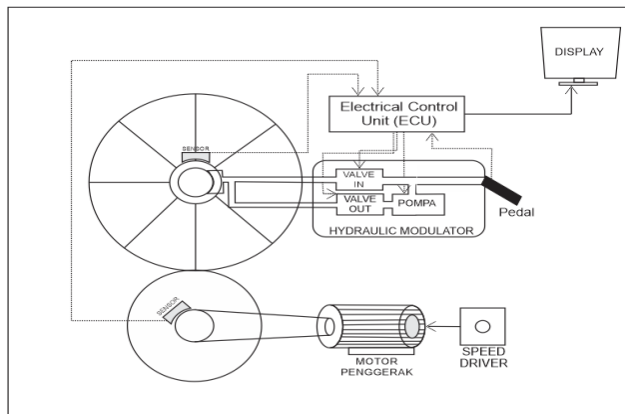
Analisa respon berdasarkan uji performansi sistem dengan kontroller yang sudah ditetapkan dengan melakukan metode *trial and error* dengan menggunakan metode tersebut didapatkan grafik respon yang baik.

### 3.1 Studi Literatur

Pada tahap studi literatur dalam Tugas Akhir ini dilakukan untuk membangun pemahaman awal mengenai apa yang akan dikerjakan dalam penelitian ini. Studi yang dilakukan dengan mengumpulkan literatur yang bersangkutan dengan *antilock braking system* (ABS) yang penerapannya dilakukan pada mobil dengan pengereman konvensional, kemudian dilanjutkan dengan komponen-komponen yang membangun sistem pengereman, teori pengendalian SMC, dan observer berupa *fault tolerant control*. Kemudian dipelajari mengenai cara melakukan pemrograman menggunakan *software Labview*. Tahap ini dilakukan supaya memudahkan penerapan sistem kontrol yang akan dibangun dalam sistem kontrol pada ABS *plant*.

### 3.2 Rancang Bangun Plant ABS

Berikut merupakan rancangan plant yang digunakan untuk mensimulasikan sistem pengereman.



**Gambar 3.2** Skema plant anti-lock braking system (Haryo Arif,2019)

Pada penelitian ini dibangun sebuah *plant* dengan penggunaan sebuah roda atau dimaksud dengan *Quarter Car Model*. Terdapat beberapa komponen utama dalam pembuatan *plant* diantaranya adalah dua buah sensor kecepatan dalam hal ini sensor yang digunakan adalah *proximity* sensor, selanjutnya digunakan dua buah *solenoid valve*, sebuah pompa yang merupakan kesatuan dari *hydraulic modulator* dan *electrical control unit* yang menggunakan NI DAQ 6001 yang berfungsi sebagai pengendali dari sistem ABS.

Gambar 3.2 merupakan skema keseluruhan dari *plant anti-lock braking system*. *Plant* mulai berjalan ketika *speed driver* menjalankan roda sehingga menghasilkan kecepatan putar 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.

Adapun sensor *proximity* bekerja dengan cara menghasilkan nilai *high* dan *low*. Nilai *high* akan dihasilkan dalam keadaan normal ketika tidak ada masukan dari *signal trigger*, kemudian nilai *low* akan dihasilkan ketika ring besi yang berada pada roda sejajar dengan sensor. Kemudian sinyal yang dihasilkan sensor dikirim ke ECU dalam hal ini NI DAQ 6001, selanjutnya sinyal diolah dengan mengukur frekuensi yang dihasilkan dalam sinyal masukan dengan standar pengukuran 1 detik. Namun ECU merangkum data yang didapat dalam waktu 0,3 detik sehingga untuk mengetahui nilai rpm yang dihasilkan oleh roda maka dilakukan dengan mengalikan hasil frekuensi dengan menyesuaikan waktu yang digunakan dengan pengambilan tiap data.

*Electrical Control Unit* ( ECU ) sangat berperan penting dalam *plant* ini. ECU yang digunakan yaitu mikrokontroler NI DAQ 6001, 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 *Slide Mode Control* (SMC)

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

$$u_{sm} = u_c + u_d \quad (3.1)$$

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 3.2. Sedangkan untuk sinyal kontrol SMC persamaan yang digunakan dapat dilihat pada persamaan (3.3).

$$u_d = \frac{1}{B(Vx)} K_{sw} \text{sign}(s) \quad (3.2)$$

Dimana  $B(Vx)$  didefinisikan sebagai

$$B(Vx) = \frac{1}{V_x} \frac{r_\omega}{J_\omega} \quad (3.3)$$

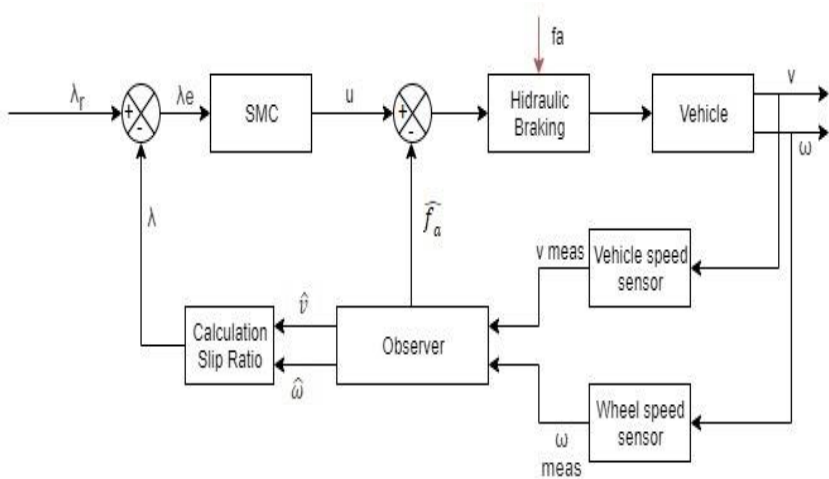
$K_{sw}$  merupakan *gain* kontrol dan  $s$  merupakan *sliding surface*. Sehingga *sliding surface* dapat didefinisikan sebagai

$$s = \lambda_e \quad (3.4)$$

Fungsi signum ( $sgn$ ) didefinisikan sebagai persamaan berikut:

$$sgn(s) = \begin{cases} 1 & s > 0 \\ -1 & s < 0 \end{cases} \quad (3.5)$$

### 3.4 Perancangan *Fault Tolerant Control*



**Gambar 3.3** Diagram Blok Perancangan FTC

Perancangan sistem *fault tolerant control* (FTC) dilakukan dengan mendesain Observer menggunakan parameter variabel pengukuran berupa kecepatan dari putaran roda dan kecepatan dari kendaraan yang diukur menggunakan sensor wheel speed. Tujuan

dari perancang yaitu untuk membandingkan performansi kontrol yang telah diberikan kesalahan dan bagaimana rekonfigurasi yang dapat dilakukan oleh suatu sistem apabila diberikan kesalahan pada aktuator. Diagram blok dari sistem observer dengan adanya kesalahan pada aktuator dan sensor ditunjukkan pada gambar 3.3.

### 3.5 Perancangan Observer

Pada sistem ABS, terdapat dua sensor yang digunakan, yaitu wheel speed sensor dan vehicle speed sensor. Kedua nilai hasil pengukuran ini menentukan perhitungan slip ratio dari kendaraan. Dengan demikian, kesalahan pada kedua sensor ini dapat mengakibatkan memburuknya respon sistem kontrol. Meskipun SMC merupakan robust controller, namun kesalahan sensor yang dapat diakomodasi oleh kontroler ini terbatas nilainya sesuai tingkat ketidakpastian yang ditentukan. Tugas akhir ini mengajukan pendekatan observer untuk memberikan estimasi dari nilai pengukuran yang benar.

Perancangan *observer* digunakan untuk mengestimasi kesalahan aktuator saat terjadi pengereman. Perancangan dimulai dengan mengubah fungsi alih dari kecepatan, gerak rotasi dan persamaan torsi kedalam bentuk *state space* sebagai berikut:

Kecepatan kendaraan didefinisikan sebagai berikut:

$$-F_x = m\dot{V} \quad (3.61a)$$

$$\dot{V} = -F_x/m \quad (3.61b)$$

Model gerak rotasi didefinisikan sebagai berikut:

$$F_x r - T_b = J\dot{\omega} \quad (3.62a)$$

$$\dot{\omega} = (F_x r - T_b)/J \quad (3.63b)$$

Persamaan dinamik torsi hidrolik dituliskan :

$$T_b = T_h$$

$$\frac{T_h(s)}{T_{hf}(s)} = \frac{1}{\tau_h s + 1}$$

$$\frac{T_h(s)}{T_{hf}(s)} = \frac{1}{0,01s + 1}$$

$$T_h(s).0,01s + T_h(s) = T_{hf}(s)$$

$$T_h(s).0,01s = T_{hf}(s) - T_h(s)$$

$$T_h(s) = 100 T_{hf}(s) - 100 T_h(s) \quad (3.63)$$

Dari ketiga persamaan (3.61b), (3.62b) dan (3.63) dengan mendefinisikan state sistem adalah  $\dot{V}$ ,  $\dot{\omega}$ , dan  $T_b$  diperoleh bentuk *state space* sistem adalah sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \dot{V} \\ \dot{T}_b \\ \dot{\omega} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & -100 & 0 \\ 0 & -1/J & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V \\ T_b \\ \omega \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 100 \\ 0 \end{bmatrix} u + \begin{bmatrix} -1/m & 0 \\ 0 & 100 \\ r/J & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_x \\ f_{ac} \end{bmatrix} \quad (3.64a)$$

Atau dituliskan:

$$\dot{x} = Ax(t) + Bu(t) + Fa. f_a \quad (3.63b)$$

Dengan:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & -100 & 0 \\ 0 & -1/J & 0 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ 100 \\ 0 \end{bmatrix}$$



$$F_a = \begin{bmatrix} -1/m & 0 \\ 0 & 100 \\ r/J & 0 \end{bmatrix}$$

State output dapat dituliskan :

$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V \\ T \\ \omega \end{bmatrix} \quad (3.29a)$$

Atau bisa ditulis:

$$\dot{y} = Cx(t) + Du(t) \quad (3.29b)$$

Dengan:

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Observer dibangun berdasarkan model plant. Torsi pengereman  $T_b$  bisa diketahui nilainya dari sinyal kontrol, sedangkan gaya friksi  $F_x$  tidak dapat diketahui nilainya. Oleh karena itu,  $F_x$  dianggap sebagai gangguan dan harus diestimasi. Dengan demikian, kondisi observability tidak dapat terpenuhi jika kedua gangguan tersebut diestimasi. Penelitian ini memilih  $F_x$  sebagai variabel yang diestimasi, karena dua alasan. Pertama,  $F_x$  diperlukan untuk mengestimasi vehicle speed . Kedua, kesalahan aktuator dalam roda dapat dianggap sebagai gangguan inersia roda (J) di mana J lebih kecil dari massa kendaraan m, sehingga dampak dari perubahan ini tidak besar. Algoritma observer untuk mengestimasi  $F_x$  dibangun dengan menggunakan struktur PI yaitu kompensator PI digunakan pada tahap observer loop tertutup. Oleh karena itu, observer PI dapat digunakan untuk memperkirakan nilai sebenarnya dari state sistem. Oleh karena itu, observer PI dapat



Kemudian struktur observer dibangun berbasis augmented state space dengan struktur PI dengan gain yang digunakan adalah gain  $K_i$  dan gain  $K_p$  yang didapatkan dengan menggunakan metode lqr, tuning *trial and error*, persamaan observer untuk gerak kendaraan yang berlaku adalah :

$$\dot{\hat{V}} = \frac{1}{m}(-\hat{F}_x + P_v(z - \hat{z})) \quad (3.33)$$

$$\dot{\hat{f}}_{ac} = K_{iv}(z - \hat{z}) \quad (3.34)$$

$$\dot{\hat{z}} = A_z(\hat{V} + \hat{f}_{sv} - z) + K_{iv}(z - \hat{z}) \quad (3.35)$$

Persamaan (3.32) sampai (3.33) dituliskan kembali :

$$\dot{\hat{\omega}} = \frac{1}{J}(-\widehat{Tb} + P_\omega(\omega_{meas} - \hat{\omega}) + \widehat{Fx}.r)$$

$$\dot{\hat{V}} = \frac{1}{m}(-\hat{F}_x + P_v(z - \hat{z}))$$

$$\dot{\hat{z}} = A_z(\hat{V} + \hat{f}_{sv} - z) + K_{iv}(z - \hat{z})$$

$$\dot{\hat{T}}_h = -100\widehat{Tb} + 100(T_{hdem} + P_{Tb}(T_h - \hat{T}_h)) + \hat{f}_{ah}$$

Sehingga persamaan state space observer dapat ditulis:

$$\begin{aligned} \dot{\hat{x}} = \begin{bmatrix} \dot{\hat{\omega}} \\ \dot{\hat{V}} \\ \dot{\hat{z}} \\ \dot{\hat{T}}_h \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & -1/J \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & A_z & -A_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -100 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\omega} \\ \hat{V} \\ \hat{z} \\ \hat{T}_h \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 100 \end{bmatrix} T_{hdem} \\ &+ \begin{bmatrix} r/J & 0 \\ -1/m & 0 \\ 0 & P_z \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_x \\ f_{ac} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} P_\omega/J & 0 \\ 0 & P_v/m \\ 0 & K_{iz} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_\omega \\ e_{Tb} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Dengan:

$$\begin{aligned}
 A_a &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & -1/J \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & A_z & -A_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -100 \end{bmatrix} \\
 \widehat{X}_a &= \begin{bmatrix} \widehat{\omega} \\ \widehat{V} \\ \widehat{z} \\ \widehat{T}_h \end{bmatrix} \\
 B_a &= \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 100 \end{bmatrix} \\
 E_a &= \begin{bmatrix} r/J & 0 \\ -1/m & 0 \\ 0 & P_z \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \\
 \widehat{F}_a &= \begin{bmatrix} \widehat{F}_x \\ \widehat{f}_{ah} \end{bmatrix} \\
 K_P &= \begin{bmatrix} P_\omega/J & 0 \\ 0 & P_V/m \\ 0 & K_{iz} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \\
 \dot{\hat{y}} &= C_a \widehat{X}_a \tag{3.4}
 \end{aligned}$$

$$\dot{\hat{y}} = \begin{bmatrix} \dot{\widehat{\omega}} \\ \dot{\widehat{T}}_h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \widehat{\omega} \\ \widehat{V} \\ \widehat{z} \\ \widehat{T}_h \end{bmatrix}$$

Dengan :

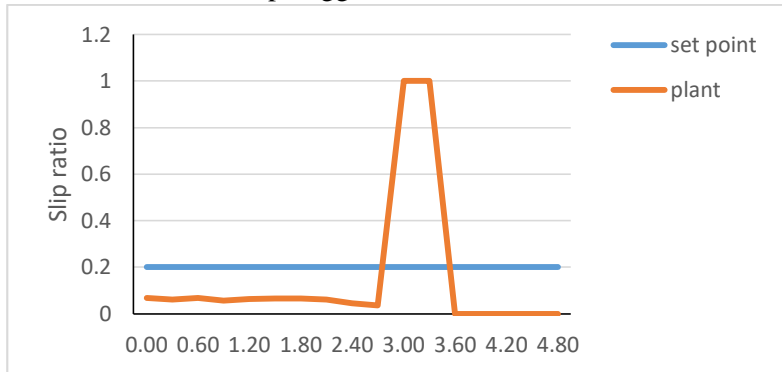
$$C_a = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Uji Pemodelan *Antilock Braking System*

Pengujian dilakukan pada loop terbuka dengan menggunakan *software* Labview yang kemudian data pembacaan dan hasil pengolahannya disimpan dalam file excel.

Pada Gambar 4.1 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.



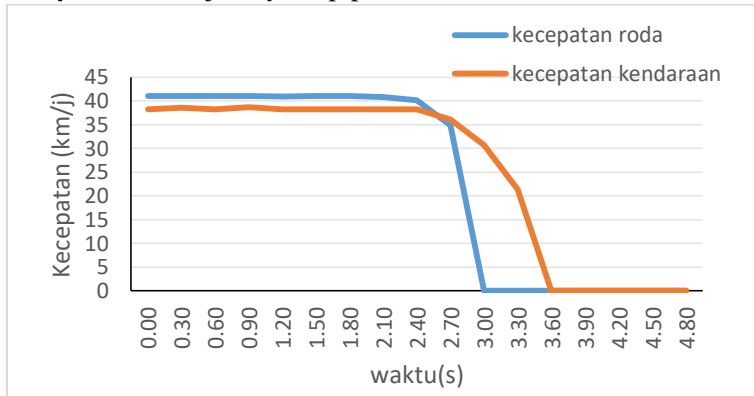
**Gambar 4.1** Respon *Slip Ratio* Uji *Open Loop*

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*) = 0,3 dikarenakan pembacaan sensor kecepatan pada plat ini bagus pada saat *time sampling* 0,3.

Pada saat digunakan time sampling 0,2 - 0,1 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  $T_s = 0,3$  dengan pembacaan data 1 detik sebanyak 3 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 4.2 merupakan data kecepatan yang diambil dari uji open loop. Pada grafik terlihat bahwa roda yang melaju dengan kecepatan 35km/jam sudah mengalami *locking* hal ini menyebabkan terjadinya slip pada ban.

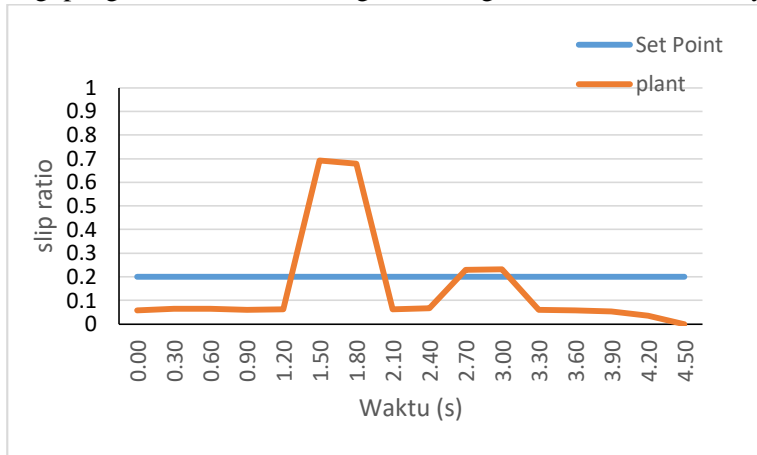


**Gambar 4.2** Respon Kecepatan Uji *Open Loop*

#### 4.2 Uji *Closed Loop* Menggunakan Sistem Kontrol PISMIC

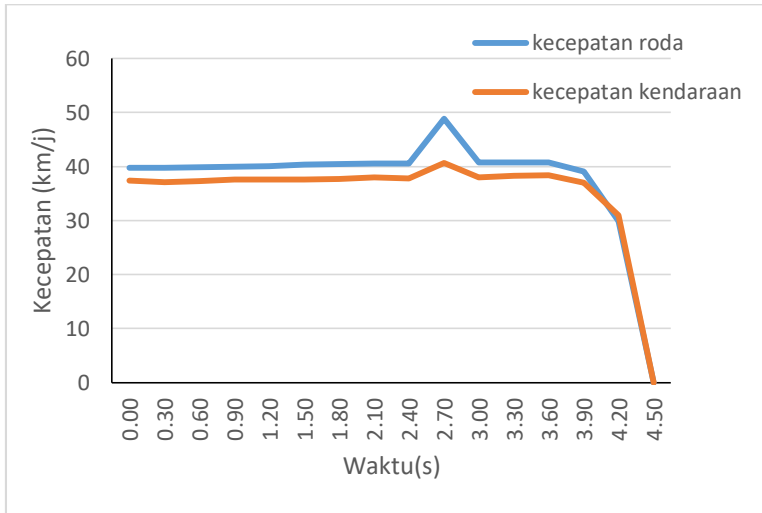
Tujuan dari pengujian *closed loop* ini sendiri untuk meninjau respon yang dihasilkan sistem setelah adanya pengendalian proporsional integral Slide Mode Control terhadap *slip ratio*. Dengan harapan nilai *slip* stabil dinilai 20% atau 0,2. Gambar 4.3 respon yang yang dihasilkan ketika adanya pengereman. Percobaan

dilakukan dengan  $K_p$  0.5 ,  $K_i$  0,02 dan  $K_{sw}$  sebesar 0,005. Pada detik ke 1.2 dilakukan pengereman sehingga slip ratio naik hingga mencapai 62 %, 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 4.3** Respon Slip Ratio PISM

Seiring aksi yang diberikan untuk menjaga slip diangka 0,2 maka slip turun ke angka 0,22 namun respon yang dihasilkan masih cukup stabil hingga kendaraan berhenti pada detik ke 4,5 Pengendalian dikatakan baik pada sistem ini ketika nilai *slip* mendekati set point dan waktu pengereman sesingkat – singkatnya. Gambar 4.4 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. Adanya ABS membuktikan bahwa kecepatan roda dapat dikendalikan menyesuaikan dengan kecepatan kendaraan sehingga dapat meningkatkan kemampuan pengemudi untuk mengendalikan kendaraannya.



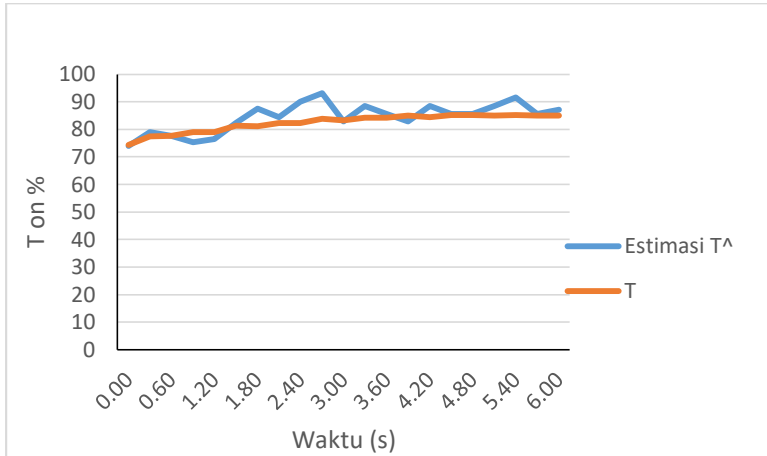
**Gambar 4.4** Respon Kecepatan PISMC

### 4.3 Uji Observer FTSMC

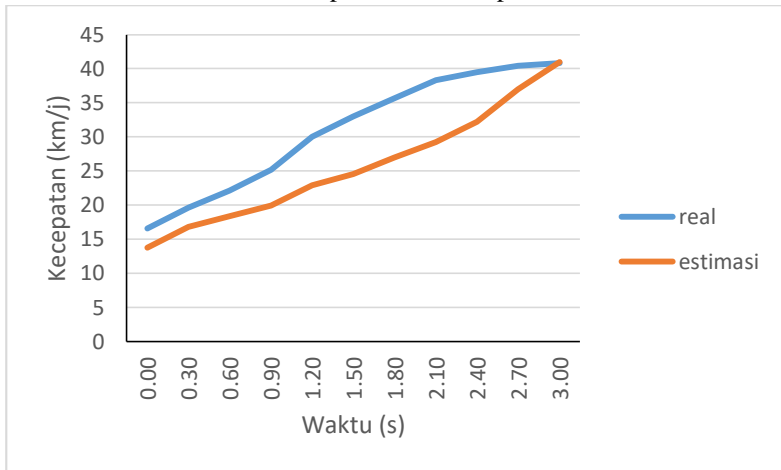
Selanjutnya setelah melakukan perancangan observer maka sebelum diterapkan hasilnya maka dilakukan uji software dengan menggunakan *software* Labview.

Langkah awal yang dilakukan adalah dengan melakukan pengecekan nilai estimasi pada state yang telah ditentukan yaitu kecepatan dan juga torsi pengereman. Torsi pengereman di gambarkan dalam bentuk nilai dari persen sinyal PWM. Pada gambar 4.5 diuji observer untuk mengestimasi nilai tbat pada kecepatan maksimal yaitu 40 km/jam. Kemudian dilakukan pula uji dengan kasus yang hamper sama pada nilai kecepatan yang dihasilkan. Pada gambar 4.6 dilakukan pengujian untuk mengestimasi kecepatan sesuai dengan inputan berupa torsi pengereman.





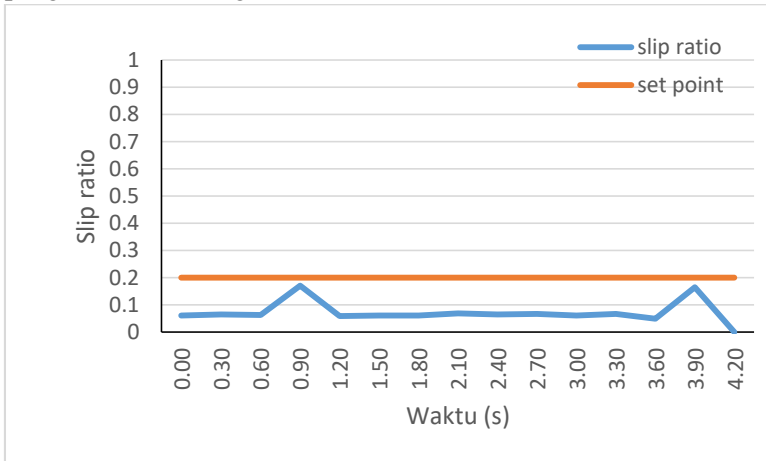
**Gambar 4.5** Respon Estimasi  $\hat{T}$  pada Observer



**Gambar 4.6** Respon Estimasi Kecepatan

Langkah selanjutnya dilakukan dengan melakukan uji kesalahan dengan menguji kesalahan pemberian sinyal kontrol dalam skala persenan yang telah ditentukan sebelumnya sehingga dengan penggunaan FTSMC, nantinya sinyal kontrol yang dikeluarkan dihasilkan oleh aktuator adalah sinyal kontrol yang tepat untuk mencapai setpoint.

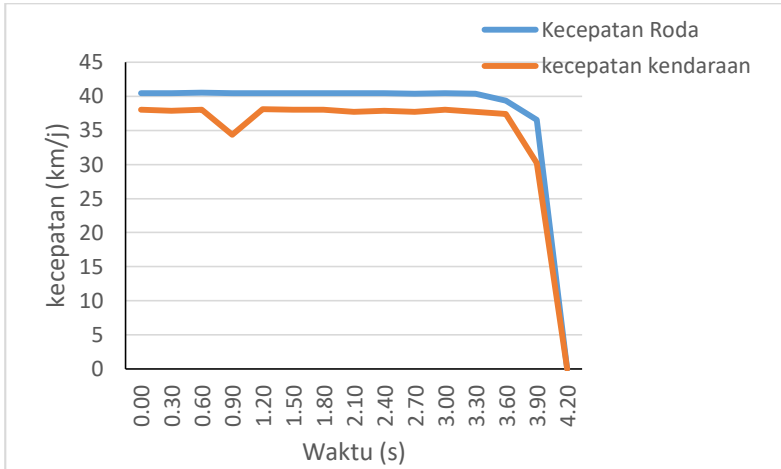
Selanjutnya dilakukan pengujian dengan kesalahan dalam nilai persen yaitu sebesar 1%, 2%, 10%, 20%. Kemudian didapatkan hasil berupa slip ratio yang yang dibandingkan dengan set point, dan nilai kecepatan kendaraan dibandingkan dengan kecepatan roda. Pada percobaan pertama dilakukan dengan kesalahan sebesar 1% kemudian dilakukan pengereman sehingga didapatkan data pengereman sesuai gambar 4.7.



**Gambar 4.7** Respon *Slip Ratio* dengan Kesalahan 1%

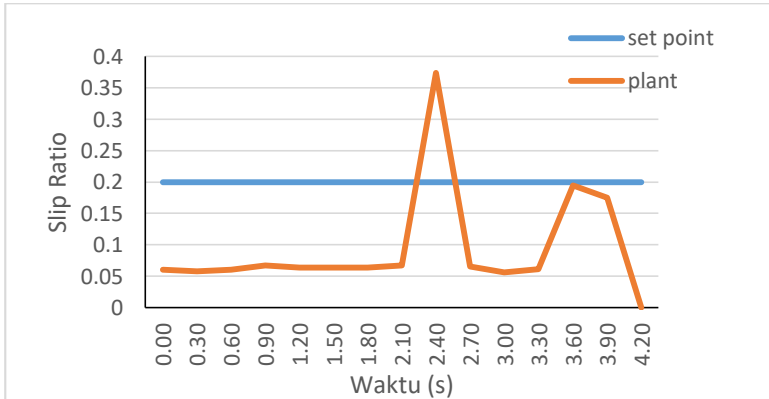
Pada pemberian kesalahan dengan nilai satu persen dapat dilihat dalam table 4.7 terlihat bahwa nilai slip ratio berusaha dijaga oleh kontroler, dimana dapat dilihat dengan nilai slip yang didapat pada waktu 0.9 detik nilai slip berada pada angka 0.17 dan pada detik 3.9 dengan angka 3.9.

Kemudian pada gambar 4.8 dilihat perbandingan nilai kecepatan kendaraan dan kecepatan roda. Pada data tersebut dapat dilihat dengan pemberian kesalahan sebesar 1%, kontroler dapat melakukan pengereman dengan baik dimana terlihat bahwa roda dapat berhenti tepat bersamaan dengan putaran mesin yang berputar. Hal ini mengindikasikan dengan penggunaan FTSMC pada kesalahan 1% dapat meminimalisasi kesalahan.



**Gambar 4.8** Respon Kecepatan dengan Kesalahan 1%

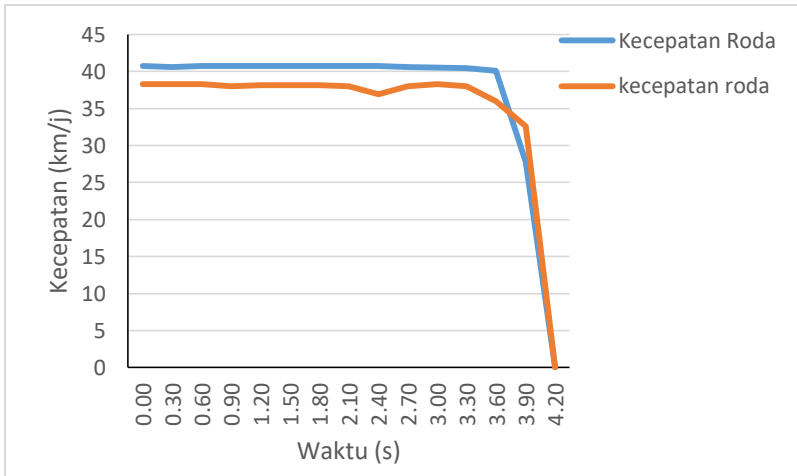
Kemudian dilakukan pengujian dengan kesalahan aktuator sebesar 2% kemudian dilakukan pengujian pengereman sehingga didapatkan data slip ratio sesuai dengan gambar 4.9. Pada gambar tersebut dapat dilihat kontroler dapat menjaga slip ratio pada detik ke 2.4 dengan nilai 0.33 dan pada detik 3.6-3.9 dengan nilai 0.19.



**Gambar 4.9** Respon *Slip Ratio* dengan Kesalahan 2%

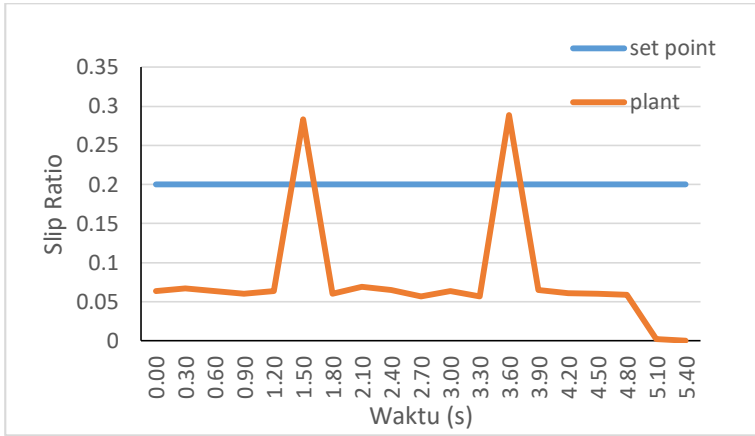
Selanjutnya pada gambar 4.10 dapat dilihat bahwa respon kontroler membuat roda dan putaran mesin berhenti pada waktu yang

bersamaan. Sehingga dalam hal ini dapat dikatakan bahwa FTSMC dapat melakukan pengontrolan dengan baik pada kesalahan aktuator 2%.



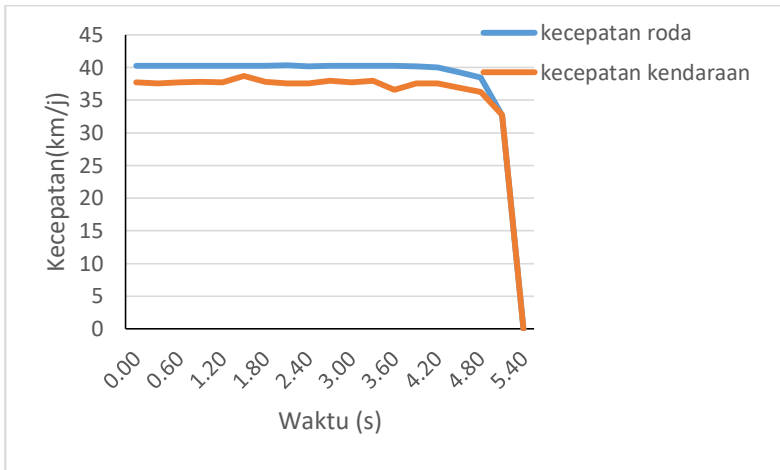
**Gambar 4.10** Respon Kecepatan dengan Kesalahan 2%

Selanjutnya dilakukan pengujian pada nilai kesalahan 10%, pada gambar 4.11 dapat dilihat hasil pengujian pengereman yang digambarkan dalam nilai slip ratio. Dapat dilihat pada detik ke 1,5 dan detik ke 3.6 keduanya mendekati nilai slip ratio pada rentang set point yaitu nilai masing masing hampir sama yaitu pada nilai 0.28. Hasil tersebut merupakan respon sensor yang mengakibatkan sistem mendekati angka yang telah ditentukan yaitu sebesar 0,2. Hal ini dapat membuktikan bahwa pada sistem ini ban tidak mengalami slip dimana kendaraan berhenti pada detik 4.8s.



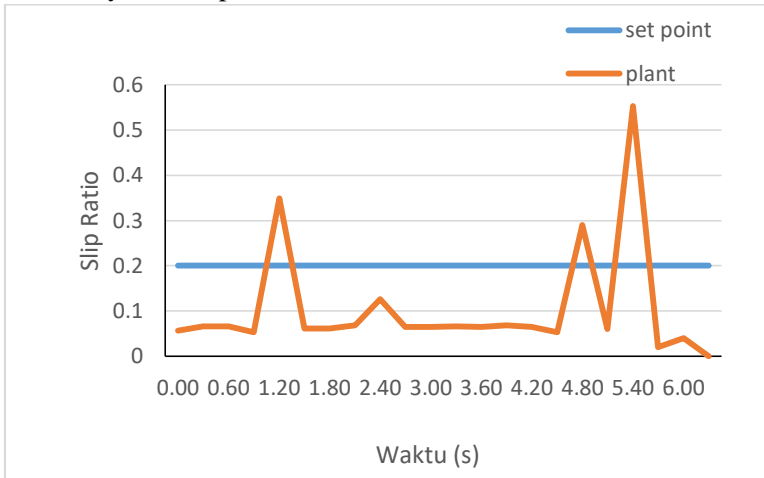
**Gambar 4.11** Respon *Slip Ratio* dengan Kesalahan 10%

Sementara pada gambar 4.12 didapatkan hasil besaran kecepatan dengan perbandingan antara nilai kecepatan roda dan juga kecepatan kendaraan. Terlihat disini bahwa roda dapat berhenti sesuai dengan saat putaran kendaraan berhenti. Hal ini menandakan bahwa roda tidak mengalami slip dengan penambahan kesalahan 10% pada aktuator.



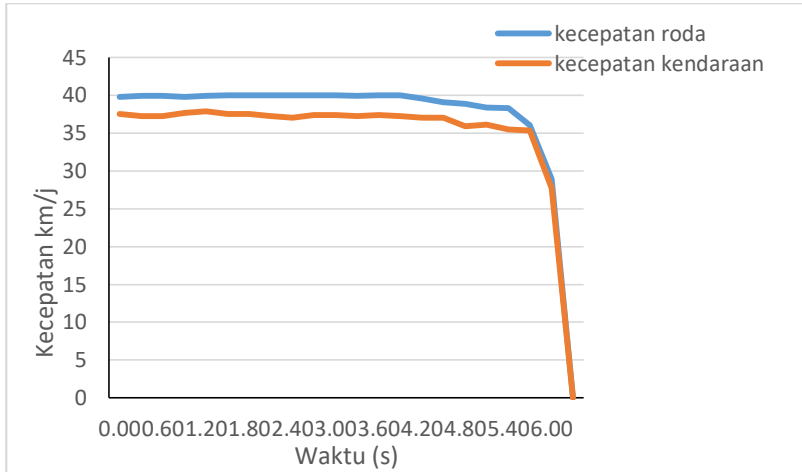
**Gambar 4.12** Respon Kecepatan dengan Kesalahan 10%

Kemudian dilakukan pengujian dengan penambahan kesalahan pada katuator sebesar 20%. Data digambarkan dengan garfik slip ratio pada gambar 4.13. Pada gambar tersebut terlihat bahwa pada detik ke 1,2 dan 4.8 kontroler berusaha menyesuaikan nilai slip ratio pada angka 0,2 namun pada detik ken 4,8 nilai slip ratio hanya mencapai 2.9.



**Gambar 4.13** Respon *Slip Ratio* dengan Kesalahan 20%

Sementara pada gambar 4.14 diperlihatkan respon kecepatan yang dihasilkan dari uji pada kesalahan aktuator 20%. Didapatkan data pada gambar 4.14 yaitu, pada data tersebut kendaraan berhenti untuk waktu yang cukup lam yaitu pada waktu 6 detik. Hal ini kurang diharapkan dimana untuk sebuah sistem keamanan maka pengerman dilakukan untuk menghasilkan jarak yang pendek dan waktu yang cepat tanpa adanya slip. Pada ban sesuai dengan gambar 4.13 tidak mengalami slip dimana nilai slip ratio paling tinggi yang dicapai adalah 0.57. Maka diketahui bahwa kontroler masih dapat menjaga nilai slip ratio namun sudah tidak sebaik sebelumnya.



**Gambar 4.14** Respon Kecepatan FTSMC Kesalahan 20%

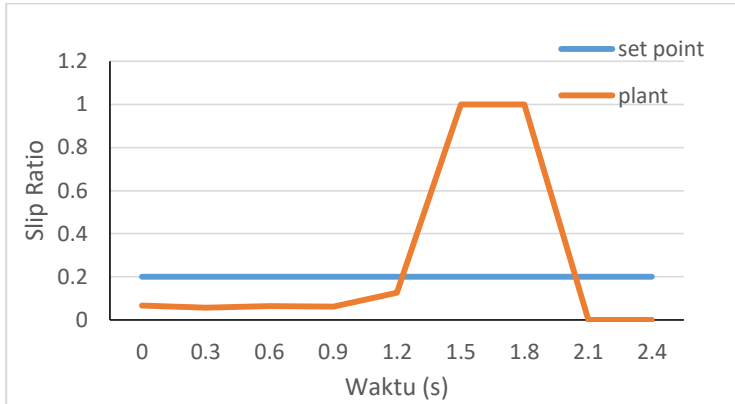
Setelah dilakukan beberapa pengujian pada sistem kontrol FTSMC didapatkan data mengenai kemampuan sistem dalam melakukan kontrol dengan tambahan kesalahan pada aktuator sebagai berikut:

**Tabel 4.1** Hasil Uji Kesalahan Aktuator

Kesalahan Bias Aktuator	<i>Maximum Overshoot</i>	Waktu Berhenti
1%	5 %	3,3 s
2%	65%	2,1 s
10%	40 %	4,2 s
20%	175%	5,4 s

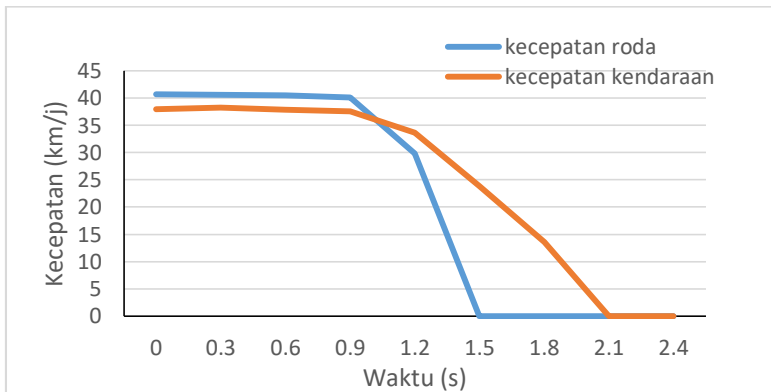
#### 4.4 Uji PISMC dengan Kesalahan

Kemudian dilakukan pengambilan pada jenis penggunaan kontrol PISMC dengan kesalahan 10% sehingga kemudian didapatkan hasil sebagai berikut. Pada gambar 4.15 terlihat bahwa roda mengalami penguncian pada detik ke 1,5, walau sebelumnya pada detik 1,2s nilai slip ratio berada pada nilai 0.127. Namun selanjutnya ban mengalami keadaan terkunci lalu berhenti.



**Gambar 4.15** Respon *Slip Ratio* dengan Kesalahan 10%

Hasil respon yang sama juga ditunjukkan pada gambar 4.16 dimana nilai kecepatan roda berhenti terlebih dahulu dibandingkan kecepatan kendaraan. Sehingga membuat roda dalam keadaan terkunci.



**Gambar 4.16** Respon Kecepatan dengan Kesalahan 10%



Berikut merupakan data perbandingan antara penggunaan FTSMC dan PISMIC.

**Tabel 4.2** Data perbandingan penggunaan FTSMC dan PISMIC

Kontroler	Kesalahan Bias pada Aktuator	Maksimum Slip Ratio	Waktu Berhenti
PISMIC	10%	1	2,4
FTSMC	10%	0,28	4,3

Pada table 4.2 terdapat perbandingan antara penggunaan FTSMC dan PISMIC pada pemberian kesalahan 10% pada aktuator. Terlihat bahwa dalam penggunaan PISMIC *slip ratio* maksimum yang dicapai adalah 1 hal ini mengindikasikan bahwa roda dalam keadaan terkunci dan terjadi selip pada roda. Kemudian pada penggunaan FTSMC maksimum slip ratio yang dicapai adalah 0,28 dari *set point* yang diberikan 0,2. Pada penggunaan FTSMC roda tidak mengalami selip dan nilai *slip ratio* masih dapat mendekati *set point*.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisa data yang telah ditunjukkan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan mengenai hasil pengujian open loop, closed loop dengan PISMIC dan menggunakan FTSMC sebagai berikut:

1. Observer yang dirancang pada *plant Antilock Braking System* berguna mereduksi kesalahan yang diberikan pada aktuator. Sensor yang digunakan pada sistem mempunyai nilai *time sampling* 0,3s. Sistem motor berputar dengan kecepatan maksimal yang bisa dicapai yaitu 40km/j. Pada pengujian kesalahan 1% overshoot yang dihasilkan adalah sebesar 0,3% dengan waktu berhenti 4,2 s. Pada pengujian kesalahan 2% overshoot yang dihasilkan adalah sebesar 1.8% dengan waktu berhenti 4,2s. Sementara dengan kesalahan 10% didapatkan data overshoot 0,7% dan waktu berhenti 5,4s. Kemudian pada pengujian kesalahan aktuator pada nilai 20% didapatkan data overshoot 3,7% dengan waktu berhenti 6s.
2. Penggunaan FTSMC pada plant ABS dapat mereduksi kesalahan terbukti dengan nilai maksimum slip rasio yang didapat adalah senilai 0,28 sementara dengan penggunaan PISMIC nilai maksimum yang didapat adalah 1 dimana roda terkunci. PISMIC yang digunakan mempunyai nilai  $K_p=0,5$  dan  $K_i 0,02$

#### **5.2 Saran**

Setelah melaksanakan tugas akhir dengan tema ABS, maka ada beberapa hal yang dapat disarankan sebagai berikut

1. untuk kontrol yang lebih baik apabila dibutuhkan variable torsi pengereman maka harus ditambahkan sensor untuk membaca torsi pengereman.

2. Pompa yang ada pada plant harus dipasang dengan baik hal ini harus dilakukan karena akan mempengaruhi kualitas pengereman apabila terjadi bocor.

## 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
- ESDM, K. E. (2014). Analisis dan Evaluasi Data JODI Oil Semester1-2014. 7.
- Goszczak J, Radzymiński B, Werner A, Pawelski Z. (2017) PWM-controlled hydraulic solenoid valves for motor vehicles. The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji. 75(1): 23-37.
- 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.
- Haryo Arif W., Ya'umar. (2019). Rancang Bangun Kontrol Proportional Integral (PI) dan Sliding Mode Control (SMC) pada Anti-Lock Braking System (ABS)
- 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
- 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
- KOMINFO, K. K. (2017, Augst). *Kemntrian Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia*. Retrieved Augst 11, 2019, from <https://kominfo.go.id/content/detail/10368/rata-rata-tiga->

- orang-meninggal-setiap-jam-akibat-kecelakaan-jalan/0/artikel\_gpr
- Kompas. (2017). *Kompas.com*. Retrieved Augst 11, 2019, from <https://otomotif.kompas.com/read/2018/06/25/084200715/china-pimpin-penjualan-mobil-listrik-di-duni>
- 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
- 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.
- National Instrument, (2019), specifications NI USB-6001 low-cost DAQ USB Device, form <http://www.ni.com/pdf/manuals/374369a.pdf>
- Omron, (2019), Technical Explanation for Proximity Sensors, form [https://www.ia.omron.com/data\\_pdf/guide/41/proximity\\_tg\\_e\\_6\\_2.pdf](https://www.ia.omron.com/data_pdf/guide/41/proximity_tg_e_6_2.pdf)
- Ron J Patton (1997) fault-tolerant control systems: the 1997 situation, The University of Hull, School of Engineering. Pp 7
- Statistik, B. P. (2017, Augst). *Badan Pusat Statistik*. Retrieved Augst 11, 2019, from <https://www.bps.go.id/linkTableDinamis/view/id/1133>
- Solyon, S. (2002). *Synthesis of a Model-Based Tire Slip Controller*. Departement of Automotive Control, Lund, Sweden.
- Tabatabaeipour, S. (2011). *Fault Diagnosis and Fault Tolerant Control of Hybrid Systems*.

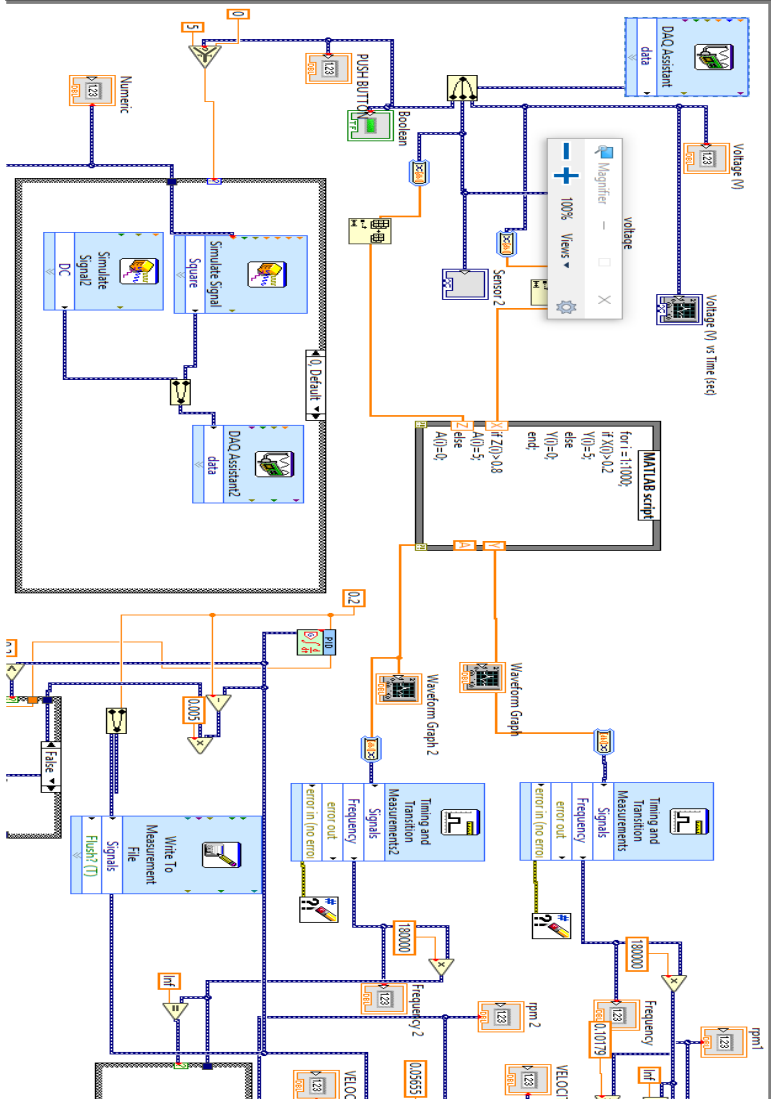
Zhang, L. Y. (2017). Research of Self-Tuning PID for PSMS Vector Control Based on Improved KMTOA" I.J. Intelligent Systems and Applications.

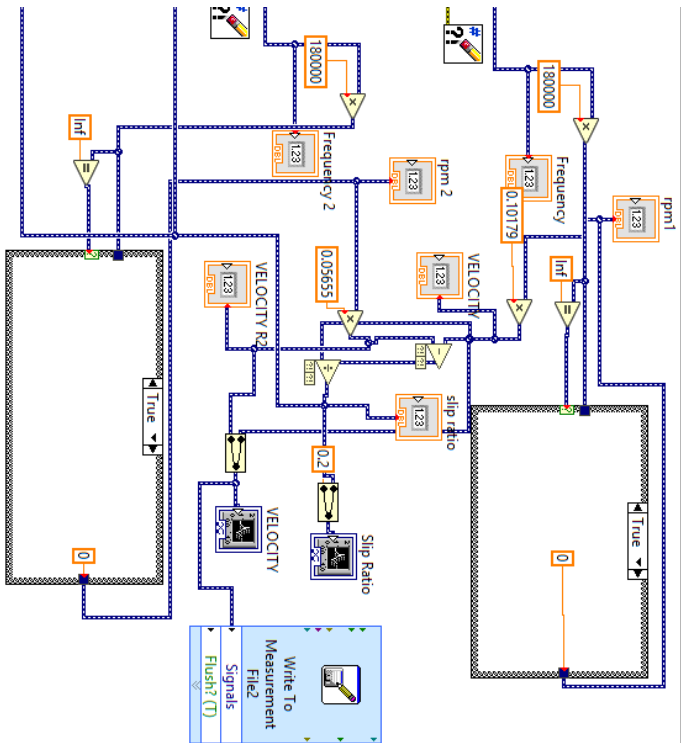
*Halaman ini sengaja dikosongkan*



# LAMPIRAN A

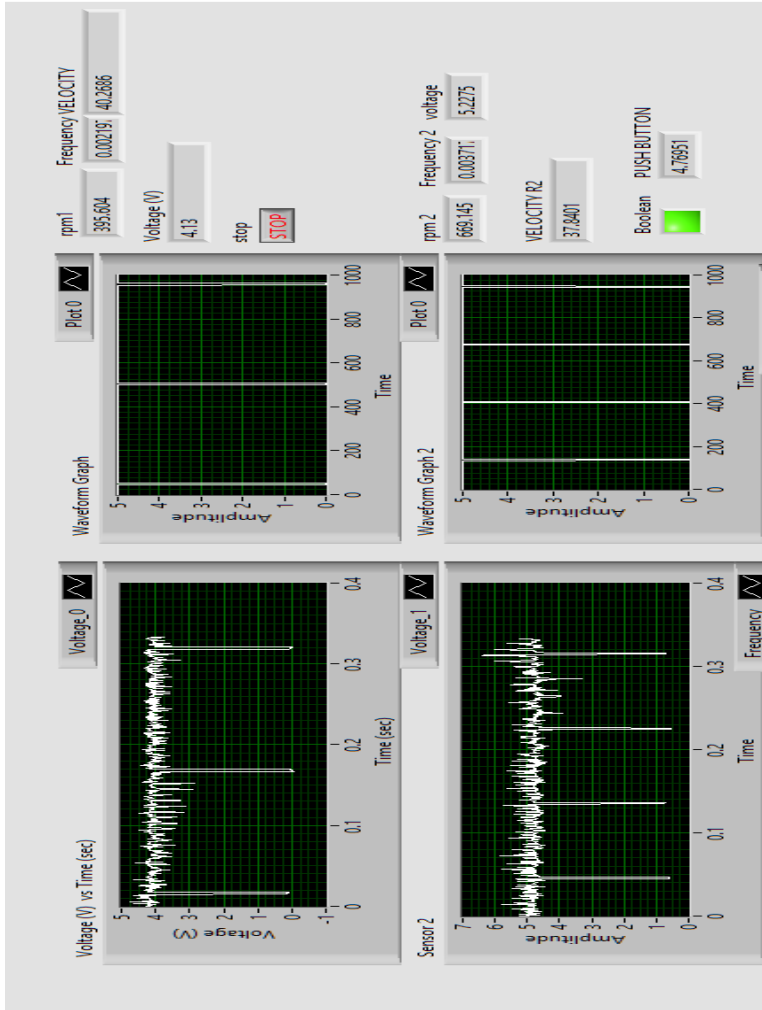
## Code block labview





# LAMPIRAN B

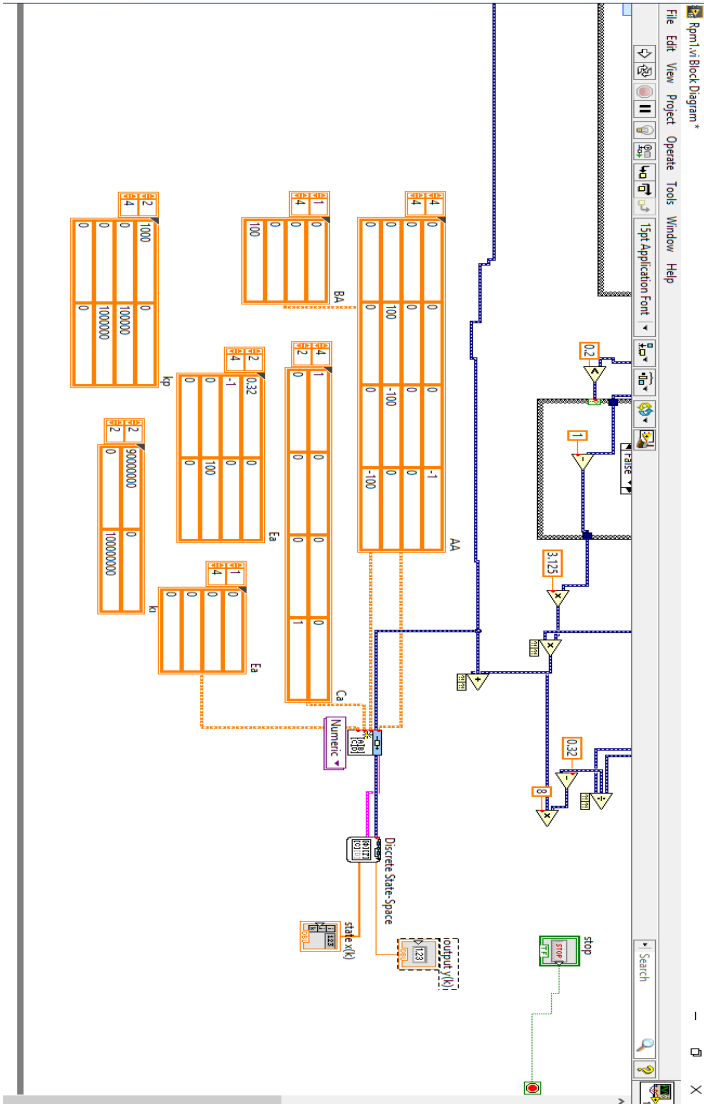
## Tampilan Labview



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# LAMPIRAN C

## Code Block Observer



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BIODATA PENULIS**



Nama Penulis Mohamad Faizul Fikri, dilahirkan di Jakarta, 31 Mei 1998. Riwayat Pendidikan Penulis dimulai dari di SDN 05 Pondok Kopi, Jakarta dan dilanjutkan di SMPN 199 Jakarta kemudian dilanjutkan lagi di SMAN 12 Jakarta dan pada tahun 2016 masuk di prodi S1 Teknik Fisika, Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya hingga sekarang. Apabila terdapat pertanyaan tentang tugas akhir ini maka dapat menghubungi nomor telpon penulis yaitu : dapat melalui email penulis yaitu [mohamadfaizulfikri@gmail.com](mailto:mohamadfaizulfikri@gmail.com)