



TUGAS AKHIR - TF 181801

**RANCANG BANGUN KONTROL  
PROPORSIONAL (P) DAN *SLIDING MODE*  
CONTROL (SMC) PADA *ANTI-LOCK BRAKING*  
SYSTEM (ABS)**

SATRIA PANJI WIBOWO  
NRP. 0231174500027

Dosen Pembimbing:  
Ir. Ya'umar, M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2019

“Halaman ini memang dikosongkan”



**FINAL PROJECT - TF 181801**

**DESIGN OF AN ANTI-LOCK BRAKING  
SYSTEM (ABS) USING PROPORTIONAL(P)  
AND SLIDING MODE CONTROL (SMC)**

SATRIA PANJI WIBOWO  
NRP. 0231174500027

*Supervisor:*  
Ir. Ya'umar, M.T.

**ENGINEERING PHYSICS DEPARTMENT**  
*Faculty of Industrial Technology*  
*Sepuluh Nopember Institute of Technology*  
*Surabaya*  
**2019**

“Halaman ini memang dikosongkan”

## **PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Satria Panji Wibowo  
NRP : 02311745000027  
Departemen/Prodi : Teknik Fisika/S1 Teknik Fisika  
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri  
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Rancang Bangun Kontrol Proporsional (P) dan *Sliding Mode* (SMC) pada *Anti-Lock Braking System* (ABS)” adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 20 Juli 2019

Yang membuat pernyataan,



Satria Panji Wibowo

NRP. 02311745000027

“Halaman ini memang dikosongkan”

**LEMBAR PENGESAHAN I  
TUGAS AKHIR**


**RANCANG BANGUN KONTROL PROPORSIONAL (P)  
DAN SLIDING MODE CONTROL (SMC) PADA ANTI -  
LOCK BRAKING SYSTEM (ABS)**

Oleh:

**Satria Panji Wibowo**  
**NRP.02311745000027**

**Surabaya, 20 Juli 2019**

**Menyetujui,  
Pembimbing I,**

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

**Mengetahui,  
Kepala Departemen  
Teknik Fisika FTI-ITS**



**Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.**  
**NIP.19780902 200312 1 002**

“Halaman ini memang dikosongkan”



**RANCANG BANGUN KONTROL PROPORSIONAL (P)  
DAN SLIDING MODE CONTROL (SMC) PADA ANTI-  
LOCK BRAKING SYSTEM (ABS)**

**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:

**SATRIA PANJI WIBOWO**  
**NRP.02311745000027**

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**  
**Juli, 2019**

“Halaman ini memang dikosongkan”

**RANCANG BANGUN KONTROL PROPORSIONAL (P)  
DAN *SLIDING MODE CONTROL* (SMC) PADA ANTI-  
LOCK BRAKING SYSTEM (ABS)**

**Nama** : Satria Panji Wibowo  
**NRP** : 02311745000027  
**Departemen** : Teknik Fisika FTI-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Ir. Ya'umar, M.T.

**ABSTRAK**

Keamanan menjadi salah satu prioritas yang penting di pertimbangkan dalam berkendara. Salah satu faktor keamanan dalam suatu kendaraan adalah sistem pengereman pada kendaraan tersebut. Dewasa ini, dengan berkembangnya teknologi banyak dilakukan penelitian mengenai sistem pengereman andal yang dapat meminimalisir terjadinya kecelakaan akibat sistem pengereman yang kurang baik, salah satunya *anti-lock braking system* (ABS). ABS memungkinkan roda kendaraan tidak terkunci ketika terjadi pengereman yang keras sehingga kendaraan tetap bisa stabil dikendalikan. Performansi ABS ditentukan dari sistem pengendalian yang digunakan pada ABS tersebut. Ada dua metode pengendalian yang akan digunakan pada penelitian ini, yaitu pengendalian proporsional (P) dan *sliding mode control* (SMC). Hasil dari penelitian ini adalah sistem tanpa ABS menyebabkan *slip ratio* bernilai 100 % dan roda terkunci pada waktu ke 1,5 detik setelah pengereman dan berhenti pada waktu ke 3 detik. Dengan menggunakan pengendalian proporsional (P) dengan nilai  $k_p$  sebesar 1,24 menghasilkan *overshoot* sebesar 60,81 % dan sistem berhenti pada waktu ke 5,5 detik sedangkan untuk pengendalian *sliding mode control* (SMC) menghasilkan *overshoot* sebesar 48,35 % dan sistem berhenti pada waktu ke 8 detik.

**kata kunci** : *anti-lock braking system, proportional (P) control, sliding mode control* (SMC)

“Halaman ini memang dikosongkan”

# ***DESIGN OF AN ANTI-LOCK BRAKING SYSTEM (ABS) USING PROPORTIONAL (P) AND SLIDING MODE CONTROL (SMC)***

***Name*** : ***Satria Panji Wibowo***  
***NRP*** : ***02311745000027***  
***Departement*** : ***Teknik Fisika FTI-ITS***  
***Supervisors*** : ***Ir. Ya'umar, M.T.***

## ***ABSTRACT***

*Safety is one of the important priorities to consider when driving. One of the safety factors in a vehicle is the braking system in that vehicle. Nowadays, with the development of technology, many studies have been carried out on reliable braking systems that can minimize the occurrence of accidents due to poor braking systems, one of which is an anti-lock braking system (ABS). ABS allows the vehicle wheels not to be locked when hard braking occurs so that the vehicle can still be stable controlled. ABS performance is determined by the control system used on the ABS. There are two control methods that will be used in this study, proportional control (P) and sliding mode control (SMC). The result of this study is that a system without ABS causes the slip ratio reach 100% and the wheel is locked at 1.5 seconds after braking and stops at 3 seconds. By using proportional (P) control with a value of  $k_p$  is 1.24 , the overshoot of the system is 60.81 % and the system stopped at 5.5 seconds and by using sliding mode control (SMC) the overshoot of the system is 48.35% and the system stopped at 8 seconds.*

***keywords: anti-lock braking system (ABS), proportional (P) control, sliding mode control (SMC)***

“Halaman ini memang dikosongkan”

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya, serta shalawat serta salam kepada Nabi Muhammad SAW, hingga terselesaikannya tugas akhir beserta laporan yang berjudul.

### **RANCANG BANGUN KONTROL PROPORSIONAL (P) DAN *SLIDING MODE CONTROL* (SMC) PADA *ANTI- LOCK BRAKING SYSTEM* (ABS)**

Penulis telah banyak memperoleh bantuan dari berbagai pihak dalam penyelesaian tugas akhir dan laporan Tugas Akhir ini. Penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D. selaku ketua departemen teknik fisika yang telah memberikan petunjuk, ilmu, serta bimbingan selama menempuh pendidikan di teknik fisika.
2. Bapak Ir. Ya'umar, M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan ilmu, nasihat serta bimbingan yang sangat bermanfaat.
3. Ibu Dr. Katherin Indriawati, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing dan kepala Lab. Fisika Rekayasa yang juga telah dengan sabar memberikan petunjuk, ilmu serta bimbingan yang sangat bermanfaat.
4. Ibu Lizda Johar Mawarni, S.T., M.T. Selaku dosen wali yang telah membimbing penulis selama perkuliahan.
5. Kedua orang tua, kakak, adik dan keluarga. Terimakasih atas segala cinta, kasih sayang, doa, perhatian serta dukungan moril dan materiil yang telah diberikan.

6. Seluruh teman-teman LJ Teknik Fisika 2017 terima kasih untuk semuanya yang setia menemani dari awal perkuliahan hingga saat ini.
7. Seluruh temen-teman, kakak-kakak dan adik-adik anggota Laboratorium Fisika Rekayasa yang 6 bulan terakhir menemani hari-hari penulis di laboratorium.
8. Seluruh dosen, karyawan dan civitas akademik Teknik Fisika, terimakasih atas segala bantuan dan kerjasamanya.
9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terimakasih atas bantuannya.

Penulis sadar bahwa penulisan laporan tugas akhir ini tidak sempurna, namun semoga laporan ini dapat memberikan kontribusi 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, 20 Juli 2019

Penulis



## DAFTAR ISI

|                                                                                       |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------|------|
| PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME .....                                                    | v    |
| LEMBAR PENGESAHAN I .....                                                             | 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 Masalah .....                                                            | 2    |
| 1.3. Tujuan.....                                                                      | 2    |
| 1.4. Batasan Masalah.....                                                             | 3    |
| 1.5. Sistematika Laporan .....                                                        | 3    |
| BAB II TEORI PENUNJANG.....                                                           | 5    |
| 2.1. <i>Anti-Lock Braking System (ABS)</i> .....                                      | 5    |
| 2.2. <i>Komponen Anti-Lock Braking System (ABS)</i> .....                             | 8    |
| 2.3. <i>Sistem Kendali P</i> .....                                                    | 11   |
| 2.4. <i>Sliding Mode Control (SMC)</i> .....                                          | 13   |
| 2.5. <i>Stoboscope Lutron DT-2239A-2</i> .....                                        | 14   |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....                                                   | 17   |
| 3.1. <i>Studi Literatur</i> .....                                                     | 17   |
| 3.2. <i>Skema Anti-Lock Braking System (ABS)</i> .....                                | 18   |
| 3.3. <i>Validasi Plant ABS</i> .....                                                  | 19   |
| 3.4. <i>Perancangan Sistem Kendali Proporsional (P)</i> .....                         | 20   |
| BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN .....                                             | 23   |
| 4.1. <i>Kalibrasi Sensor</i> .....                                                    | 23   |
| 4.2. <i>Uji Validasi Model Plant ABS</i> .....                                        | 24   |
| 4.3. <i>Uji Closed Loop Menggunakan Proportional</i> .....                            | 26   |
| 4.4. <i>Uji Close Loop Menggunakan Sliding Mode-Proportional Control (SMPC)</i> ..... | 31   |

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN ..... | 35 |
| 5.1. Kesimpulan.....             | 35 |
| 5.2. Saran.....                  | 36 |
| DAFTAR PUSTAKA.....              | 37 |
| Lampiran A.....                  | 39 |
| Lampiran B.....                  | 43 |
| Lampiran C.....                  | 47 |
| BIODATA PENULIS.....             | 59 |

## DAFTAR GAMBAR

|             |                                                                                                                       |    |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.1  | ABS dengan Rem Hidrolik (Aly, Zeidan, Hamed, & Salem, 2011).....                                                      | 5  |
| Gambar 2.2  | Kurva perbandingan koefisien gesek dengan slip ratio pada kondisi jalan tertentu (Guo, Jian, & Lin, 2014).....        | 6  |
| Gambar 2.3  | Pengereman Menggunakan ABS dan tanpa ABS (Aly, Zeidan, Hamed, & Salem, 2011).....                                     | 7  |
| Gambar 2.4  | Sensor Proximity (Stanislaw, 2002) .....                                                                              | 9  |
| Gambar 2.5  | Mikrokontroler ATMEGA16 (Wabco, 1999).....                                                                            | 10 |
| Gambar 2.6  | Unit Modulator Hidrolik (Denton, 1995) .....                                                                          | 10 |
| Gambar 2.7  | Tiga posisi operasi unit modulator pengereman ABS (Denton, 1995).....                                                 | 11 |
| Gambar 2.8  | Diagram Blok Sistem Pengendalian Tertutup (Heni, 2010).....                                                           | 12 |
| Gambar 2.9  | Representasi <i>Sliding Mode Control</i> (SMC) (Diarnise, 2017).....                                                  | 14 |
| Gambar 2.10 | <i>Stroboscope</i> Lutron DT-2239A-2.....                                                                             | 14 |
| Gambar 3.1  | Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir.....                                                                              | 17 |
| Gambar 3.2  | Skema <i>Anti-Lock Braking System</i> (ABS) .....                                                                     | 18 |
| Gambar 3.3  | Blok Diagram Pengendalian Proporsional (P).....                                                                       | 20 |
| Gambar 3.4  | Diagram Blok <i>Sliding Mode Control</i> (SMC).....                                                                   | 21 |
| Gambar 4.1  | Hasil respon uji validasi <i>open loop</i> .....                                                                      | 25 |
| Gambar 4.2  | Respon kecepatan tanpa menggunakan ABS .....                                                                          | 25 |
| Gambar 4.3  | Respon <i>slip ratio</i> pada uji <i>closed loop</i> dengan menggunakan <i>gain</i> proporsional ( $K_p$ ) = 0,5..... | 26 |
| Gambar 4.4  | Respon kecepatan pada uji <i>close loop</i> menggunakan <i>gain</i> proporsional ( $K_p$ ) = 0,5 .....                | 27 |
| Gambar 4.5  | Respon <i>slip ratio</i> pada uji <i>close loop</i> dengan menggunakan <i>gain</i> proporsional ( $K_p$ ) = 1,24..... | 28 |

|             |                                                                                                                    |    |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 4.6  | Respon kecepatan pada uji <i>close loop</i> menggunakan <i>gain</i> proporsional ( $K_p$ ) = 1,24 .....            | 29 |
| Gambar 4.7  | Respon <i>slip ratio</i> pada uji <i>close loop</i> dengan menggunakan <i>gain</i> proporsional ( $K_p$ ) = 2..... | 30 |
| Gambar 4.8  | Respon kecepatan pada uji <i>close loop</i> menggunakan <i>gain</i> proporsional ( $K_p$ ) = 2 .....               | 30 |
| Gambar 4.9  | Respon <i>slip ratio</i> pada uji <i>close loop</i> dengan menggunakan <i>sliding mode control</i> (SMC).....      | 31 |
| Gambar 4.10 | Respon kecepatan pada uji <i>close loop</i> menggunakan <i>sliding mode control</i> (SMC) .....                    | 32 |
| Gambar 4.11 | Perbandingan <i>slip ratio</i> pengendalian proporsional (P) dan <i>sliding mode control</i> (SMC) .....           | 33 |

## **DAFTAR TABEL**

|           |                                       |    |
|-----------|---------------------------------------|----|
| Tabel 4.1 | Data Kalibrasi Sensor Proximity ..... | 23 |
|-----------|---------------------------------------|----|

“Halaman ini memang dikosongkan”

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1. Latar Belakang

Kendaraan bermotor menjadi salah satu alat transportasi yang paling umum digunakan di Indonesia. Menurut Badan Pusat Statistik (BPS) per tahun 2018 jumlah kendaraan motor di Indonesia mencapai angka 138.855.656 unit (Statistik, n.d.). Hal ini menunjukkan bahwa kendaraan bermotor di Indonesia sudah seperti kebutuhan yang wajib dimiliki guna meningkatkan mobilitas kehidupan sehari-hari masyarakat Indonesia.

Hal yang menjadi perhatian dalam menggunakan kendaraan bermotor adalah faktor keamanan. Salah satu faktor keamanan (*safety*) yang sangat penting untuk suatu kendaraan adalah sistem pengereman. Dewasa ini, sistem pengereman yang digunakan adalah *anti-lock braking system* (ABS) yang mana sistem pengereman ini memungkinkan roda kendaraan untuk tidak terkunci ketika terjadi pengereman. ABS pertama kali digunakan pada pesawat Boeing B-47 tahun 1945 (Aly, Zeidan, Hamed, & Salem, 2011). Penggunaan ABS pada pesawat terbang diharapkan dapat mencegah roda pesawat untuk berputar tidak terarah atau bahkan meledak saat proses pengereman terjadi. Saat ini ABS sudah banyak di implementasikan pada kendaraan-kendaraan roda empat bahkan beberapa kendaraan roda dua sudah memiliki sistem pengereman ABS.

ABS merupakan sistem pengereman yang berfungsi untuk mencegah roda pada mobil terkunci ketika adanya pengereman darurat atau pengereman secara mendadak (Chen & Wang, 1996). ABS digunakan pada mobil untuk mencegah terjadinya *slip* dan penguncian pada roda saat pengereman darurat atau pengereman secara mendadak. Pada saat terjadi pengereman mendadak atau darurat, mobil yang dilengkapi dengan ABS tetap stabil dikarenakan jarak penghentian mobil menjadi berkurang dan meningkatkan pengendalian kemudi kendaraan (Stanislaw, 2002).

Meskipun sudah digunakan dalam beberapa dekade terakhir, pengendalian sistem ABS sulit dilakukan karena sistem ABS adalah sistem yang non linier (Chen & Wang, 1996). Sistem nonlinier ini dapat dilihat dari parameter keadaan kendaraan yang sulit diketahui dan karakteristik non linier dari sistem pengereman itu sendiri. Selain itu, banyak hal yang dapat mengganggu sistem yang dapat disebabkan oleh performa komponen yang menurun dan gangguan dari luar sistem yang tidak dapat di prediksi. Sehingga dalam sistem pengereman ABS diperlukan suatu sistem kontrol yang baik yang dapat mengakomodasi ketidaklinier dari sistem pengereman ABS itu sendiri dan metode kontrol proporsional (P) dan *sliding mode control* (SMC) dapat digunakan dalam pengendalian sistem pengereman ABS (Antic, 2010).

Berdasarkan uraian diatas, maka permasalahan yang diangkat dalam penelitian tugas akhir ini adalah rancang bangun kontrol proporsional (P) dan *sliding mode control* (SMC) pada *anti-lock braking system* (ABS) sehingga di hasilkan suatu sistem pengereman yang dapat terhidar dari terkuncinya roda saat proses pengereman terjadi yang dapat meningkatkan keamanan dalam berkendara.

## 1.2. Rumusan Masalah

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* (P) dan *sliding mode control* (SMC)?

## 1.3. Tujuan

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 proporsional (P) dan *sliding mode control* (SMC).

#### 1.4. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 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.
- *Slip ratio* merupakan variabel yang dikendalikan.
- Torsi pengereman adalah variabel yang di manipulasi.
- Kecepatan roda dan kecepatan kendaraan adalah variabel yang diukur.

#### 1.5. Sistematika Laporan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

- **BAB I PENDAHULUAN**  
Bab 1 berisi mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, dan sistematika laporan dari tugas akhir ini.
- **BAB II TEORI PENUNJANG**  
Bab 2 berisi penjelasan mengenai teori yang dapat menunjang dalam tugas akhir ini, seperti pengertian dari *anti-lock braking system* (ABS), komponen penunjang ABS, pengendalian P dan SMC.

- **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bab 3 ini berisi mengenai rancangan dari penelitian yang dilakukan, metode dan langkah-langkah dalam penelitian.

- **BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN**

Bab 4 ini berisi tentang perbandingan sistem pengereman tanpa ABS dan pengereman menggunakan ABS dengan sistem kendali proporsional dan SMC

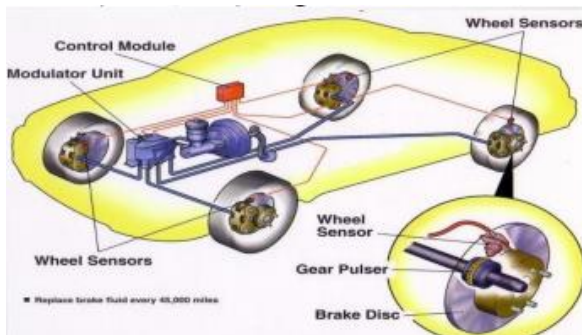
- **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab 5 diberikan kesimpulan tentang tugas akhir yang telah dilakukan berdasarkan data-data yang diperoleh, serta diberikan saran sebagai penunjang maupun pengembangan tugas akhir selanjutnya

## BAB II TEORI PENUNJANG

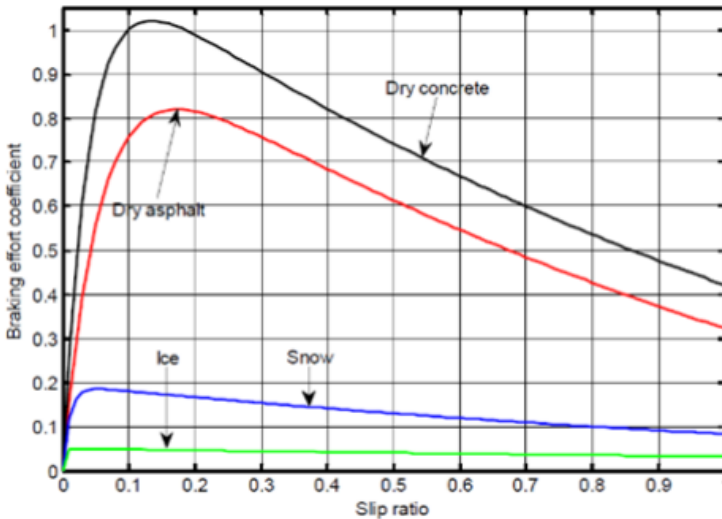
### 2.1. *Anti-Lock Braking System (ABS)*

*Anti-Lock Braking System (ABS)* seperti pada **Gambar 2.1** digunakan untuk mencegah terjadinya *slip* dan penguncian pada roda saat terjadi pengereman yang keras dan mendadak. Sistem ini adalah salah satu sistem keamanan (*safety*) pada mobil. ABS pertama kali diterapkan pada industri penerbangan pada tahun 1930. Pada tahun 1945, ABS pertama kali digunakan pada pesawat Boeing B-47 dengan tujuan utama mencegah roda terkunci, mengurangi jarak henti (*stopping distance*), meningkatkan stabilitas dan meningkatkan *steerability* ketahanan selama pengereman (Aly, Zeidan, Hamed, & Salem, 2011). Pada proses pengereman, terjadi yang dinamakan *tractive force* yang dihasilkan oleh ban, sebanding dengan gaya normal jalan yang bekerja pada ban. Perbandingan yang digunakan tergantung variasi atau koefisien jalan seperti kering, basah, bersalju, dan lain sebagainya, serta karakteristik lekukan jalan seperti jalanan yang berlubang, rata, dan lain sebagainya.



**Gambar 2.1** ABS dengan Rem Hidrolik (Aly, Zeidan, Hamed, & Salem, 2011)

Pada penelitian yang dilakukan (Guo, Jian, & Lin, 2014) terdapat grafik fungsi *non-linear* antara *breaking effort coefficient* ( $\mu$ ) yaitu gesekan antara ban dan permukaan jalan dengan *slip ratio* roda ( $\lambda$ ) pada kondisi jalanan tertentu, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.2**.



**Gambar 2.2** Kurva perbandingan koefisien gesek dengan slip ratio pada kondisi jalan tertentu (Guo, Jian, & Lin, 2014)

Pada **Gambar 2.2** menunjukkan bahwa pada kondisi jalan bersalju dan es, gesekan antara ban dan jalan memiliki  $\mu$  (*breaking effort coefficient*) yang sangat rendah dan mengakibatkan resiko slip roda semakin tinggi. Sebaliknya dengan kondisi jalan aspal kering dan beton kering yang dapat dikatakan kondisi jalan normal, gesekan memiliki  $\mu$  yang besar, sehingga resiko roda akan slip menjadi sangat rendah. Nilai  $\mu$  berdasarkan pada (Guo, et al., 2014) diperoleh melalui persamaan:

$$\mu(\lambda, v) = [C_1(1 - e^{-C_2\lambda}) - C_3\lambda]e^{-C_4\lambda v} \quad (2.1)$$

Dimana,

$C_1$  = Nilai maksimum kurva gesekan

$C_2$  = Bentuk kurva gesekan

$C_3$  = Perbedaan kurva gesekan antara nilai maksimum dan nilai  $\lambda = 1$

$C_4$  = Karakteristik kebasahan jalan

Slip ratio didefinisikan sebagai berikut,

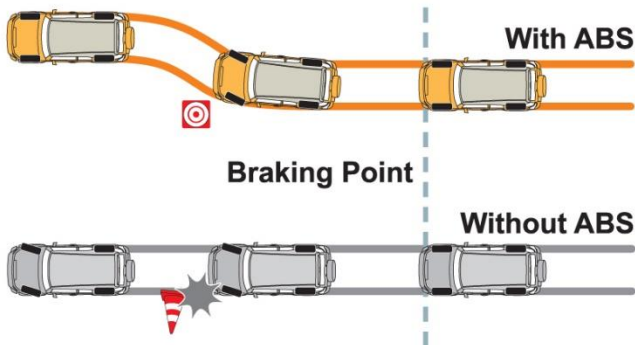
$$\lambda = \frac{v_x - \omega r_\omega}{v_x} \quad (2.2)$$

dimana,

$v_x$  = Kecepatan kendaraan

$\omega$  = Kecepatan roda

$r_\omega$  = Jari-jari roda



**Gambar 2.3** Pengereman Menggunakan ABS dan tanpa ABS (Aly, Zeidan, Hamed, & Salem, 2011)

Berdasarkan tujuan utama penggunaan ABS terdapat 3 hal penting dari ABS yaitu jarak henti, kestabilan, dan ketahanan dari kendaraan (Harifi, et al., 2005). Jarak henti dari kendaraan pada proses pengereman menjadi salah satu faktor penting. Parameter yang mempengaruhi jarak henti dari kendaraan adalah massa

kendaraan, kecepatan awal kendaraan, dan gaya pengereman. Jarak henti dari kendaraan dapat diperkecil dengan peningkatan gaya pengereman dikarenakan setiap jenis permukaan jalan memiliki koefisien puncak dari gaya pengereman tersebut, sehingga adanya ABS dapat mengontrol kendaraan untuk mencapai gaya gesek maksimum dan menghasilkan jarak pengereman minimum (Diarnise, 2017).

Perbedaan kendaraan yang menggunakan ABS dan tanpa ABS seperti pada **Gambar 2.3** saat terjadi proses pengereman dan permukaan jalan yang licin dibutuhkan gaya gesekan maksimum untuk memperlambat dan menghentikan kendaraan, sehingga dengan kondisi permukaan jalan seperti itu kendaraan mobil yang tidak menggunakan ABS tidak akan mendapatkan gaya gesekan maksimum dikarenakan gaya pengereman lebih besar disatu sisi kendaraan saja, dari pada disisi lainnya. Ketika menerapkan rem penuh pada kedua sisi dari kendaraan akan menghasilkan momen mengayuh atau meluncur yang dapat menarik kendaraan ke sisi yang memiliki gaya gesekan tinggi dan mengakibatkan ketidakstabilan kendaraan. Menjaga slip kedua roda belakang maupun depan pada tingkat yang sama dan meminimalkan dua koefisien gesekan puncak adalah konsep dari ABS ini (Harifi, et al., 2005).

Dalam praktiknya pada mobil, ada dua cara untuk mendeteksi terjadinya *slip* pada roda mobil, yaitu dengan membandingkan kecepatan putar roda yang akan terkunci dengan roda lainnya atau dapat mengukur laju perlambatan roda yang akan terkunci. Dua cara tersebut biasa dilakukan secara bersamaan, namun sistem yang tersebut cukup rumit dan harganya relatif mahal sehingga dewasa ini banyak digunakan sensor mekanis yang dapat mendeteksi roda yang melambat secara cepat.

## **2.2. Komponen Anti-Lock Braking System (ABS)**

ABS memiliki komponen-komponen yang dapat menunjang kinerja dari ABS tersebut. Ada tiga komponen utama yang diperlukan untuk membuat suatu system ABS, komponen-komponen tersebut adalah sebagai berikut.

- **Sensor Kecepatan Roda**

Sensor yang digunakan untuk mengetahui kecepatan roda adalah sensor *proximity* seperti pada **Gambar 2.4**. 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 2.4** Sensor Proximity (Stanislaw, 2002)

- **Electronic Control Unit (ECU)**

ECU adalah bagian yang bertugas untuk memproses fungsi dari ABS. Secara umum ECU bertugas untuk menerima, menguatkan dan menyaring sinyal yang dikirim oleh sensor untuk menghitung kecepatan dan akselerasi roda, lalu secara *logic* memutuskan roda ketika hendak mengunci dan mengaktifkan *valve* ABS pada kondisi dan waktu tertentu. **Gambar 2.5** adalah

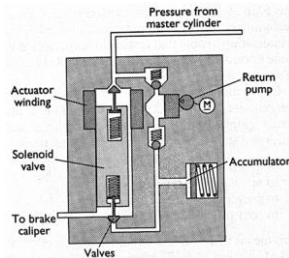
mikrokontroler ATMEGA 16 yang akan digunakan dalam penelitian ini.



**Gambar 2.5** Mikrokontroler ATMEGA16 (Wabco, 1999)

- **Unit Modulator**

Unit Modulator *atau disebut juga dengan ABS Modulator Valve* berfungsi untuk mengatur tekanan ke masing-masing rem yang dikontrol oleh ABS. Pada saat pengereman normal, *ABS Modulator Valve* tidak diaktifkan sehingga fluida mengalir melalui katup ABS ke ruang rem. Selama ABS beroperasi, katup ABS bertugas untuk memodulasi tekanan fluida di ruang rem yang berfungsi untuk mengendalikan pengereman dan mencegah roda terkunci.



**Gambar 2.6** Unit Modulator Hidrolik (Denton, 1995)

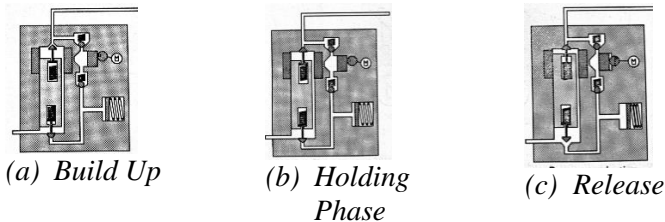
**Gambar 2.6** menunjukkan unit modulator secara umum. Katup ABS adalah katup yang dikontrol oleh *solenoid*, terdiri dari dua jenis *solenoid* yang dioperasikan secara elektrik dan dua katup diafragma. ECU bertugas untuk mengendalikan *solenoid* agar bertindak sangat cepat, karena *solenoid* berfungsi untuk mengendalikan diafragma, yang akan membuka dan menutup agar



memberikan dan mengurangi tekanan pada ruang rem. **Gambar 2.7** menunjukkan posisi operasi dari unit modulator.

Unit modulator terdiri dari tiga posisi operasi yaitu

- *Pressure Release*
- *Pressure Holding*
- *Pressure Build-Up*



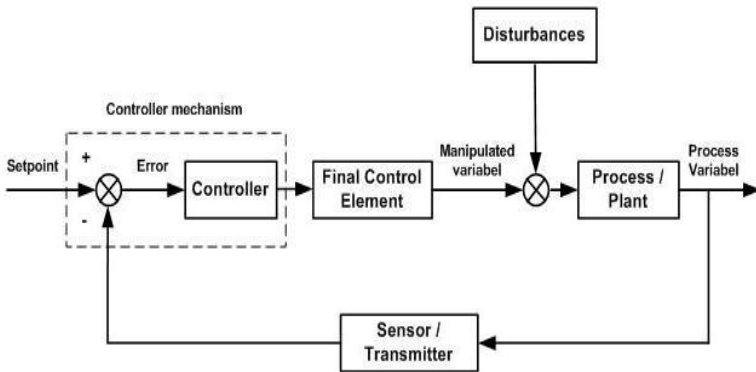
**Gambar 2.7** Tiga posisi operasi unit modulator pengereman ABS (Denton, 1995)

### 2.3. Sistem Kendali P

Sistem pengendalian adalah gabungan dari kerja suatu komponen yang digunakan untuk mempertahankan variabel yang dikendalikan yaitu *process variable* pada suatu nilai yang telah ditetapkan atau *set point* sehingga sistem dapat stabil. Dengan adanya perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi suatu sistem pengendalian dapat dikendalikan menggunakan sebuah unit otomatis. Gambar diagram blok pengendalian tertutup dapat dilihat pada **Gambar 2.9**.

Sampai saat ini algoritma pengendali *proportional-integral-derivative* (PID) dapat dikatakan sebagai algoritma terbaik karena keefektifannya. Karakteristik pengendali PID dipengaruhi oleh parameter P,I dan D. Pengaturan konstanta  $K_p$ ,  $T_i$  dan  $T_d$  akan menunjukkan sifat dari masing-masing parameter.

Pengendali P memiliki kelebihan untuk mempercepat *rise time* sehingga respon dari sistem cepat mencapai *set point*,tetapi pengendali P memiliki kekurangan yaitu meninggalkan *offset*.



**Gambar 2.8** Diagram Blok Sistem Pengendalian Tertutup (Heni, 2010)

Sinyal kontrol pengendalian P dapat dilihat pada persamaan (2.1), dimana  $K_p$  merupakan *gain* kontrol proporsional yang nilainya didapatkan melalui tuning.

$$u(t) = K_p \cdot e(t) \quad (2.1)$$

Beberapa parameter dalam algoritma PID yang juga harus diketahui dalam suatu sistem *closed loop* yaitu *maximum overshoot*, *settling time*, dan *error steady state*.

- *Maximum (percent) overshoot* persamaan (2.2) adalah nilai puncak tertinggi respon sistem pengukuran terhadap keadaan yang diinginkan. Jika nilai *steady state* dari respon berbeda dengan nilai yang diinginkan, umumnya menggunakan *maximum percent overshoot* dengan persamaan

$$M_p \text{ overshoot} = \frac{c(t_p) - c(\infty)}{c(\infty)} \times 100\% \quad (2.2)$$

- *Settling time* adalah waktu yang dibutuhkan respon sistem untuk mencapai dan berada direntang  $\pm 5\%$  atau  $\pm 2\%$  dari keadaan yang diinginkan atau nilai akhir. (Ogata K. , Modern Control Engineering, 2010)

- *Error steady state* adalah nilai *error* yang dihasilkan dari keadaan *steady* ketika belum mencapai *set point* yang diinginkan (Ardhiantama, 2016).

Selain itu hal-hal yang perlu diperhatikan pada nilai dari  $K_p$  adalah sebagai berikut :

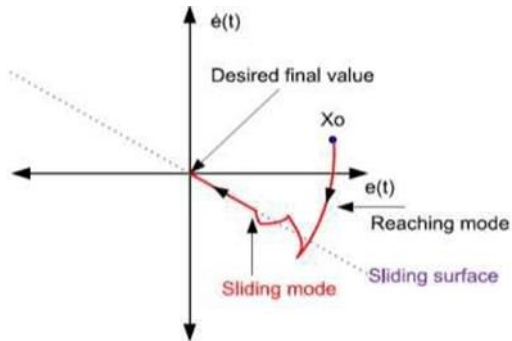
- Jika nilai  $K_p$  kecil, mode kontrol proposional hanya mampu melakukan koreksi kesalahan yang kecil, sehingga akan menghasilkan respon sistem yang lambat.
- Jika nilai  $K_p$  dinaikkan, respon sistem menunjukkan semakin cepat mencapai keadaan stabilnya.
- Namun jika nilai  $K_p$  diperbesar sehingga mencapai harga yang berlebihan akan mengakibatkan sistem bekerja tidak stabil, atau respon sistem akan berosilasi.

#### 2.4. *Sliding Mode Control* (SMC)

SMC merupakan salah satu metode kontrol modern yang dalam pengaplikasiannya menggunakan pendekatan *state space* untuk menganalisis suatu sistem (Diarnise, 2017). Penggunaan metode kontrol modern yang berbasis *state space* dinilai lebih mudah digunakan pada sistem yang kompleks dan nonlinier yang bekerja pada keadaan tidak pasti. Sebagai salah satu sistem kontrol modern, SMC memiliki ketahanan pada *high tracking trajectory* dan *robust* untuk mengestimasi paramater, diagnosis kesalahan, dan kontrol.

SMC diterapkan pada ABS untuk melakukan *feedback* on-off berskala tinggi dalam penentuan aliran tekanan fluida pada distribusi tiap-tiap rem. SMC bekerja dengan cara mengendalikan *trajectory state* ( $X_o$ ) suatu sistem untuk bergerak melalui suatu permukaan luncur (*reaching mode*) menuju *sliding surface* dan *state* tersebut akan berusaha bertahan pada *sliding surface* hingga mencapai nilai yang diinginkan (*desired final value*). Pada **Gambar 2.9** dapat dilihat bahwa  $X_o$  meluncur menuju *sliding surface* melalui *reacing mode*, setelah berhasil menjangkau *sliding*

*surface*  $X_o$  akan meluncur pada *sliding surface* hingga mencapai nilai yang diinginkan.



**Gambar 2.9** Representasi *Sliding Mode Control* (SMC) (Diarnise, 2017)

### 2.5. *Stroboscope* Lutron DT-2239A-2

*Stroboscopes* Lutron DT-2239A-2 merupakan salah satu alat ukur yang digunakan untuk mengukur kecepatan. *Stroboscope* yaitu sumber sinar cahaya yang bisa disinkronisasi dengan setiap kecepatan dan pengulangan gerakan sehingga benda yang berpindah sangat cepat terlihat tidak bergerak ataupun berpindah perlahan. Prinsip dari *stroboscope* adalah dengan menggunakan



**Gambar 2.10** *Stroboscope* Lutron DT-2239A-2

suatu sumber cahaya untuk menghasilkan efek optik menghentikan atau memperlambat gerakan kecepatan tinggi untuk keperluan pengamatan, analisis ataupun fotografi.

*Stroboscopes* Lutron DT-2239A-2 banyak diaplikasikan dalam pengukuran kecepatan objek, ataupun benda lainya yang diperlu untuk diukur kecepatan perpindahannya. Instrumen pengukur ini banyak digunakan karena alat ukur ini memiliki tingkat akurasi yang tinggi.

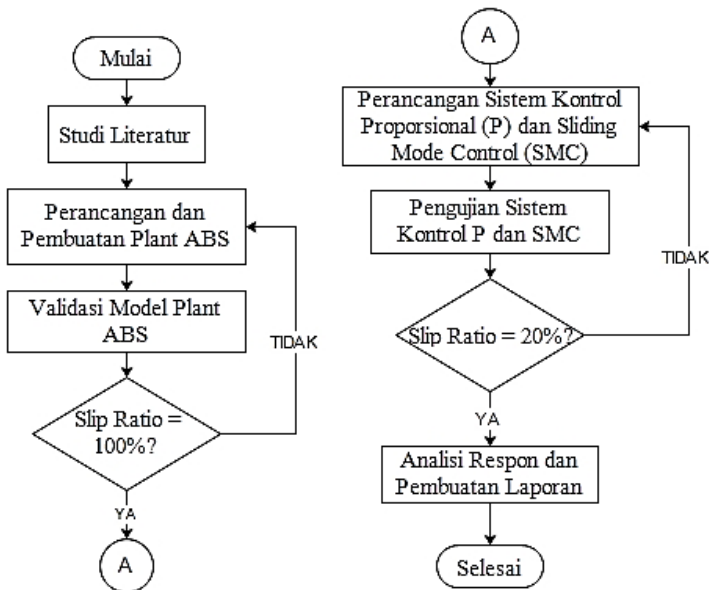
Spesifikasi *stroboscope* yang digunakan adalah sebagai berikut.

- Rentang: 100 – 10.000 RPM.
- Akurasi: (0,05% + 1 d).
- Xenon flash tube, Display: LED merah 10 mm.
- Ukuran: 210 x 120 x 120 mm.

“Halaman ini memang dikosongkan”

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada BAB III laporan tugas akhir ini dijelaskan tentang metodologi yang akan digunakan guna mencapai tujuan dari penelitian tugas akhir ini. Metodologi tersebut digambarkan dalam sebuah diagram alir yang memuat langkah-langkah penelitian yang akan dilakukan.



**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir

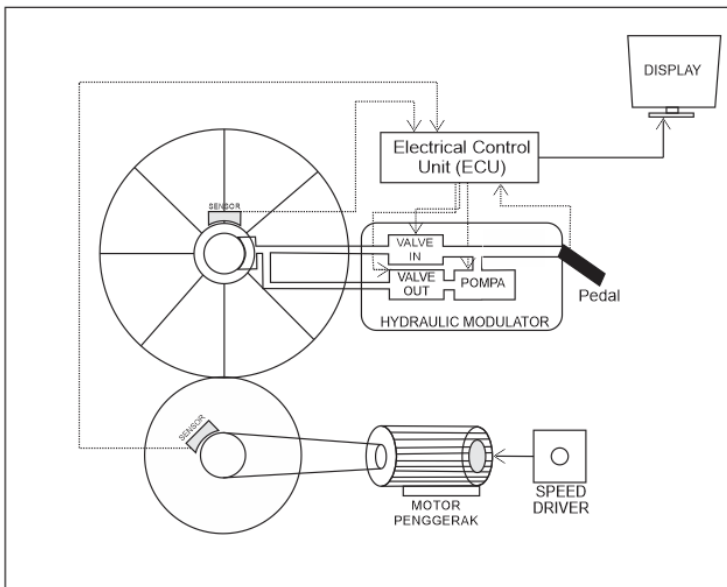
### 3.1. Studi Literatur

Tahap studi literatur pada tugas akhir ini dimaksud untuk membangun pemahaman awal sampai mendalam secara teoritis terhadap materi yang mendukung penelitian tugas akhir ini dengan mengumpulkan literatur dan referensi yang relevan mengenai *anti-*

*lock braking system*, komponen-komponen yang dibutuhkan pada *anti-lock braking system* serta pemahaman mengenai sistem kontrol proporsional (P) dan *sliding mode control* (SMC) yang nantinya sistem-sistem kontrol ini akan diterapkan langsung pada *plant* ABS.

### 3.2. Skema Anti-Lock Braking System (ABS)

*Plant* ABS yang akan digunakan dalam penelitian ini merupakan *plant* ABS yang hanya menggunakan satu roda saja. Ada beberapa komponen utama yang digunakan dalam *plant* ABS



**Gambar 3.2** Skema Anti-Lock Braking System (ABS)

ini yaitu dua buah *wheel speed sensor* untuk mengukur kecepatan roda dan kecepatan kendaraan, dua buah *solenoid valve* dan satu buah pompa sebagai bagian dari *hydraulic modulator*, *electrical control unit* (ECU) sebagai bagian utama dalam mengendalikan sistem ABS.



Sensor yang digunakan dalam *plant* ABS ini adalah sensor *proximity* yang akan menghasilkan sinyal *HIGH* jika terdeteksi adanya benda (*signal trigger*) oleh *proximity*. Untuk mengukur kecepatan putar roda dipasang satu *signal trigger* sebagai batas satu putaran roda. Nilai yang diukur adalah waktu yang dibutuhkan roda untuk mencapai satu putaran. Semakin besar waktu yang dibutuhkan semakin lambat kecepatan roda, begitu juga sebaliknya semakin cepat waktu yang dibutuhkan roda untuk mencapai satu putaran, semakin besar pula kecepatan roda yang terdeteksi.

*Electrical Control Unit* (ECU) yang digunakan dalam penelitian ini adalah mikroontroller ATMEGA16. Semua informasi yang masuk dan keluar sistem ABS ini diatur sepenuhnya oleh ECU. ECU bertanggungjawab untuk menerima data kecepatan roda dan kecepatan kendaraan yang kemudian dihitung *slip ratio* yang terjadi pada sistem. Ketika terjadi *slip* dan roda terkunci ECU akan memberikan sinyal ke *hydraulic modulator* unit agar melakukan aksi sehingga *slip* dan roda yang akan terkunci tidak akan terjadi.

*Hydraulic modulator* terdiri dari dua buah *on-off solenoid valve* dan satu buah pompa. *Solenoid valve* tersebut bekerja secara berkebalikan tergantung dari posisi operasi mana yang sedang dibutuhkan. Ketika *slip ratio* sistem terlalu tinggi maka *valve input* harus ditutup dan *valve output* dibuka sehingga sistem akan *dump* (Tidak Rem), begitu juga sebaliknya ketika *slip ratio* rendah dan pengeraman dibutuhkan maka *valve out* akan ditutup dan *valve in* akan dibuka (Rem). Pompa digunakan untuk menggantikan fungsi dari pedal rem dan akan menyala pada setiap kondisi operasi.

### 3.3. Validasi Plant ABS

Setelah perancangan dan pembuatan mekanik dari *plant* ABS telah selesai, diperlukan uji validasi *plant* sehingga dapat diketahui bahwa *plant* ABS tersebut telah benar atau sesuai. Variable yang akan di kendalikan dalam penelitian ini adalah *slip ratio*. Sehingga data yang dapat digunakan untuk memvalidasi *plant* ABS yang telah dibuat adalah dengan melihat nilai *slip ratio* ketika diberikan

aksi pengereman pada plant ABS. *Slip ratio* bernilai 100% ketika roda (roda atas) berhenti berputar dan terkunci.

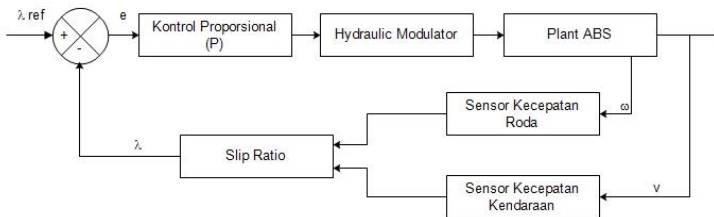
### 3.4. Perancangan Sistem Kendali Proporsional (P)

Pengendalian proporsional (P) menjadi salah satu jenis pengendalian yang umum digunakan untuk mengendalikan suatu sistem. Pada penelitian ini pengendali P digunakan untuk memberikan sinyal kontrol guna mengendalikan pergerakan *solenoid valve* pada sistem *hydraulic modulator*. Sinyal kontrol ini berupa nilai *duty cycle* yang secara bergantian akan menyala dan mematikan *solenoid valve* sesuai dengan nilai *duty cycle* yang keluar dari pengendali proporsional.

Variabel yang akan dikendalikan adalah *slip ratio*, dimana nilai *slip ratio* dikendalikan guna menghindari terjadinya *slip* saat terjadi pengereman. Persamaan *slip ratio* dapat dilihat pada persamaan (3.1).

$$\lambda = \frac{v_x - \omega r}{v_x} \quad (3.1)$$

Dimana  $v_x$  adalah kecepatan kendaraan,  $\omega r$  merupakan kecepatan roda dan  $r$  merupakan jari-jari roda.



**Gambar 3.3** Blok Diagram Pengendalian Proporsional (P)

Pengendalian dilakukan agar dapat mempertahankan nilai *slip ratio* pada nilai  $\lambda^*$  *references* yang dapat dilihat pada grafik  $F_x - \lambda$  pada **Gambar 2.2**. Dimana pengendalian ini didasarkan pada nilai *error* yang didefinisikan sebagai berikut pada persamaan (3.2). Blok diagram pengendalian dapat dilihat pada **Gambar 3.3**.

$$\lambda_e = \lambda - \lambda_{ref} \quad (3.2)$$

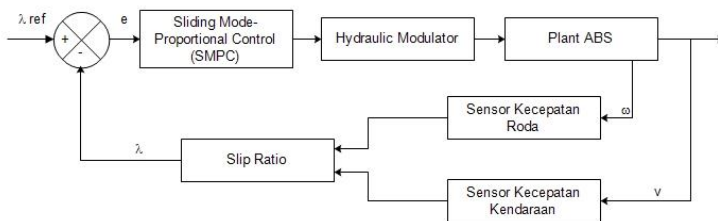
Sinyal kontrol yang dihasilkan oleh pengendalian proporsional bergantung pada besarnya *gain* proporsional ( $K_p$ ) yang diberikan sesuai dengan persamaan (3.3).

$$u(t) = K_p \cdot e(t) \quad (3.3)$$

Berdasarkan persamaan (3.3) dapat diketahui bahwa *gain* proporsional harus tepat sehingga dapat mengkompensasi nilai *error* yang dihasilkan oleh sistem. Nilai *gain* proporsional pada sistem ini ditentukan dengan cara *find tuning* hingga menemukan nilai  $K_p$  yang menghasilkan respon terbaik.

### 3.5. Perancangan Sistem Kendali *Sliding Mode-Proportional Control* (SMPC)

*Sliding Mode-Proportional Control* (SMPC) menjadi salah satu pengendalian yang cocok diterapkan pada sistem yang non-linier. **Gambar 3.4** menunjukkan blok digram *sliding mode-proportional control* (SMPC).



**Gambar 3.4** Diagram Blok *Sliding Mode Control* (SMC)

SMPC merupakan gabungan dari pengendalian proporsional dan *sliding mode control* (SMC). Adanya SMC diharapkan dapat mengatasi kelemahan dari pengendalian proporsional yang sebelumnya digunakan. Pengendalian SMPC ini terdiri dari dua

bagian yaitu bagian yang kontinu dan bagian diskrit. Dimana bagian yang kontinu merupakan bagian dari pengendalian proporsional dan bagian diskrit merupakan bagian dari *sliding mode control* (SMC). Sinyal kontrol SMPC dapat dilihat pada persamaan (3.4).

$$u_{sm} = u_c + u_d \quad (3.4)$$

Dimana dan berturut-turut adalah sinyal kontrol proporsional dan sinyal kontrol SMC.

Sinyal kontrol proporsional yang digunakan pada SMPC adalah sama dengan sinyal kontrol proporsional yang digunakan pada pengendalian P saja, sehingga sinyal kontrol tersebut dapat dilihat pada persamaan (3.3). Sedangkan untuk sinyal kontrol SMC persamaan yang digunakan dapat dilihat pada persamaan (3.5).

$$ud = \frac{1}{B(x)} K_{sw} \text{sign}(s) \quad (3.5)$$

Dimana  $B(x)$  disefinisikan sebagai

$$B(x) = \frac{1}{V_x} \frac{r_\omega}{J_\omega} \quad (3.6)$$

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

$$s = \lambda_e \quad (3.7)$$

Fungsi signum (sgn) didefinisikan sebagai persamaan berikut:

$$\text{sgn}(s) = \begin{cases} 1 & s > 0 \\ -1 & s < 0 \end{cases} \quad (3.8)$$

## BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Bab IV berisi tentang hasil perancangan sistem kontrol proporsional (P) dan *sliding mode control* (SMC) pada *anti-lock braking system* (ABS) yang telah dilakukan yang selanjutnya akan dilakukan uji performansi sistem. Uji performansi sistem ini dilakukan guna mengetahui apakah sistem kontrol yang di rancang sudah memenuhi karakteristik dari sistem yang diinginkan.

### 4.1. Kalibrasi Sensor

Sensor dapat dikatakan sebagai salah satu komponen penting pada *anti-lock braking system* (ABS). Hal ini dikarenakan sensor menjadi satu-satunya pemberi informasi mengenai kecepatan roda dan kecepatan kendaraan sehingga pengendalian dapat dilakukan. Sebelum digunakan sensor harus dikalibrasi sehingga menghasilkan nilai yang sesuai. **Tabel 4.1** menunjukkan hasil kalibrasi sensor.

**Tabel 4.1** Data Kalibrasi Sensor Proximity

| No. | Pembacaan alat (Rpm) | Pembacaan Standart (Rpm) | Koreksi |
|-----|----------------------|--------------------------|---------|
| 1   | 386,54               | 387,7                    | 1,16    |
| 2   | 386,54               | 387,7                    | 1,16    |
| 3   | 386,54               | 387,7                    | 1,16    |
| 4   | 389,25               | 387,7                    | 1,55    |
| 5   | 386,54               | 387,7                    | 1,16    |
| 6   | 389,25               | 387,7                    | 1,55    |
| 7   | 389,25               | 387,7                    | 1,55    |
| 8   | 386,54               | 387,7                    | 1,16    |
| 9   | 386,54               | 387,7                    | 1,16    |
| 10  | 389,25               | 387,7                    | 1,55    |

Data dari **Tabel 4.1** digunakan untuk menghitung nilai ketidakpastian dari sensor yang digunakan. Berdasarkan data tersebut diperoleh nilai-nilai berikut.

$$U_{a1} = 0,3804$$

$$U_{a2} = 0,09493$$

$$U_{b1} = 0,0558$$

$$U_{b2} = 0,002941$$

$$U_c = 1,548$$

$$V_{eff} = 10,181$$

Pada table *T-student* menghasilkan nilai faktor koreksi ( $k$ ) sebesar 2,2226. Sehingga didapatkan nilai ketidakpastian :

$$U_{exp} = k \times U_c$$

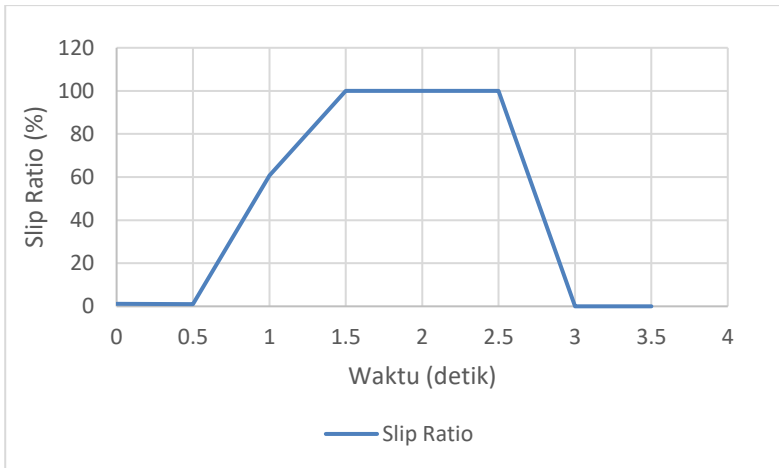
$$U_{exp} = 2,2226 \times 1,548 = 3,4405$$

Nilai ketidakpastian alat sebesar  $\pm 3,4405$ . Nilai ketidakpastian tersebut akan menjadi acuan untuk pembacaan alat ukur selama alat ukur tersebut digunakan.

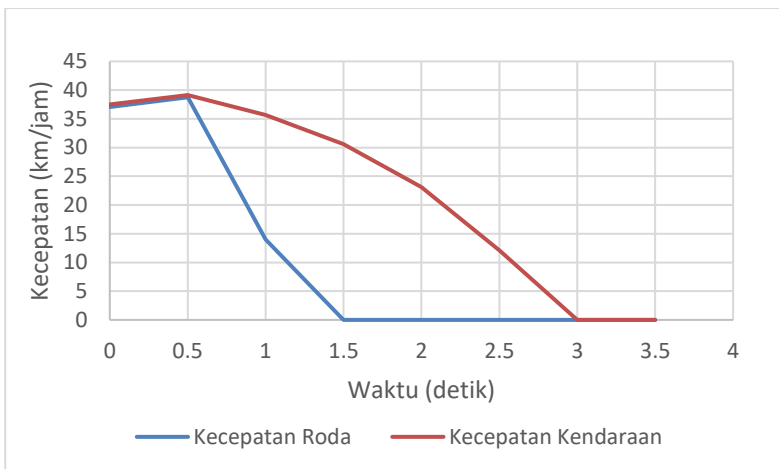
#### 4.2. Uji Validasi Model Plant ABS

Sebelum penelitian dilakukan, terlebih dahulu sistem di uji dengan tahapan validasi untuk memastikan agar sistem yang akan digunakan dalam penelitian benar dapat dikendalikan. Pengujian dilakukan dengan *open loop* tanpa adanya ABS. Hasil respon pengujian ditunjukkan pada **Gambar 4.1**.

Pengujian dilakukan dengan menggunakan *time sampling* ( $ts$ ) sebesar 0,5 detik. *Time sampling* sebesar 0,5 detik dipilih dengan mempertimbangkan kemampuan sensor dalam mencuplik data. *Time sampling* yang terlalu kecil akan menyebabkan sensor kesulitan dalam membaca data kecepatan sehingga data kecepatan yang dihasilkan tidak sesuai. Sedangkan untuk *time sampling* yang terlalu besar akan menyebabkan pengendalian sulit dilakukan, hal ini dikarenakan ABS adalah sistem yang berkerja pada waktu yang sangat cepat sehingga *time sampling* yang besar dinilai tidak cocok diimplementasikan pada sistem ABS.



**Gambar 4.1** Hasil respon uji validasi *open loop*



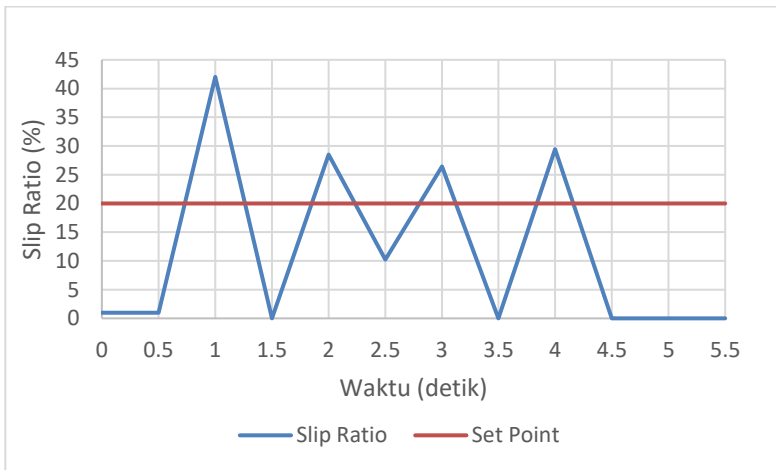
**Gambar 4.2** Respon kecepatan tanpa menggunakan ABS

Hasil respon menunjukkan bahwa saat pengereman kuat dilakukan nilai *slip ratio* naik hingga 100 %. Hal ini menunjukkan bahwa saat pengereman terjadi roda berhenti berputar dan terkunci, sedangkan kendaraan (roda bawah) masih bergerak. Nilai *slip ratio* terus

berada pada angka 100% hingga kendaraan (roda bawah) benar-benar berhenti. **Gambar 4.2** menunjukkan grafik respon kecepatan roda dan kecepatan kendaraan tanpa menggunakan ABS. Berdasarkan grafik tersebut dapat dilihat bahwa pada waktu ke 1,5 detik setelah pengereman dilakukan, roda langsung berhenti berputar dan terkunci sedangkan kendaraan masih bergerak. Hal ini dapat menyebabkan kemampuan untuk mengendalikan kendaraan tidak stabil dan kendaraan berhenti pada waktu ke 3 detik.

### 4.3. Uji *Closed Loop* Menggunakan Proportional Controller

Uji *closed loop* bertujuan untuk meninjau respon yang dihasilkan sistem setelah adanya pengendalian *slip ratio*. Pengendalian dilakukan dengan harapan bawah nilai *slip ratio* stabil di nilai *set point* yang telah ditentukan.

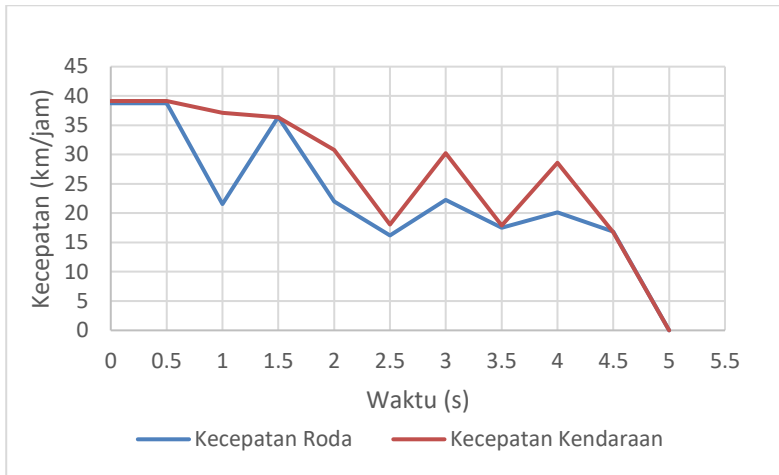


**Gambar 4.3** Respon *slip ratio* pada uji *closed loop* dengan menggunakan gain proporsional ( $K_p$ ) = 0,5

Uji *closed loop* bertujuan untuk meninjau respon yang dihasilkan sistem setelah adanya pengendalian *slip ratio*. Pengendalian dilakukan dengan harapan bawah nilai *slip ratio* stabil di nilai *set point* yang telah ditentukan. **Gambar 4.3** menunjukkan respon



yang dihasilkan ketika adanya pengereman. Pada waktu ke 0,5 detik, sistem mulai di rem ditunjukkan dengan naiknya *slip ratio*.

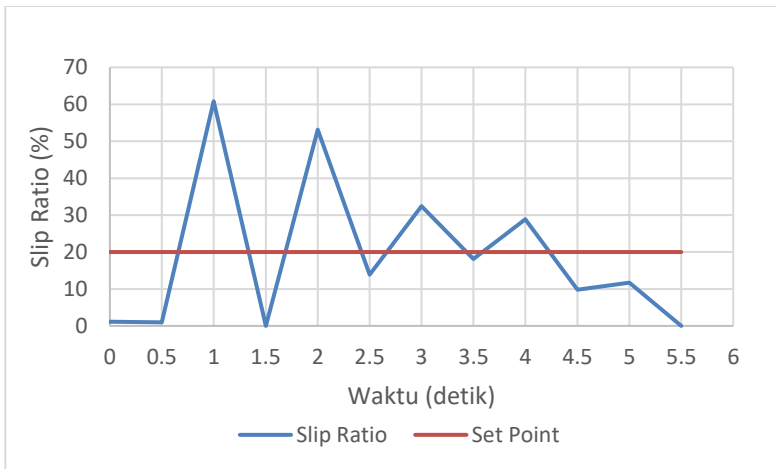


**Gambar 4.4** Respon kecepatan pada uji *closed loop* menggunakan *gain* proporsional ( $K_p$ ) = 0,5

*Slip ratio* yang meningkat menuju 100% menunjukkan bahwa sistem mendekati keadaan *slip* sehingga harus dilakukan aksi yang dapat menghindari keadaan tersebut. Respon selanjutnya yang akan di analisis adalah respon kecepatan roda dan respon kecepatan kendaraan. Kecepatan menjadi hal yang sangat penting diperhatikan dalam *anti-lock braking system* (ABS). Secara umum variabel yang dikontrol adalah *slip ratio*, namun ABS sebenarnya berfungsi untuk menjaga kecepatan roda, agar roda tidak berhenti berputar dan terkunci sehingga saat terjadinya pengereman yang keras *slip* tidak akan terjadi. Hal ini dapat dilakukan dengan menyesuaikan kecepatan roda dengan kecepatan kendaraan secara bersamaan.

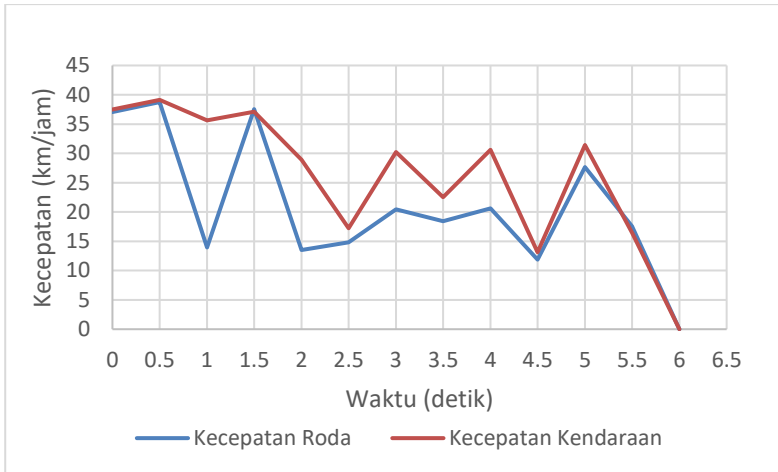
**Gambar 4.4** menunjukkan respon kecepatan sistem ABS dengan pengendalian proporsional (P) menggunakan nilai  $K_p$  sebesar 0,5. Pada waktu ke 0,5 detik dilakukan pengereman pada sistem yang menyebabkan kecepatan roda turun dari 38,75 km/jam menjadi 21,53 km/jam sedangkan kecepatan kendaraan turun dari

39,13 km/jam menjadi 37,14 km/jam, hal ini menyebabkan nilai *slip ratio* naik hingga 42,03%. Dengan naiknya nilai *slip ratio* sistem pengendalian kemudian mulai aktif dan memberikan sinyal ke aktuator sehingga pada waktu ke 1 detik pengereman dalam posisi *release* (tidak rem). Pada waktu ke 1,5 detik sistem mendeteksi bahwa nilai *slip ratio* berada dibawah nilai *set point* sehingga sistem pengendalian kembali memberikan sinyal ke aktuator sehingga posisi operasi sistem pengereman yang sebelumnya dalam kondisi *release* berganti menjadi kondisi *build up* (rem). Seiring dengan aksi yang diberikan ke sistem, *slip ratio* terus berosilasi disekitar 20% namun tidak stabil. Hingga akhirnya pada waktu ke 5 detik kendaraan berhenti.



**Gambar 4.5** Respon *slip ratio* pada uji *closed loop* dengan menggunakan *gain* proporsional ( $K_p$ ) = 1,24

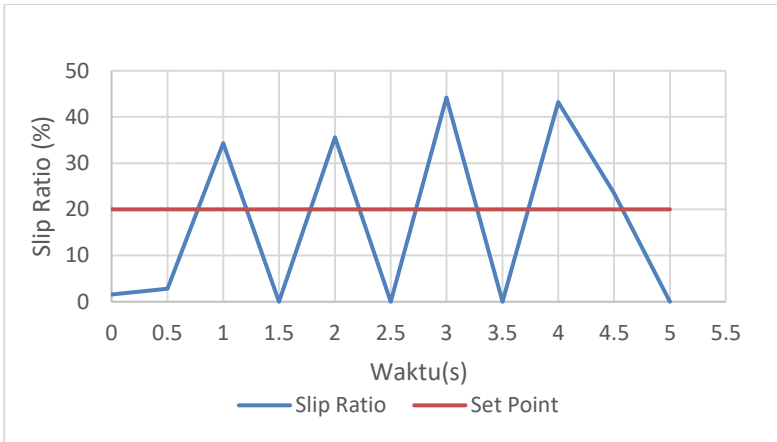
Tidak jauh berbeda dengan grafik respon *slip ratio* **Gambar 4.3**, Pada **Gambar 4.5** menunjukkan respon *slip ratio* dengan pengendalian proporsional menggunakan nilai  $K_p$  sebesar 1,24. Ketika adanya pengereman pada waktu ke 0,5 detik, sistem menuju kondisi slip dengan nilai *slip ratio* mencapai 60,81 %. Aksi langsung diberikan pada sistem sehingga *slip ratio* akan turun kemudian osilasi disekitar 20% sebelum akhirnya berhenti.



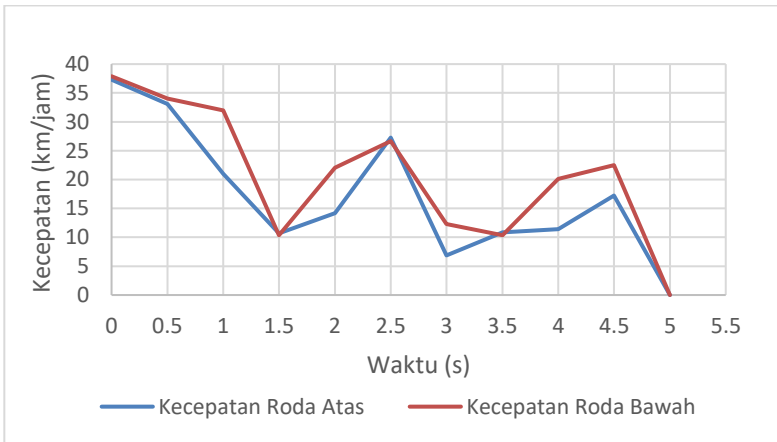
**Gambar 4.6** Respon kecepatan pada uji *closed loop* menggunakan gain proporsional ( $K_p$ ) = 1,24

Jika dilihat dari respon kecepatan pada **Gambar 4.6**, pada waktu ke 0,5 detik kecepatan roda saat terjadi pengereman turun drastis mencapai nilai 13,97 km/jam sedangkan kecepatan kendaraan 35,64 km/jam, hal inilah yang menyebabkan nilai *slip ratio* naik mencapai nilai 60,81%. Aksi kemudian diberikan ke aktuator oleh pengendalian proporsional (P) yang menyebabkan kecepatan roda mulai naik kembali, dan nilai *slip ratio* menjadi turun. Setelah itu sistem pengendalian terus memberikan sinyal ke aktuator yang menyebabkan nilai *slip ratio* berosilasi disekitar *setpoint* dan akhirnya berhenti pada waktu ke 6 detik.

Dilihat dari respon kecepatan **Gambar 4.8**, pada waktu ke 0,5 detik dilakukan pengereman pada sistem yang menyebabkan kecepatan roda menjadi turun hingga mencapai nilai 21 km/jam, sedangkan kecepatan kendaraan hanya sedikit mengalami penurunan yaitu 32 km/jam. Perbedaan kecepatan ini menyebabkan sistem menuju kondisi *slip* dengan nilai *slip ratio* sebesar 34,37 %. Ketika mencapai nilai tersebut sistem pengendalian memberikan sinyal untuk menggerakkan aktuator sehingga kondisi *slip* (*slip ratio* 100%) tidak terjadi dengan cara



**Gambar 4.7** Respon *slip ratio* pada uji *closed loop* dengan menggunakan *gain* proporsional ( $K_p$ ) = 2



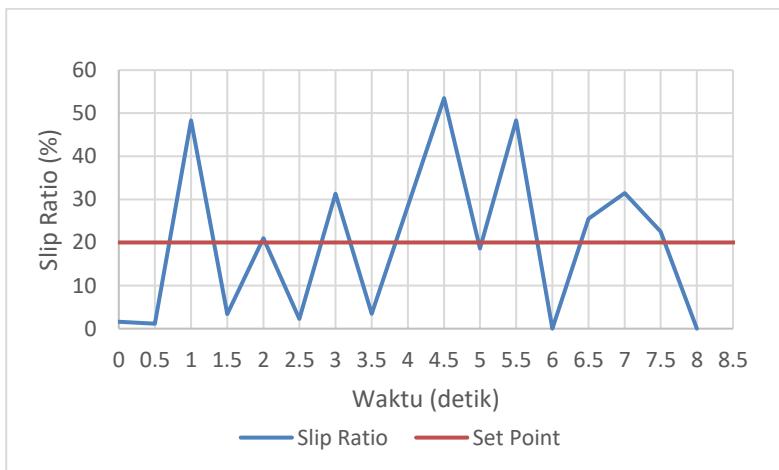
**Gambar 4.8** Respon kecepatan pada uji *closed loop* menggunakan *gain* proporsional ( $K_p$ ) = 2

mengubah kondisi operasi pengereman menjadi *release*. Pada waktu ke 1,5 detik nilai *slip ratio* **Gambar 4.7** turun yang kemudian pada waktu ke 2 detik kembali naik. Hal ini terjadi dikarenakan sistem pengendalian terus memberikan sinyal ke aktuator bergantung

dengan nilai *slip ratio* yang sedang terdeteksi. Ketika nilai *slip ratio* diatas nilai *setpoint* maka sistem pengereman berada diposisi *releas* dan ketika nilai *slip ratio* berdada dibawah nilai *setpoint* maka sistem pengereman dalam posisi *build up*. Secara bergantian posisi operasi ini dijalankan sesuai dengan kondisi yang dibutuhkan sistem pengereman. Sistem kemudian berhenti pada waktu ke 5 detik.

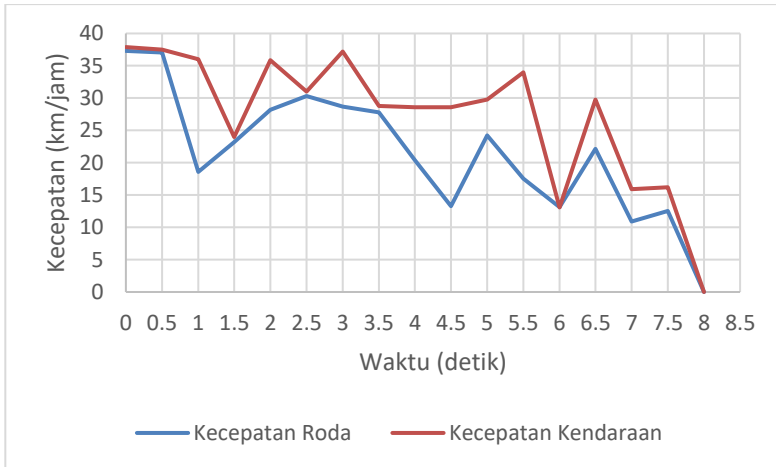
#### 4.4. Uji Close Loop Menggunakan *Sliding Mode-Proportional Control (SMPC)*

Selain menggunakan sistem kontrol proporsional (P), pada penelitian ini juga menggunakan gabungan dari *sliding mode control (SMC)* dengan proporsional (P). Pada **Gambar 4.9** dapat dilihat bahwa pada detik ke 2 nilai *slip ratio* mendektai nilai 20 %



**Gambar 4.9** Respon *slip ratio* pada uji *close loop* dengan menggunakan *sliding mode control (SMC)*

namun turun pada waktu ke 2,5 detik kemudian nilai *slip ratio* meningkat kembali dan berosilasi lagi hingga waktu ke 7,5 detik dan akhirnya berhenti pada waktu ke 8 detik. Jika dilihat dari respon kecepatan sistem **Gambar 4.10**, pada saat terjadi pengereman di waktu ke 0,5 detik, nilai *slip ratio* meningkat

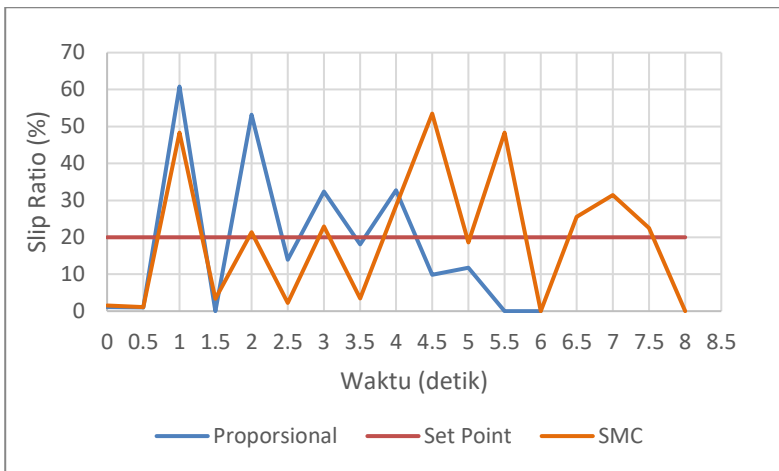


**Gambar 4.10** Respon kecepatan pada uji *close loop* menggunakan *sliding mode control* (SMC)

menjadi 48,35 % dengan kecepatan roda turun menjadi 18,59 % dan kecepatan kendaraan 36 km/jam. Aksi selanjutnya diberikan oleh sistem pengendalian ke aktuator untuk mengurangi nilai *slip ratio* dengan cara mengubah posisi pengereman menjadi *release*. Sehingga sesaat kemudian pada waktu ke 1,5 detik nilai *slip ratio* turun menjadi 3,38 % yang menyebabkan sistem pengendalin kembali memberikan sinyal untuk menaikkan nilai *slip ratio*. Pada waktu ke 2 detik nilai *slip ratio* mulai berosilasi di sekitar *setpoint* dan pada waktu ke 4,5 detik nilai *slip ratio* mulai naik cukup tinggi hingga mencapai 53,49 % dilanjutkan dengan sedikit osilasi dan akhirnya berhenti pada waktu ke 8 detik.

Jika dilihat perbandingan *slip ratio* antara pengendalian proporsional (P) dan *sliding mode control* (SMC), dapat diketahui beberapa karakteristik respon yang berbeda yaitu, pertama waktu berhenti sistem dengan menggunakan *sliding mode control* (SMC) lebih lama dibandingkan dengan pengendalian proporsional (P) yaitu 3,5 detik lebih lama. Kedua, *overshoot* yang dihasilkan sistem dengan pengendalian proporsional (P) lebih besar 12,46 % dibandingkan dengan pengendalian *sliding mode control* (SMC). Namun, pengendalian proporsional (P) dinilai lebih stabil

dibandingkan dengan pengendalian *sliding mode control* (SMC), hal ini dapat diketahui dari **Gambar 4.11**. Pada grafik perbandingan *slip ratio* pengendalian proporsional dan *sliding mode control* (SMC) tersebut dapat dilihat bahwa pada waktu ke 3,5 detik *slip ratio* pada pengendalian SMC meningkat kembali dan berosilasi tidak stabil hingga berhenti pada waktu ke 8 detik, sedangkan pada pengendalian proporsional (P) pada waktu ke 2,5 detik *slip ratio* cukup stabil walaupun pada akhirnya sistem berhenti di waktu ke 6 detik. Hal ini menunjukkan bahwa pengendalian proporsional (P) kurang cocok jika diterapkan bersamaan dengan pengendalian *sliding mode control* (SMC).



**Gambar 4.11** Perbandingan *slip ratio* pengendalian proporsional (P) dan *sliding mode control* (SMC)

“Halaman ini memang dikosongkan”



## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data yang telah dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- Ketika terjadi pengereman yang kuat dan mendadak *slip ratio* terus naik menuju keadaan *slip* (*slip ratio* = 100% dan roda terkunci).
- Hasil respon *slip ratio* dengan pengujian secara *open loop* (tanpa kontroler) menunjukkan bahwa pada waktu ke 1,5 detik *slip ratio* bernilai 100% yang menunjukkan roda telah terkunci.
- Hasil respon kecepatan dengan pengujian secara *open loop* (tanpa kontroler) menunjukkan bahwa pada waktu ke 1,5 detik kecepatan roda bernilai 0 km/jam sedangkan kecepatan kendaraan 30,6 km/jam yang menyebabkan nilai *slip ratio* 100% dan pada akhirnya berhenti pada waktu ke 3 detik.
- Hasil respon *slip ratio* dengan pengujian menggunakan pengendalian proporsional (P) dengan *gain* proporsional sebesar 1,24 menunjukkan bahwa pada waktu ke 1 detik *slip ratio* bernilai 60,81 %, kemudian beresilasi hingga waktu ke 5 detik dan pada waktu ke 6 detik *slip ratio* 0 %.
- Hasil respon kecepatan dengan pengujian menggunakan pengendalian proporsional (P) dengan *gain* proporsional sebesar 1,24 menunjukkan bahwa pada waktu ke 1 detik kecepatan roda 13,97 km/jam sedangkan kecepatan kendaraan sebesar 35,64 km/jam yang menyebabkan nilai *slip ratio* 60,81 %, kecepatan kendaraan dan kecepatan roda terus berubah-ubah dan akhirnya pada waktu ke 6 detik kecepatan roda dan kecepatan kendaraan 0 km/jam atau sistem sudah berhenti.
- Hasil respon *slip ratio* dengan pengujian menggunakan pengendalian *sliding mode control* (SMC) menunjukkan bahwa pada waktu ke 0,5 detik *slip ratio* bernilai 48,35 %.

kemudian beresilasi hingga waktu ke 7,5 detik dan pada waktu ke 8 detik *slip ratio* 0%.

- Hasil respon kecepatan dengan pengujian menggunakan pengendalian *sliding mode control* (SMC) menunjukkan bahwa pada waktu ke 1 detik kecepatan roda 18,59 km/jam sedangkan kecepatan kendaraan sebesar 36 km/jam yang menyebabkan nilai *slip ratio* 48,35 %, kecepatan kendaraan dan kecepatan roda terus berubah-ubah dan akhirnya pada waktu ke 8 detik kecepatan roda dan kecepatan kendaraan 0 km/jam atau sistem sudah berhenti.

## 5.2. Saran

Dalam proses tugas akhir ini terdapat saran yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya yaitu,

- Metode pengendalian yang dipilih untuk mengendalikan *slip ratio* pada ABS harus dapat mengakomodasi ketidaklinieran ABS itu sendiri sehingga menghasilkan sistem ABS yang lebih stabil dan dapat mempertahankan *slip ratio* pada batas yang masih aman.
- Akuisi data menggunakan *tools* yang lebih mumpuni, sehingga dapat menggunakan *time sampling* yang lebih kecil. *Time sampling* yang kecil akan mempermudah sistem pengendalian dikarenakan akan lebih banyak data yang dapat diproses.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aly, A. A., Zeidan, E. S., Hamed, A., & Salem, F. (2011). An Antilock-Braking System (ABS) Control: A Technical Review. *Intelligent Control and Automation*, 186-195.
- Antic, D. (2010). Sliding Mode Control of Anti-Lock Braking System : An Overview. *Automatic Control and Robotics*, 9, 41-58.
- Ardhiantama, A. (2016). *Perancangan Active Fault Tolerant Control Pada Sistem Pengendalian Temperatur Fuel Gas Superheat Burner PT PETROKIMIA GRESIK Dengan Kesalahan Pada Sensor Temperatur*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Chen, C. K., & Wang, Y. C. (1996). Fuzzy Control for Anti-Lock Braking System. *Fuzzy Systems Symposium* (pp. 67-72). Kenting, Taiwan: IEEE.
- Diarnise, S. (2017). *Perancangan Sistem Active Fault Tolerant Control pada Regenerative Anti-Lock Braking System Mobil Listrik dengan Kesalahan pada Aktuator*. Surabaya: Teknik Fisika ITS.
- Guo, J., Jian, X., & Lin, G. (2014). Performance Evaluation of an Anti-Lock Braking System foe Electric Vehicle with a Fuzzy Sliding Mode Controller. *Energies*, 6459-6476.
- Heni, J. (2010, Maret 9). Retrieved Mei 12, 2018, from <http://jendraheni.blogspot.com/2010/03/basic-of-automatic-process-control.html>
- Holkar, K. S., & Waghmare, L. M. (2013). Sliding Mode Control with Predictive PID Sliding Surface for Improved Performance. *International Journal of Computer Application*, 1-5.

- Johansen, T. A., Petersen, J., Kalkkuhl, J., & Ludermann, J. (2003). Gain-scheduled wheel. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 799-811.
- Liu, J., & Wang, X. (2012). *Advanced Sliding Mode Control for Mechanical Systems*. Tsinghua University Press, Beijing and Springer-Verlag Berlin Heidelberg: Springer.
- Nasir, A. N., Ismail, R. M., & Ahmad, M. A. (2010). Performance Comparison between Sliding Mode Control (SMC) and PD-PID Controllers for a Nonlinear Inverted Pendulum System. *International Journal of Computer, Electricalm Automation, Control and Information Engineering*, 1-6.
- Nishi, Y., & Inagaki, T. (2017). *Performance and Flow Field of a Gravitation Vortex Type Water Turbine*.
- Ogata, K. (2010). *Modern Control Engineering*. *United States of America: Pearson Prentice Hall*.
- Rahmani, M., Ghanbari, A., & Ettefagh, M. M. (2016). Robust Adaptive Control of a Bioinspired Robot Manipulator Using Bat Algorithm. *Expert Systems with Applications* 56, 164-176.
- Stanislaw, H. Z. (2002). Designing a Genetic Neural Fuzzy Anti-lock Brake System Controller. *IEEE*, 198-211.
- Statistik, B. P. (n.d.). *Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor*. (Badan Pusat Statistik) Retrieved 01 15, 2019, from <https://www.bps.go.id/linkTableDinamis/view/id/1133>
- Wabco, M. (1999). *Anti-Lock Braking System Training Program: Student Manual*. Troy, MI USA: Meritor WABCO Vehicle Control System.

## Lampiran A

Tabel A.1

Uji Pengendalian Proporsional (P) dengan  $K_p = 0.5$

| Time (s) | Set Point (%) | Kecepatan Roda (Km/jam) | Kecepatan Kendaraan (Km/jam) | Slip Ratio (%) |
|----------|---------------|-------------------------|------------------------------|----------------|
| 0        | 20            | 38.75                   | 39.13                        | 0.98           |
| 0.5      | 20            | 38.75                   | 39.13                        | 0.98           |
| 1        | 20            | 21.53                   | 37.14                        | 42.03          |
| 1.5      | 20            | 36.41                   | 36.36                        | 0              |
| 2        | 20            | 22                      | 30.77                        | 28.5           |
| 2.5      | 20            | 16.19                   | 18.03                        | 10.24          |
| 3        | 20            | 22.24                   | 30.25                        | 26.47          |
| 3.5      | 20            | 17.5                    | 17.91                        | 2.28           |
| 4        | 20            | 20.15                   | 28.57                        | 29.46          |
| 4.5      | 20            | 16.88                   | 16.74                        | 0              |
| 5        | 20            | 0                       | 0                            | 0              |

Tabel A.2

Uji Pengendalian Proporsional (P) dengan  $K_p = 1.24$

| Time (s) | Set Point (%) | Kecepatan Roda Atas (Km/jam) | Kecepatan Roda Bawah (Km/jam) | Slip Ratio (%) |
|----------|---------------|------------------------------|-------------------------------|----------------|
| 0        | 20            | 37.07                        | 37.5                          | 1.14           |
| 0.5      | 20            | 38.75                        | 39.13                         | 0.98           |
| 1        | 20            | 13.97                        | 35.64                         | 60.81          |
| 1.5      | 20            | 37.54                        | 37.11                         | 0              |
| 2        | 20            | 13.53                        | 28.89                         | 53.16          |
| 2.5      | 20            | 14.83                        | 17.22                         | 13.91          |

|     |    |       |       |       |
|-----|----|-------|-------|-------|
| 3   | 20 | 20.45 | 30.25 | 32.39 |
| 3.5 | 20 | 18.42 | 22.5  | 18.12 |
| 4   | 20 | 20.61 | 30.62 | 32.69 |
| 4.5 | 20 | 11.85 | 13.14 | 9.84  |
| 5   | 20 | 27.68 | 31.44 | 11.73 |
| 5.5 | 20 | 17.56 | 16.44 | 0     |
| 6   | 20 | 0     | 0     | 0     |

Tabel A.3

Uji Pengendalian Proporsional (P) dengan  $K_p = 2$ 

| Time (s) | Set Point (%) | Kecepatan Roda Atas (Km/jam) | Kecepatan Roda Atas (Km/jam) | Slip Ratio (%) |
|----------|---------------|------------------------------|------------------------------|----------------|
| 0        | 20            | 37.3                         | 37.89                        | 1.56           |
| 0.5      | 20            | 33.07                        | 34.03                        | 2.82           |
| 1        | 20            | 21                           | 32                           | 34.37          |
| 1.5      | 20            | 10.66                        | 10.38                        | 0              |
| 2        | 20            | 14.19                        | 22.03                        | 35.59          |
| 2.5      | 20            | 27.29                        | 26.67                        | 0              |
| 3        | 20            | 6.86                         | 12.29                        | 44.2           |
| 3.5      | 20            | 10.88                        | 10.34                        | 0              |
| 4        | 20            | 11.42                        | 20.14                        | 43.23          |
| 4.5      | 20            | 17.21                        | 22.5                         | 23.51          |
| 5        | 20            | 0                            | 0                            | 0              |

Tabel A.4

Uji Pengendalian *Sliding Mode Control*

| Time (s) | Set Point (%) | Kecepatan Roda Atas (Km/jam) | Kecepatan Roda Bawah (Km/jam) | Slip Ratio (%) |
|----------|---------------|------------------------------|-------------------------------|----------------|
| 0        | 20            | 37.3                         | 37.89                         | 1.56           |
| 0.5      | 20            | 37.07                        | 37.5                          | 1.14           |

|     |    |       |       |       |
|-----|----|-------|-------|-------|
| 1   | 20 | 18.59 | 36    | 48.35 |
| 1.5 | 20 | 23.19 | 24    | 3.38  |
| 2   | 20 | 28.17 | 35.88 | 21.4  |
| 2.5 | 20 | 30.33 | 31.03 | 2.26  |
| 3   | 20 | 28.66 | 37.18 | 22.9  |
| 3.5 | 20 | 27.81 | 28.8  | 3.45  |
| 4   | 20 | 20.43 | 28.57 | 28.5  |
| 4.5 | 20 | 13.29 | 28.57 | 53.49 |
| 5   | 20 | 24.22 | 29.75 | 18.6  |
| 5.5 | 20 | 17.56 | 33.96 | 48.29 |
| 6   | 20 | 13.12 | 13.1  | 0     |
| 6.5 | 20 | 22.16 | 29.75 | 25.51 |
| 7   | 20 | 10.92 | 15.93 | 31.45 |
| 7.5 | 20 | 12.56 | 16.22 | 22.52 |
| 8   | 20 | 0     | 0     | 0     |



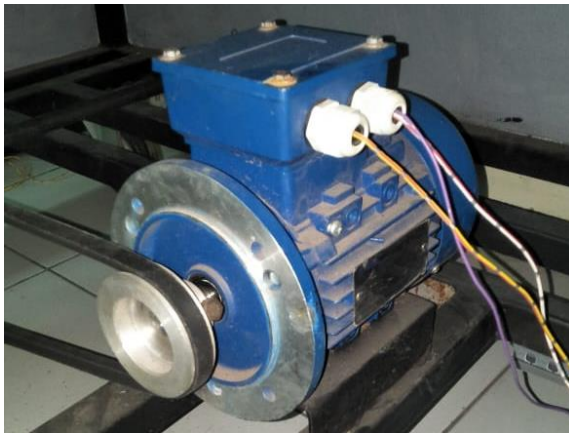


## Lampiran B

### Foto-Foto Alat Penelitian



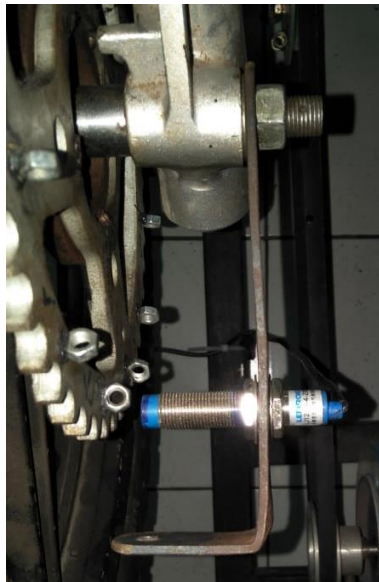
Gambar B.1. Plant ABS



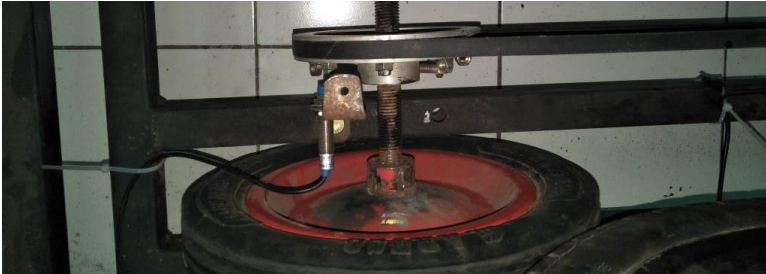
Gambar B.2. Motor Penggerak



Gambar B.3. Driver Motor AC



Gambar B.4. Sensor Kecepatan Roda Atas



Gambar B.5. Sensor Kecepatan Roda Bawah



Gambar B.6. Solenoid Valve



## Lampiran C

### Source Code

```

/*****
*****
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 tesp0f;
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 <mega16a.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)

```

```
{  
}  
  
// Standard Input/Output functions  
  
// Timer1 overflow interrupt service routine  
interrupt [TIM1_OVF] void timer1_ovf_isr(void)  
{  
    // Reinitialize Timer1 value  
    TCNT1H=0xFFF4 >> 8;  
    TCNT1L=0xFFF4 & 0xff;  
    print++;  
    period++;  
  
    if(PINB.1==0){  
        if(period>=out+ud&&period<=500){  
            DDRD.6=0;  
        }  
        else{  
            DDRD.6=1;  
        }  
    }  
    else{  
        DDRD.6=0;  
    }  
  
    if(bool0==1){  
        tespinn++;  
        //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;
```



```

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

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");
}

if(print==1000){print=0;}
if(period==500){period=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<<ACI) | (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");
    }
}

```



## BIODATA PENULIS



Nama Satria Panji Wibowo, dilahirkan di Sungailiat, tanggal 01 November 1997. Alamat penulis yaitu di Desa Bukit Layang, RT05 Kecamatan Bakam, Kabupaten Bangka, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. Penulis telah menyelesaikan pendidikan di SDN 01 Bukit Layang, pendidikan di SMP Negeri 2 Sungailiat, pendidikan di SMA Negeri 1 Sungailiat, Diploma 3 Elektronika dan Instrumentasi Universitas Gadjah Mada dan sedang menempuh pendidikan S1 Teknik Fisika di ITS hingga sekarang. Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir ini maka dapat menghubungi penulis melalui email : [spanji2014@gmail.com](mailto:spanji2014@gmail.com).

