



TUGAS AKHIR - TF 181801

**RANCANG BANGUN KONTROL *PROPORTIONAL (P)*
PADA *REGENERATIVE ANTI-LOCK BRAKING*
*SYSTEM***

Moh. Erdianto Triputradi
NRP. 0231164000005

Dosen Pembimbing:
Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, S.T., M.T.

Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri Dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT - TF 181801

**RANCANG BANGUN KONTROL *PROPORTIONAL (P)* PADA
*REGENERATIVE ANTI-LOCK BRAKING SYSTEM***

Moh. Erdianto Triputradi
NRP. 02311640000005

Supervisor:
Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, S.T., M.T.

*Department Of Engineering Physics
Faculty of Industrial Technology and System Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020*

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini.

Nama : Moh.Erdianto Triputradi
NRP : 02311640000005
Departemen / Prodi : Teknik Fisika / S1 Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri & Rekayasa Sistem (FT-IRS)
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “**RANCANG BANGUN KONTROL *PROPORTIONAL (P)* PADA *REGENERATIVE ANTI-LOCK BRAKING SYSTEM*” 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 sebenarnya-benarnya.

Surabaya, 26 Juni 2020

Yang membuat pernyataan,



Moh. Erdianto Triputradi

NRP. 02311640000005

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**RANCANG BANGUN KONTROL *PROPORTIONAL (P)* PADA
*REGENERATIVE ANTI-LOCK BRAKING SYSTEM***

Oleh:

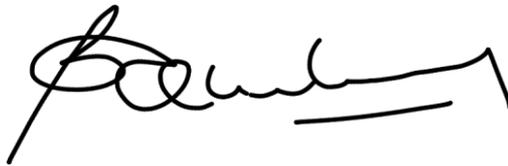
Moh. Erdianto Triputradi

NRP. 0231164000005

Surabaya, 28 Juli 2020

Menyetujui,

Pembimbing



Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, S.T., M.T.

NIP. 19690507 1995121 001

Mengetahui,
Kepala Departemen
Teknik Fisika FT-IRS



Dr. Suyanto, S.T., M.T.
NIP. 197111131995121002

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

RANCANG BANGUN KONTROL *PROPORTIONAL (P)* PADA *REGENERATIVE ANTI-LOCK BRAKING SYSTEM*

TUGAS AKHIR

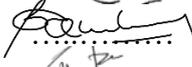
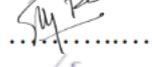
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri & Rekayasa Sistem (FT-IRS)
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Moh.Erdianto Triputradi

NRP. 0231164000005

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

- | | | |
|--|--|-----------------|
| 1. Dr. Katherin Indriawati, S.T., M.T. |  | (Ketua Penguji) |
| 2. Dr. Bambang Lelono W, S.T., M.T. |  | (Pembimbing I) |
| 3. Dr. Suyanto, S.T., M.T. |  | (Penguji I) |
| 4. Lizda Johar Mawarani, S.T., M.T |  | (Penguji II) |

SURABAYA

2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

RANCANG BANGUN KONTROL *PROPORTIONAL (P)* PADA *REGENERATIVE ANTI-LOCK BRAKING SYSTEM*

Nama : Moh. Erdianto Triputradi
NRP : 0231164000005
Departemen : Teknik Fisika FT-IRS – ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, S.T., M.T.

ABSTRAK

Persaingan dalam pengembangan teknologi pada mobil listrik di dunia semakin pesat, termasuk meningkatkan efisiensi dalam penggunaan energy , salah satu pengembangan yang dilakukan ilmuwan adalah pengereman *regenerative*. Pengereman *regenerative* merupakan sistem pengereman dengan jalan mengkonversikan energi mekanis sistem menjadi bentuk energi lain yang dapat disimpan pada baterai untuk digunakan kembali. Penelitian ini dirancang sistem pengereman *regenerative* sebagai *anti-lock braking system*, dengan menggunakan aktuator pengereman *hidraulik control unit* yang dikendalikan oleh Arduino uno, dan sensor pembagi tegangan untuk mengetahui kapasitas baterai saat pengereman. Pengendalian nilai *slip ratio* menggunakan kontrol *proportional*. Berdasarkan 5 variasi nilai KP yang di tentukan menggunakan metode *trial and eror*, menunjukkan bahwa hasil grafik kenaikan *overshoot* terbaik pada KP = 1,5 sebesar 20% dan persentase kenaikan kapasitas beteraai paling tinggi saat *regenerative* ada pada KP =1,25, sebesar 0,86%

Kata kunci: *regenerative, anti-lock braking system, proportional*

Halaman ini sengaja dikosongkan

**DESIGN CONTROL OF PROPORTIONAL IN
REGENERATIVE ANTI-LOCK BRAKING SYSTEM**

Name : Moh.Erdianto Triputradi
NRP : 0231164000005
Department : Engineering Physics FT-IRS - ITS
Supervisors : Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, S.T., M.T.

ABSTRACT

The technology development of electric cars in the world is growing rapidly, including increasing the efficiency of energy use, one of them is regenerative braking. Regenerative braking is a braking system by converting the system's mechanical energy to other energy forms that can be stored in batteries for reuse. This research is designed regenerative braking system as anti-lock braking system, using a braking actuator of hydraulic control unit that is controlled by Arduino uno, and a voltage dividing sensor to determine the battery capacity when braking time. Control of slip ratio using proportional control. Based on the 5 variations of the KP values determined using the trial and error method, the graph shows the best overshoot increase in $KP = 1,5$ by 20% and the highest percentage increase in the state of charging with a KP value of 1,25 by 0,86%

Keywords: *regenerative, anti-lock braking system, proportional*

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT karena atas berkah, rahmat-Nya saya dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul, “Rancang bangun kontrol *proportional* pada *regenerative anti-lock braking system* “. Tugas ini merupakan salah satu prasyarat meraih gelar sarjana di Departemen Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri Dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (FT-IRS ITS). Selama penyusunan Laporan Progress ini, saya banyak mendapat bimbingan, bantuan dan dorongan dari berbagai pihak. Untuk itu saya ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Suyanto, S.T, M.T., selaku Ketua Departemen Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
2. Ibu Katherin Indriawati, S.T,MT. selaku Kepala Laboratorium *Embedded Cyber System* yang telah memberikan waktu, tenaga dan ilmu dalam penyelesaian proposal tesis ini.
3. Bapak Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, S.T, M.T., selaku Dosen Pembimbing di Laboratorium *Embedded Cyber System* atas bimbingan dan saran yang telah diberikan
4. Bapak dan Ibu Dosen Pengajar serta seluruh karyawan jurusan Teknik Fisika FT-IRS ITS Surabaya.
5. Keluarga besar Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), khususnya teman-teman Teknik Fisika ITS 2016 atas semua dukungan, semangat, serta kerjasamanya.
6. Teman-teman di Laboratorium *Embedded Cyber System*.

Saya menyadari bahwa penulisan laporan ini masih banyak kekurangan oleh karena itu saya sangat mengharapkan saran dan masukan yang konstruktif untuk kesempurnaan laporan ini.

Surabaya, 26 Juni 2020

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
COVER PAGE.....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
LEMBAR PENGESAHAN	ix
ABSTRAK	xi
ABSTRACT.....	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 TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	5
2.1 <i>Anti-lock Braking System</i>	5
2.2 <i>PID Controller</i>	6
2.3 <i>Motor Brushless Direct Current</i>	7
2.4 <i>Regenerative Braking System</i>	8
2.5 Komponen Pada <i>Plant</i> Sistem Pengereman <i>Regenerative ABS</i>	9
2.6 Mikrokontroler Arduino Uno	13

2.7	<i>Stoboscope</i> Lutron DT-2239A-	14
2.8	Baterai Li-on	15
2.9	Persamaan Dinamik pada <i>Plant Anti-lock braking system</i>	15
2.10	<i>State of Charge</i> SOC.....	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		19
3.1	Studi Literatur	19
3.2	Rancang Bangun <i>Plant Regenerative Anti-lock braking system</i>	20
3.3	Uji Validasi <i>Plant Regenerative ABS</i>	22
3.4	Perancangan Sistem Kendali Proporsional (P)	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		25
4.1	Kalibrasi Sensor	25
4.2	Uji Validasi Model <i>Plant R-ABS</i>	27
4.3	Uji Closed Loop Menggunakan Kontrol <i>Proportional (P)</i>	28
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		39
5.1	Kesimpulan	39
5.2	Saran	39
DAFTAR PUSTAKA.....		40
LAMPIRAN TABEL		42
BIODATA PENULIS.....		58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Perbandingan koefisien gesek pada permukaan jalan tertentu dengan <i>slip</i> rasio roda.....	6
Gambar 2.2 Ilustrasi motor BLDC	8
Gambar 2.3 <i>Regenerative anti-lock braking system</i>	9
Gambar 2.4 Master silinder	10
Gambar 2.5 Selenoid valve.....	11
Gambar 2.6 <i>Brake switch</i>	11
Gambar 2.7 <i>Sensor proximity</i>	12
Gambar 2.8 Board Arduino Uno	14
Gambar 2.9 <i>Stroboscopes</i>	14
Gambar 2.10 Baterai.....	15
Gambar 2.11 Persamaan matematis <i>plant ABS</i>	16
Gambar 2.12 Grafik SOC baterai Li-ion 48 volt	17
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> penelitian.....	19
Gambar 3.2 Skema <i>plant regenerative anti-lock braking system</i>	20
Gambar 3.3 Rangkaian <i>voltage divider</i>	21
Gambar 3.4 Diagram blok monitoring <i>regenerative</i>	21
Gambar 3.5 Blok diagram pengendalian <i>proportional</i>	23
Gambar 4.1 Respon <i>slip ratio open loop</i>	27
Gambar 4.2 Respon kecepatan <i>open loop</i>	28
Gambar 4.3 Respon <i>slip ratio</i> $KP = 1$	29
Gambar 4.4 Respon kecepatan $KP = 1$	29
Gambar 4.5 Nilai <i>state of charging</i> baterai $KP = 1$	30
Gambar 4.6 Respon <i>slip ratio</i> $KP = 1,5$	31
Gambar 4.7 Respon kecepatan $KP = 1,5$	31
Gambar 4.8 Nilai <i>state of charging</i> baterai $KP = 1,5$	32
Gambar 4.9 Respon <i>slip ratio</i> $KP = 1,25$	32
Gambar 4.10 Respon kecepatan $KP = 1,25$	33
Gambar 4.11 Nilai <i>state of charging</i> baterai $KP = 1,25$	33

Gambar 4.12 Respon <i>slip ratio</i> KP = 2.....	34
Gambar 4.13 Respon kecepatan KP = 2	34
Gambar 4.14 Nilai <i>state of charging</i> baterai KP = 2	35
Gambar 4.15 Respon <i>slip ratio</i> KP = 3.....	36
Gambar 4.16 Respon kecepatan KP = 3	36
Gambar 4.17 Nilai <i>state of charging</i> baterai KP = 3	37

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Data kalibrasi sensor <i>proximity</i>	25
Tabel 4.2 Data kalibrasi sensor pembagi tegangan	26

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan masyarakat terhadap penggunaan alat transportasi yang aman dan nyaman mendorong perkembangan teknologi di bidang otomotif, khususnya alat transportasi berupa mobil. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2018 jumlah kendaraan bermotor mencapai sekitar 146,5 juta unit kendaraan (BPS, 2018). Saat ini, penggunaan kendaraan berbahan bakar minyak atau fosil masih banyak. Tingginya pertumbuhan kendaraan berbahan bakar fosil menyebabkan dampak yang serius seperti polusi udara dan pemanasan global serta sumber energi fosil tidak dapat diperbaharui (Faiz, et al., 1996). Oleh karena itu dibutuhkan teknologi yang lebih ramah lingkungan, salah satunya adalah kendaraan listrik atau *electric vehicle* (EV). Kendaraan listrik lebih ramah lingkungan karena tidak mengeluarkan emisi gas buang serta lebih efisien dalam penggunaan energi (Anair & Mahmssani, 2012).

Setiap kendaraan memiliki berbagai sistem yang penting, salah satunya adalah sistem pengereman. Sistem pengereman yang umumnya digunakan pada mobil ialah pengereman hidrolik dimana energi kinetik diubah menjadi energi panas akibat gesekan yang terjadi (Guo, Jian, & Lin, 2014). Sistem pengereman sendiri memiliki peran penting dalam keselamatan pengguna kendaraan yaitu untuk mengurangi kecepatan dan mempertahankan kendali. Apabila terjadi kegagalan pengereman, dapat membahayakan nyawa pengendara. Penyebab kegagalan yang sering terjadi diakibatkan adanya *lock* pada roda yang dapat mengakibatkan kendaraan tergelincir dan kehilangan kendali. Oleh karena itu, agar dapat mengurangi *lock* pada roda kendaraan digunakan sistem *anti-lock braking* pada kendaraan (Aly y. A., Zeidan, Hamed, & Salem, 2011)

Selama proses pengereman mobil, terjadi gesekan antara kampas rem dengan roda yang mengakibatkan adanya energi yang terbuang. Bagi mobil listrik, energi yang terbuang menjadi permasalahan karena terbatasnya energi yang dapat disimpan dalam baterai mobil listrik (Bruen, Marco, & Gama, 2015). Untuk mengatasi efisiensi energi dalam proses pengereman mobil listrik, mulai dikembangkan sistem pengereman yang disebut dengan *regenerative braking system* (RBS). RBS digunakan untuk mengubah energi yang terbuang selama proses pengereman menjadi energi listrik yang dapat digunakan untuk mengisi energi pada baterai kendaraan listrik dan akan mengurangi kecepatan kendaraan (Fahmi, Ashari, & Suryoatmojo, 2013). Perancangan *regenerative anti-lock braking system* terdiri dari komponen-komponen yang saling mendukung agar dapat berjalan dengan baik.

Berdasarkan uraian tersebut, maka permasalahan yang diangkat dalam penelitian tugas akhir ini adalah rancang bangun kontrol *proporsional* (P) pada *regenerative anti-lock brakings system* (RBS) sehingga di hasilkan suatu sistem pengereman yang dapat terhindar dari terkuncinya roda dan meningkatkan efisiensi energi.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka didapatkan permasalahan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a) Bagaimana merancang sistem pengereman *regenerative anti-lock braking system* (RABS) dengan menggunakan kontrol *proportional*?
- b) Bagaimana respon dari sistem kontrol pada *regenerative anti-lock braking system* (RABS) menggunakan kontrol *proportional* ?

1.3 Tujuan

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

- a) Merancang pengereman *regenerative anti-lock braking system* (RABS) menggunakan kontrol *proportional*
- b) Mengetahui respon dari sistem *regenerative anti-lock braking system* (RABS) menggunakan kontrol *proportional*

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a) Kendaraan yang ditinjau pemodelannya adalah *quarter car model* (QCM)
- b) Proses *charging*, *discharging* baterai tidak digunakan
- c) Dalam pengujian *regenerative* menggunakan metode *state of charging* dengan variable yang diukur adalah tegangan
- d) Kendaraan diasumsikan berada pada lintasan lurus, datar, kering dan tidak bergelombang.
- e) Perancangan sistem kontrol menggunakan Arduino Uno.
- f) Nilai *set point* adalah 0.2 berdasarkan nilai *slip ratio* optimal pada kondisi jalan aspal kering.

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 TINJAUAN PUSTAKA**

Bab 2 berisi penjelasan mengenai teori yang dapat menunjang dalam tugas akhir ini, seperti pengertian dari *anti-lock braking system* (ABS), komponen penunjang RABS, Pengertian *Regenerative* dan pengendalian *proportional*.

- **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 RABS dengan sistem kendali *proportional*

- **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.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

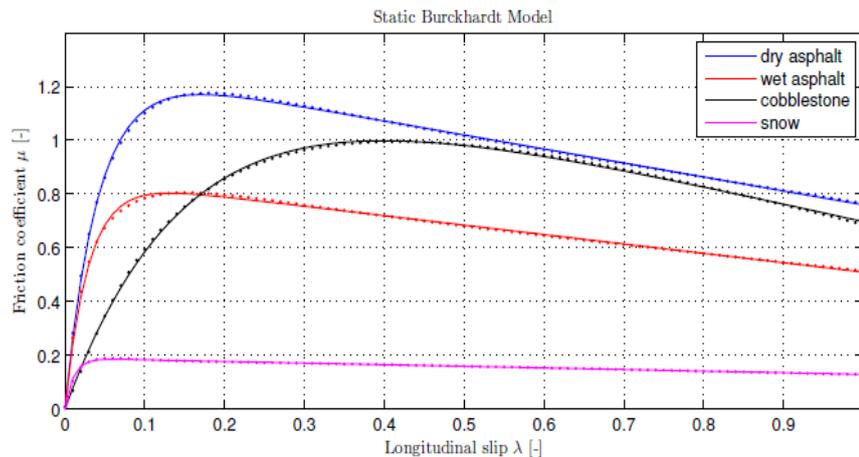
2.1 *Anti-lock Braking System*

Anti-lock braking system (ABS) merupakan sistem teknologi keselamatan digunakan untuk mengontrol dinamika kendaraan saat pengereman secara mendadak. Sistem (ABS), *slip* longitudinal roda diatur pada nilai optimal untuk mendapatkan gaya pengereman yang maksimum. Dengan begitu, jarak berhenti minimum untuk kendaraan tercapai dan stabilitasnya dapat dipertahankan.

Ban yang terkunci saat pengereman akan menurunkan koefisien gesek ke nilai gesernya. Mengakibatkan ban kehilangan stabilitas arah kendaraan saat berputar dan jarak henti kendaraan akan lama.

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

Perbandingan variasi atau koefisien permukaan jalan dapat dilihat dari grafik fungsi non-linier antara koefisien jalan (μ) dengan *rasio slip* (λ) untuk kondisi spesifik jalan tertentu. **Gambar 2.1**



Gambar 2.1 Perbandingan koefisien gesek pada permukaan jalan tertentu dengan *slip* rasio roda

(Doumiati, Charara, Victorino, & Lechner, 2012)

Gambar 2.1 dilihat bahwa saat kondisi jalan bersalju dan es, gesekan antara ban dan jalan mengakibatkan nilai μ (*breaking effort coefficient*) sangat rendah dan beresiko *slip* roda akan semakin tinggi. Kondisi jalan aspal kering dan beton kering dapat dikatakan kondisi jalan normal, gesekan memiliki μ yang besar, sehingga resiko roda akan *slip* menjadi sangat rendah.

Berdasarkan penelitian (Aly y. A., Zeidan, Hamed, & Salem, 2011). rasio *slip* (λ) dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan (2.1)

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

Dengan v adalah kecepatan kendaraan (m/s), adalah kecepatan angular roda (rad/s) dan R adalah jari-jari putaran roda (m). Nilai rasio *slip* 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.

2.2 PID Controller

Sistem pengendalian adalah gabungan dari kerja suatu komponen yang digunakan untuk mempertahankan variabel yang dikendalikan yaitu *process*

variable pada suatu nilai (*set point*) agar sistem dapat stabil. Berkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi menjadikan sebuah sistem dapat dikendalikan dengan unit otomatis

Pengendalian *proportional-integral-derivative* (PID) dapat dikatakan sebagai algoritma terbaik karena keefektifannya. Karakteristik pengendali PID dipengaruhi oleh parameter P, I dan D. Pengaturan konstanta KP, Ti dan Td akan menunjukkan sifat dari tiap parameter.

Pengendali *proportional* memiliki kelebihan yaitu mempercepat *rise time* sehingga respon dari sistem cepat mencapai *set point*, dan memiliki kekurangan yaitu meninggalkan *offset*.

Sinyal kontrol pengendalian *proportional* dapat dilihat pada persamaan (2.3), dimana KP adalah *gain* kontrol *proporsional* yang nilainya didapatkan melalui *tuning* atau dengan *trial and error*

$$u(t) = Kp \cdot e(t) \quad (2.2)$$

Berikut parameter dalam algoritma PID dalam suatu sistem *closed loop* yaitu :

- *Maximum (percent) overshoot* persamaan (2) adalah nilai puncak tertinggi respon sistem pengukuran terhadap keadaan yang diinginkan.
- *Settling time* adalah waktu respon sistem untuk mencapai dan berada direntang $\pm 5\%$ atau $\pm 2\%$ dari keadaan yang diinginkan (Ogata, 2010).
- *Error steady state* (Ardhiantama, 2016).

Berikut yang diperhatikan pada nilai dari KP:

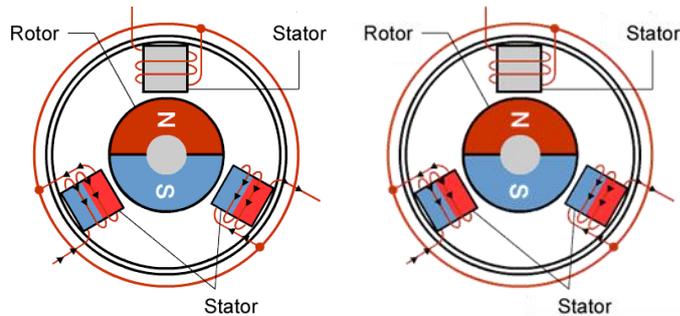
- Jika nilai KP kecil, mode kontrol *proporsional* hanya mampu melakukan koreksi kesalahan yang kecil dan menghasilkan respon sistem yang lambat.
- Jika nilai KP dinaikkan, respon sistem akan cepat mencapai keadaan stabilnya.
- Namun jika nilai KP diperbesar secara berlebihan akan menjadikan sistem bekerja tidak stabil.

2.3 Motor Brushless Direct Current

Motor *brushless direct current* (BLDC) merupakan motor atau sistem penggerak dengan sumber arus listrik DC yang tak memiliki sikat sebagai

commutator . BLDC memiliki beberapa kelebihan dibanding brushed DC motor dan motor induksi, yaitu torsi-kecepatan yang lebih baik, efisiensi tinggi, range kecepatan yang lebih tinggi, dan sedikit *noise*.

Berikut Ilustrasi dari irisan melintang motor BLDC :



Gambar 2.2 Ilustrasi motor BLDC

(Electronic, n.d.)

Motor BLDC memiliki dua bagian penting, yaitu *rotor* bagian yang bergerak terbuat dari permanen magnet dan *stator* bagian yang tidak bergerak dan terbuat dari kumparan 3 fasa.

BLDC menggunakan sumber DC sebagai sumber energi utama yang kemudian diubah menjadi tegangan AC. *Inverter* 3 fasa inilah BLDC akan menciptakan medan magnet yang berubah pada *stator* agar menarik magnet *rotor*.

Komutasi yang tepat pada motor BLDC yang dikendalikan secara elektronik oleh kontroler untuk menjaga torsi serta kecepatan motor sangat diperlukan karena BLDC tidak memiliki Brush.

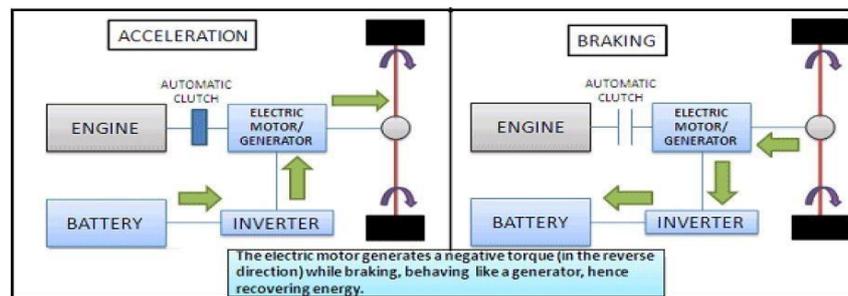
Kontroler bertugas menentukan kumparan mana untuk dialiri arus dengan referensi dari sensor *hall effect* pada stator. Sensor *hall effect* mendeteksi keberadaan rotor dengan cara mengirim sinyal *high* atau *low* untuk menandakan lokasi dari kutub magnet yang ada di rotor (Yedamale, 2003). Aliran arus yang menuju ke motor diatur oleh inverter yang menerima perintah dari kontroler.

2.4 Regenerative Braking System

Regenerative braking system adalah metode pengereman yang memanfaatkan energi mekanik dari motor dan mengubah energi kinetik menjadi energi listrik yang dikembalikan ke baterai. Pengereman *regenerative braking* akan menyebabkan kendaraan melambat karena motor bekerja secara *reverse*. Motor

akan bekerja sebagai generator sehingga menghasilkan listrik yang nantinya akan masuk kedalam inverter, sebelum digunakan sebagai pengisian baterai

Pada saat motor tersupply baterai, maka motor akan berputar maju (*forward*) yang mengakibatkan daya baterai akan berkurang dan sebaliknya, saat motor menghasilkan listrik (sebagai generator), motor akan berputar mundur (*revers*) berakibat putaran motor terjadi perlambatan. Hal tersebut disebabkan oleh adanya tegangan balik pada motor atau *back EMF* (*electromagnetic force*).



Gambar 2.3 *Regenerative anti-lock braking system configuration*

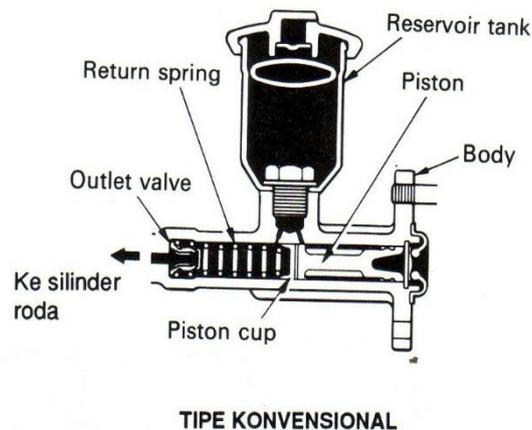
(Maliye, 2014)

2.5 Komponen Pada *Plant* Sistem Pengereman *Regenerative ABS*

Plant ABS memiliki komponen yang dapat menunjang kinerja dari ABS tersebut. Terdapat tiga komponen utama yang diperlukan untuk membuat suatu sistem ABS:

a) **Master Silinder**

Master silinder berfungsi untuk menaikkan tekanan pada pedal saat pengemudi melakukan aksi pada pedal. Akibat tekanan yang dilakukan pedal akan mengubah menjadi tekanan hidrolik untuk menekan piston di kaliper pada roda



Gambar 2.4 Master silinder

(Peng, 2008)

Master silinder memiliki reservoir tank yang berfungsi untuk menampung cairan rem pada kendaraan. Sistem rem hidrolik tipe *tromol* maupun *cakram* masih menggunakan master.

b) Solenoid Valve

Solenoid valve merupakan katup yang dikendalikan oleh listrik arus AC atau DC. *Solenoid valve* ini merupakan elemen kontrol yang umum digunakan dalam sistem fluida. Seperti pada sistem pneumatik, sistem hidrolik dan sistem kontrol mesin yang membutuhkan elemen kontrol otomatis.

Prinsip kerja dari *solenoid valve* yaitu katup listrik yang mempunyai koil untuk mengaktifkan. Saat koil berubah menjadi medan magnet setelah tersupply tegangan. Koil seketika akan menjadi medan magnet yang menggerakkan *piston* di bagian dalamnya. ketika piston bertekanan berasal dari *supply (service unit)*. *Solenoid valve pneumatic* umumnya ini mempunyai tegangan kerja DC sebesar 12 – 24 VDC.

Berikut gambar *solenoid valve* untuk fluida kerja cair:



Gambar 2.5 Selenoid valve

(Peng, 2008)

c) **Brake Switch**

Switch berfungsi untuk mengaktifkan ataupun mematikan sistem ABS yang memiliki 2 kaki untuk mengubungkan kabel ke aki agar mendapatkan tegangan 5V. Peletakkan kutub positif atau *negative* pada *brake switch* tidak terlalu di perhatikan karena hanya bertugas memutus arus.



Gambar 2.6 Brake switch

(Peng, 2008)

d) **Sensor Kecepatan**

Sensor *proximity* adalah sensor kecepatan yang digunakan untuk mengetahui kecepatan roda. Sensor ini diletakkan diatas piringan gerigi yang langsung berhubungan dengan poros putaran roda. Putaran yang dihasilkan oleh roda akan

menyebabkan terjadinya perubahan fluks magnetik sensor. Aksi Medan magnet yang inilah yang akan menginduksi tegangan pada koil yang diukur.

Kecepatan putar roda dihasilkan dari frekuensi dan amplitude sinyal yang dihasilkan sensor.



Gambar 2.7 Sensor *proximity*

(Stanislaw, 2002)

e) ***Hydraulic Control Unit (HCU)***

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

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

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

2.6 Mikrokontroler Arduino Uno

Arduino UNO adalah mikrokontroler berbasis ATmega328. Arduino UNO memiliki 14 pin digital yang bisa digunakan sebagai *input* atau *output* (6 pin di antaranya dapat digunakan sebagai *output* PWM), selain itu juga memiliki 6 *input* analog, osilator Kristal 16 MHz, koneksi USB, *power jack*, sebuah ICSP *header*, dan tombol reset.

Arduino UNO dapat aktif dengan koneksi USB atau sebuah power suplai eksternal. Suplai eksternal (non-USB) untuk Arduino dapat diperoleh dari sebuah adaptor AC ke DC atau dari sebuah baterai. Board Arduino UNO beroperasi pada sebuah suplai tegangan eksternal 6 - 20 Volt. Jika disuplai dengan tegangan yang lebih kecil atau lebih besar dari range Arduino UNO bisa jadi tidak stabil dan cepat rusak. Memori yang ada pada Arduino Uno berbasis ATmega328 dan memiliki memori sebesar 32 KB .

Arduino Uno dapat diprogram menggunakan Arduino IDE. Untuk mengupload program ke dalam Arduino Uno kita terlebih dahulu memilih Arduino Uno sebagai Board yang kita gunakan pada menu *Tool. Board* ATmega328 pada Arduino Uno telah dilengkapi dengan *bootloader* yang memungkinkan proses *upload* program baru ke Arduino Uno tanpa menggunakan pemrograman *external hardware*.



Gambar 2.8 Board Arduino Uno

2.7 *Stoboscope* Lutron DT-2239A-

Stroboscopes Lutron DT-2239A-2 merupakan salah satu alat ukur yang digunakan untuk mengukur kecepatan. Prinsip dari stroboscope adalah dengan menggunakan suatu sumber cahaya untuk menghasilkan efek optik menghentikan atau memperlambat gerakan kecepatan tinggi untuk keperluan pengamatan, analisis ataupun fotografi.



Gambar 2.9 *Stroboscopes*

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.

2.8 Baterai Li-on



Gambar 2.10 Baterai

Baterai Lithium-ion merupakan salah satu jenis baterai yang banyak digunakan pada kendaraan listrik maupun perangkat elektronik dimasa kini. Elektroda aktif pada baterai Lithium-ion terdiri dari elektroda positif (lithium metal oxide) dan elektroda negatif (carbon).

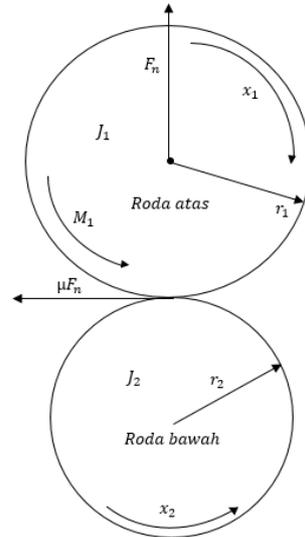
Baterai adalah alat yang dapat mengubah energi kimia yang tersimpan menjadi tenaga listrik. Baterai umumnya terdiri atas 2 sel elektrokimia. Sel berkutub positif (katoda) dan kutub negatif (anoda). Kutub positif memiliki energi potensial yang lebih tinggi dari kutub negatif. Kutub bertanda negatif merupakan sumber elektron yang akan memberikan energy ketika disambungkan dengan rangkaian eksternal . Sehingga alat tersebut dapat aktif.

Reaksi kimia pada baterai terjadi akibat terjadinya perpindahan ion di dalamnya saat rangkaian eksternal baterai di hubungkan.. Perpindahan ion pada baterai inilah yang dapat mengalirkan arus listrik keluar dari baterai sehingga menghasilkan kerja (Faria, Moura, & Delgado, 2014).

2.9 Persamaan Dinamik pada *Plant Anti-lock Braking System*

Plant ABS penelitian ini terdapat dua buah roda yang bergerak saling bersinggungan. Roda bawah pada *plant* ABS mengasumsikan kecepatan relative jalan terhadap mobil , dan roda atas diasumsikan sebagai kecepatan translasi mobil. Sehingga dalam menghitung *slip ratio* secara matematis sesuai persamaan (2.1)

pada *plant* ini, yaitu dengan menghitung kecepatan putaran roda atas dan bawah pada *plant* yang dikonversikan dalam satuan km/jam oleh Arduino Uno.



Gambar 2.11 Persamaan matematis *plant* ABS

Plant ABS ini hanya meninjau satu roda (*quarter car model*), dengan hanya menurunkan model matematis persamaan dinamika longitudinal dari kendaraan. Berikut persamaan dinamik dari *plant anti-lock braking system* :

Menggunakan Hukum II Newton, persamaan motion untuk roda atas dan bawah dapat ditulis seperti berikut:

$$J_1 \dot{x}_1 = F_n r_1 \mu(\lambda) - d_1 x_1 - M_{10} - M_1 \quad (2.3)$$

$$J_2 \dot{x}_2 = -F_n r_2 \mu(\lambda) - d_2 x_2 - M_{20} \quad (2.4)$$

F_t adalah gaya gesek jalan yang diberikan oleh Hukum Coloumb;

$$F_t = \mu(\lambda) F_n \quad (2.5)$$

Selama kondisi mengemudi normal, kecepatan rotasi roda sesuai dengan kecepatan maju kendaraan. Selama pengereman, gaya pengereman yang diterapkan menyebabkan kecepatan roda berkurang. Oleh karena itu kecepatan roda menjadi lebih rendah dari kecepatan mobil, sehingga mengubah *slip* (λ).

2.10 State of Charge SOC

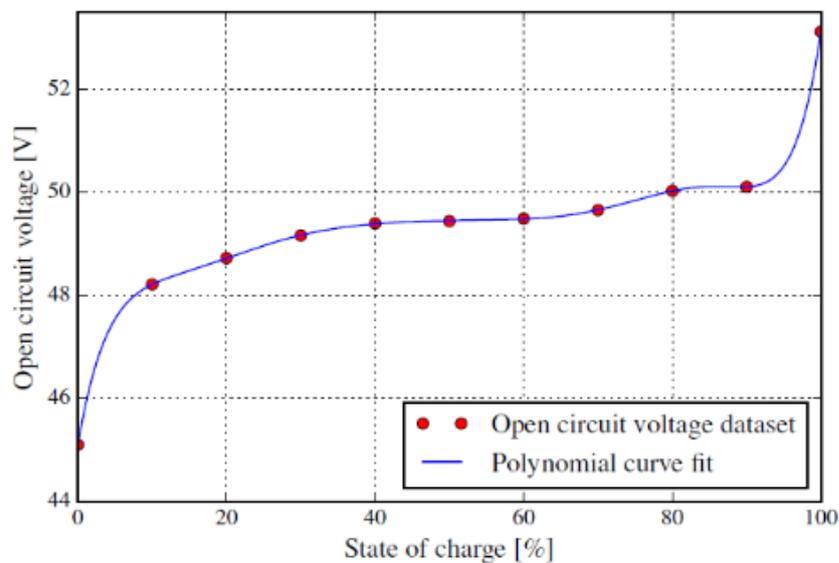
State of Charge SOC adalah rasio total kapasitas energi yang dapat digunakan dari sebuah baterai dengan kapasitas baterai seluruhnya. SOC menggambarkan energi yang tersedia dan dituliskan dalam presentase sesuai beberapa referensi.

SOC terkadang dianggap sebagai nilai kapasitas dari baterai. (Farizy, Asfani, & Soedibjo, 2016)

Mengukur SOC dari baterai dapat dilakukan dengan 3 cara, yaitu:

- i. Pengukuran secara langsung, dapat dilakukan jika baterai dapat di-discharge pada nilai yang konstan dan pengukuran
- ii. Pengukuran *Specific gravity*, cara ini bergantung pada perubahan pengukuran dari berat bahan kimia aktif.
- iii. Perkiraan SOC berdasarkan tegangan, dengan mengukur tegangan cell baterai sebagai dasar untuk perhitungan SOC atau sisa kapasitas. Hasil dapat berubah tergantung pada level tegangan nyata, suhu, nilai discharge, dan umur cell.

Penelitian *regenerative anti-lock braking system* dalam mendeteksi kapasitas baterai pada saat pengereman menggunakan pengukuran berdasarkan tegangan. Dalam mengetahui tegangan yang masuk pada baterai saat proses pengeraman ini menggunakan sensor tegangan. Setelah mengetahui dan menyimpan data tegangan, dalam menentukan persentase SOC pada baterai penelitian ini melakukan pendekatan hasil pengujian SOC pada baterai Li-ion 48 volt dengan grafik di bawah ini.



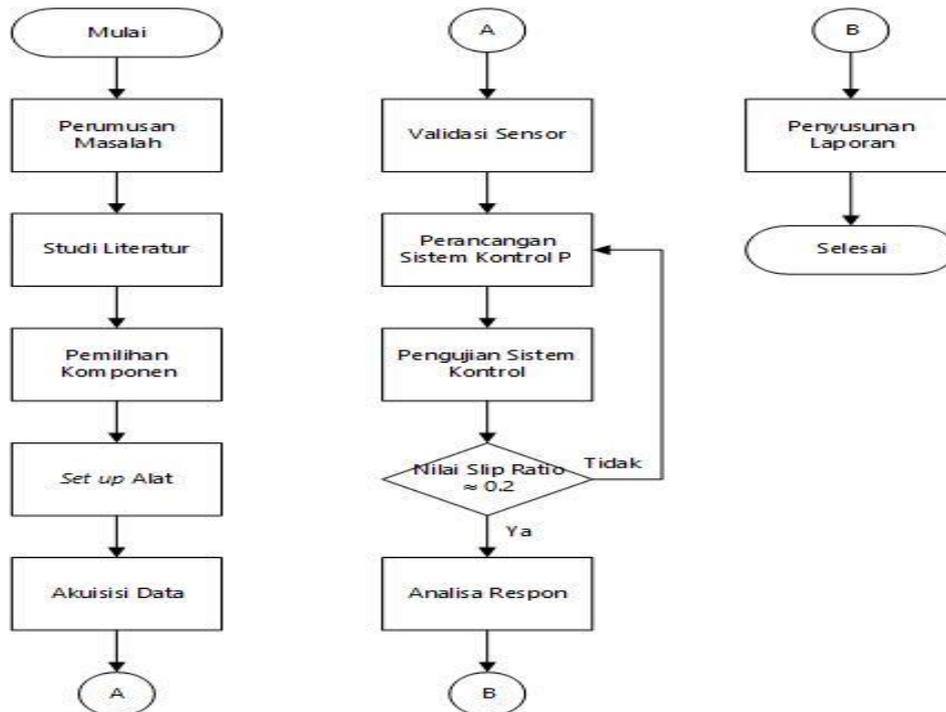
Gambar 2.12 Grafik SOC baterai Li-ion 48 volt

(Horn, 2017)

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Adapun metodologi pengerjaan tugas akhir dapat digambarkan dalam bentuk flowchart seperti pada gambar dibawah ini:



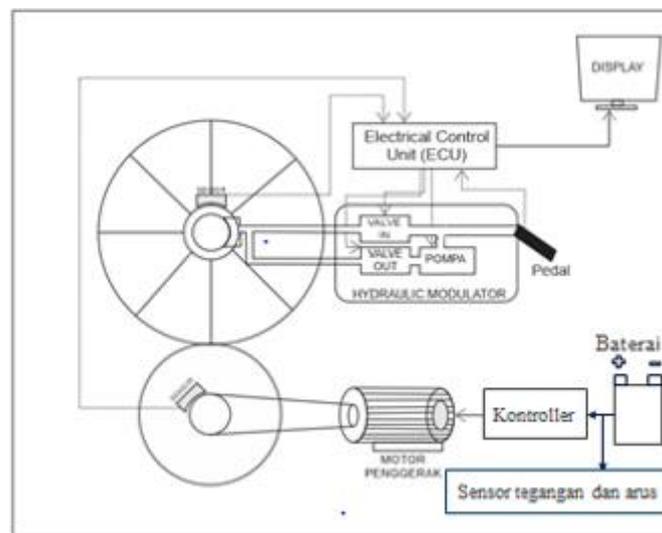
Gambar 3.1 Flowchart penelitian

3.1 Studi Literatur

Pada tahap studi literatur bertujuan untuk memahami tentang penelitian yang akan dilakukan. Pemahaman secara teoritis terhadap penelitian tugas akhir ini. Dengan mengumpulkan referensi yang mendukung penelitian tugas akhir mengenai pengereman *regenerative* dan *anti-lock braking system* pada mobil konvensional, komponen-komponen yang membentuk sistem *regenerative* ABS, teori pengendalian *proportional*, dan pemrograman menggunakan *Arduino Uno*. Pengumpulan literatur dan referensi ini diharapkan membantu untuk menerapkan metode kontrol terhadap *plant regenerative* ABS.

3.2 Rancang Bangun *Plant Regenerative Anti-lock braking system*

Plant regenerative ABS yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini hanya menggunakan pendektan terhadap satu roda saja. Komponen utama pada *Plant regenerative ABS* ini antara lain adalah dua buah sensor. Pertama adalah sensor kecepatan (*approxymty*) yang berfungsi mengukur kecepatan pada roda. Kedua adalah sensor tegangan pada baterai. dua buah solenoid *valve* dan satu pompa yang merupakan kesatuan dari *hydraulic modulator* yang dikendalikan oleh Arduino Uno sebagai *electrical control unit*.



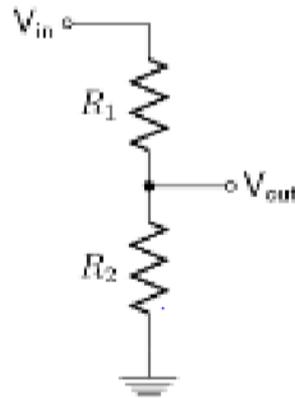
Gambar 3.2 Skema *plant regenerative anti-lock braking system*

Gambar 3.2 merupakan skema dari *Plant Regenerative anti-lock braking system*. Motor BLDC dioperasikan oleh *Kelly Controller*. Saat BLDC bergerak, roda yang terhubung dengan motor pun juga ikut berputar dan menghasilkan kecepatan putar pada kedua roda. Kecepatan kedua roda tersebut diukur dengan *sensor proximity*. Saat pengereman, ECU akan menerima data kecepatan dan melakukan aksi terhadap *hydraulic modulator* lalu secara otomatis menjalankan kontrol *proportional* yang telah dirancang, dan dapat ditampilkan pada *display* dalam bentuk grafik respon.

Sensor proximity ini berfungsi menghasilkan dua sinyal kondisi, yaitu sinyal *high* dan *low*. Sinyal *high* menunjukkan adanya *ring* yang terdeteksi oleh sensor (*signal trigger*) dan sinyal *low* sensor tidak mendeteksi adanya *ring* yang melewati sensor. Waktu putaran *ring* untuk mencapai satu putaran adalah nilai yang diukur

sensor. Semakin cepat roda berputar maka waktu yang dibutuhkan sensor untuk menerima sinyal lebih cepat begitu pula sebaliknya.

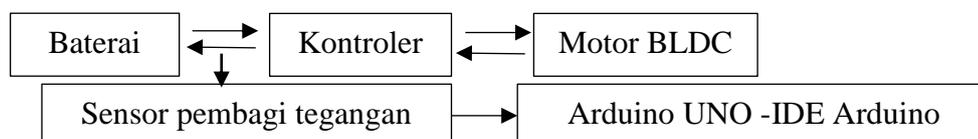
Rangkaian pembagi tegangan (voltage divider) digunakan untuk pembacaan data tegangan pada sistem monitoring baterai VRLA.



Gambar 3.3 Rangkaian *voltage divider*

Rangkaian *voltage divider* digunakan untuk membuat suatu tegangan referensi dari sumber tegangan yang lebih besar untuk titik tegangan referensi pada sensor. Hal ini dikarenakan tegangan baterai yang akan diukur adalah 55 V, sedangkan pin ADC Arduino memiliki batasan pembacaan tegangan sebesar 5V. Rangkaian *voltage divider* digunakan untuk memperkecil tegangan sesuai dengan perbandingan yang telah dihitung dengan persamaan 3.1 berikut ini:

$$V_o = V_{baterai} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (3.1)$$



Gambar 3.4 Diagram blok monitoring *regenerative*

Sensor tegangan di pasang pada anoda dan katoda baterai, sehingga tegangan yang masuk dan keluar pada baterai dapat diketahui. Pengukuran SOC atau kapasitas baterai penelitian ini menggunakan metode pengukur tegangan. Setelah tegangan di deteksi oleh sensor, data tegangan akan di simpan pada Arduino Uno. Persentase SOC di dapatkan dari pendekatan terhadap grafik kenaikan SOC hasil penelitian horn terhadap baterai baterai Li -ion 48 Volt.

Electrical control unit (ECU) digunakan adalah Arduino Uno, semua data yang dihasilkan akan diproses oleh ECU seperti data kecepatan dua roda, tegangan yang di hasilkan motor BLDC saat pengereman, *slip ratio*, *controller*, dan memberikan aksi ke setiap *valve* dan pompa. Ketika pengereman terjadi *slip* maka ECU melakukan trigger 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 Uji Validasi *Plant Regenerative ABS*

Setelah perancangan dan pembuatan mekanik dari *plant regenerative ABS* telah selesai, diperlukan uji validasi *Plant* sehingga dapat diketahui bahwa *Plant regenerative ABS* tersebut telah benar atau sesuai. Pertama dilakukan kalibrasi pada sensor kecepatan. Hal ini bertujuan supaya sensor dapat membaca kecepatan roda dengan baik dan sesuai dengan standar. Kedua dilakukan kalibrasi pada sensor tegangan untuk mengetahui pembacaan tegangan dengan baik.

Selanjutnya dilakukan pengereman secara *open loop*. Variabel 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.

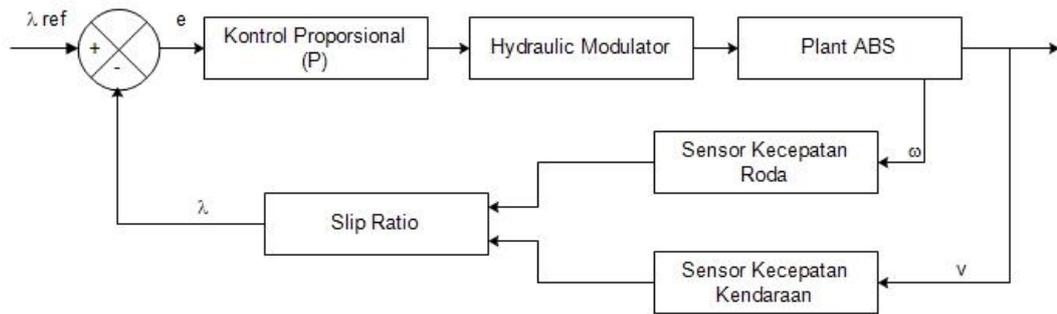
3.4 Perancangan Sistem Kendali Proporsional (P)

Pengendalian *proporsional* (P) menjadi salah satu jenis pengendalian yang umum digunakan untuk mengendalikan suatu sistem. Pada penelitian ini pengendali *proportional* 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 (3.2).

$$\lambda = \frac{v_x - \omega r_\omega}{v_x} \quad (3.2)$$

Dimana v_x adalah kecepatan kendaraan, ωr_ω merupakan kecepatan roda dan r_ω merupakan jari-jari roda.



Gambar 3.5 Blok diagram pengendalian *proportional*

Pengendalian dilakukan agar dapat memepertahankan nilai *slip ratio* pada nilai λ^* *references* yang dapat dilihat pada grafik $F_x - \lambda$ pada **Gambar 2.1**. Dimana pengendalian ini didasarkan pada nilai *error* yang didefinisikan sebagai berikut pada persamaan (3.3). Blok diagram pengendalian dapat dilihat pada **Gambar 3.5**

$$\lambda_e = \lambda - \lambda_{ref} \quad (3.3)$$

Sinyal kontrol yang dihasilkan oleh pengendalian proporsional bergantung pada besarnya *gain* proporsional (KP) yang diberikan sesuai dengan persamaan (3.4).

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

Berdasarkan persamaan (3.3) dapat diketahui bahwa *gain* proporsional harus tepat sehingga dapat mengkompensasi nilai *error* yang dihasilkan oleh sistem.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab IV berisi tentang hasil perancangan sistem kontrol proporsional (P) pada *regenerative anti-lock braking system* yang telah dilakukan. Berikut analisis terhadap data yang diperoleh melalui grafik respon dan dilakukan pembahasan untuk menjawab dari rumusan masalah.

4.1 Kalibrasi Sensor

Sensor dapat dikatakan sebagai salah satu komponen penting pada penelitian *regenerative* pada *anti-lock braking system* (RABS). Sensor kecepatan dan sensor tegangan merupakan pemberi informasi kecepatan roda dan tegangan pada baterai. Sebelum digunakan. Hasil pengambilan data untuk kalibrasi ada pada **Tabel 4.1** menunjukkan hasil kalibrasi sensor kecepatan (*proximity*) dan **Tabel 4.2** menunjukkan hasil kalibrasi sensor tegangan.

Tabel 4.1 Data kalibrasi sensor *proximity*

No	Pembacaan Alat (Rpm)	Pembacaan Standar (Rpm)	koreksi
1	294,1	294,6	0,5
2	295,16	294,6	0,56
3	294,1	294,6	0,5
4	294,1	294,6	0,5
5	292,5	294,6	2,1
6	293,42	294,6	1,18
7	293,42	294,6	1,18
8	292,5	294,6	2,1
9	295,16	294,6	0,56
10	292,5	294,6	2,1

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

$$U_{a1} = 0,259244847$$

$$U_{a2} = 2,63542027$$

$$U_{b1} = 0,651270208$$

$$U_{b2} = 0,002886836$$

$$U_c = 2,727051358$$

$$V_{eff} = 10,31060545$$

Berdasarkan *T-student* dihasilkan nilai faktor koreksi (k) = 2,2197069385.

Sehingga didapatkan nilai ketidakpastian :

$$U_{exp} = k \times U_c \quad U_{exp} = 2,2197069385 \times 2,727051358 = 6,05325482$$

Nilai ketidakpastian alat sebesar $\pm 6,05325482$.

Tabel 4.2 Data kalibrasi sensor pembagi tegangan

No	Pembacaan Standar(volt)	Pembacaan Alat (volt)	Koreksi
1	1,28	1,18	0,1
2	2,13	2	0,13
3	3,02	2,92	0,1
4	4,05	3,92	0,13
5	5,13	5,02	0,11
6	6,2	6,09	0,11
7	7,12	6,99	0,13
8	8,09	7,99	0,1
9	9,05	8,92	0,13
10	10,14	10,01	0,13
11	11,23	11,13	0,1
12	12,09	11,97	0,12
13	13,09	12,99	0,1
14	14,17	14,06	0,11
15	15,12	15,01	0,11
16	16,18	16,08	0,1
17	17,13	17	0,13
18	18,2	18,08	0,12
19	19,14	19,02	0,12
20	20,23	20,13	0,1
21	21,06	20,96	0,1
22	22,24	22,11	0,13
23	23,08	22,96	0,12
24	24	23,9	0,1
25	25,06	24,94	0,12
26	26,24	26,11	0,13
27	27,18	27,06	0,12
28	28,13	28	0,13
29	29,18	29,06	0,12
30	30,15	30,05	0,1

Dari data **Tabel 4.2** digunakan untuk menghitung nilai ketidakpastian dari sensor yang digunakan. Berdasarkan data tersebut diperoleh nilai sebagai berikut.

$$U_{a1} = 0,019769593$$

$$U_{a2} = 0,235036219$$

$$U_{b1} = 0,065454431$$

$$U_{b2} = 0,002886836$$

$$U_c = 0,244796809$$

$$V_{eff} = 34,00538877$$

Berdasarkan *T-student* dihasilkan nilai faktor koreksi (k) = 2,0322285193.

Sehingga didapatkan nilai ketidakpastian :

$$U_{exp} = k \times U_c \quad U_{exp} = 2,0322285193 \times 0,244796809 = 0,49748$$

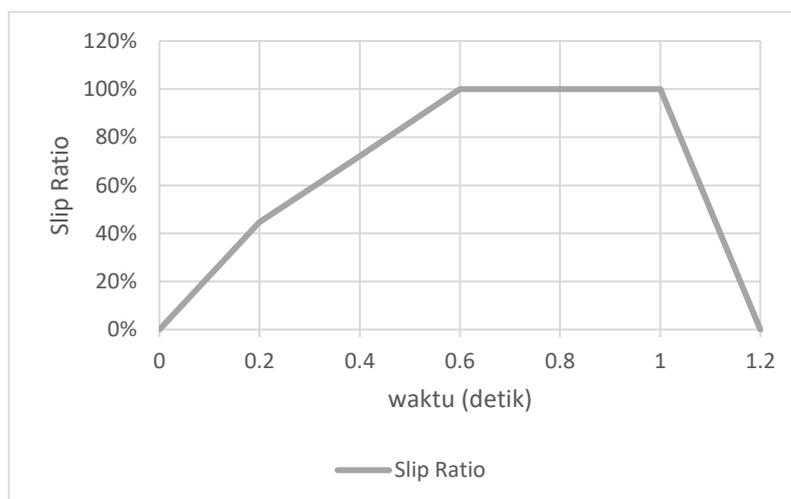
Nilai ketidakpastian alat sebesar $\pm 0,49748$.

Nilai ketidakpastian tersebut akan menjadi acuan untuk pembacaan alat ukur selama alat ukur tersebut digunakan.

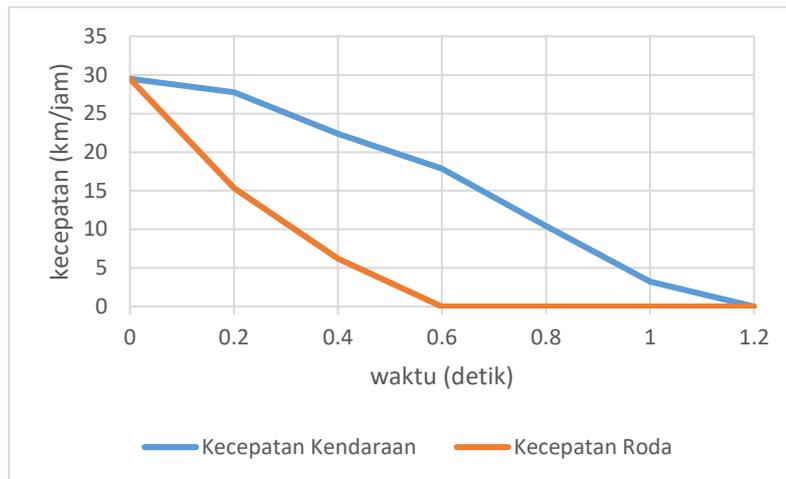
4.2 Uji Validasi Model *Plant R-ABS*

Pengujian validasi dilakukan 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* (t_s) sebesar 0,2 detik. *time sampling* sebesar 0,2 detik



Gambar 4.1 Respon *slip ratio open loop*



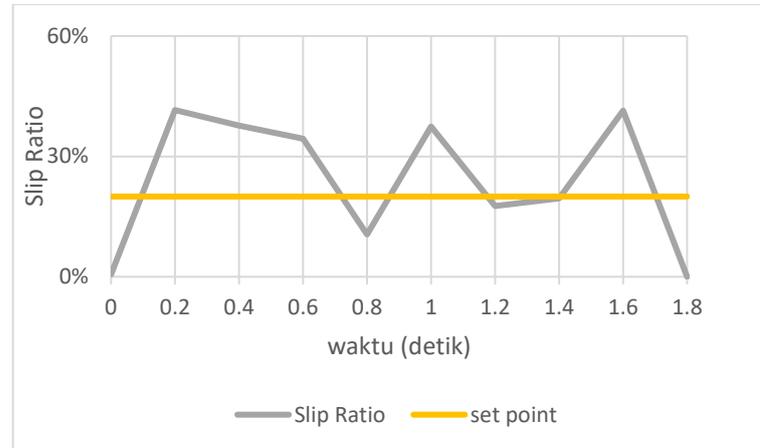
Gambar 4.2 Respon kecepatan *open loop*

Hasil respon menunjukkan nilai *slip* hingga 100% pada saat pengereman. Hal ini menunjukkan bahwa saat pengereman terjadi roda berhenti berputar, sedangkan kendaraan masih bergerak. Nilai *slip ratio* terus berada pada angka 100% hingga kendaraan (roda bawah) berhenti. **Gambar 4.2** menunjukkan grafik respon kecepatan roda dan kecepatan kendaraan tanpa menggunakan ABS. Berdasarkan grafik roda berhenti pada waktu ke 0,6 detik sedangkan kendaraan masih bergerak. Hal ini menyebabkan kemampuan untuk mengendalikan kendaraan tidak stabil dan kendaraan baru dapat berhenti pada waktu ke 1,2 detik.

4.3 Uji Closed Loop Menggunakan Kontrol *Proportional* (P)

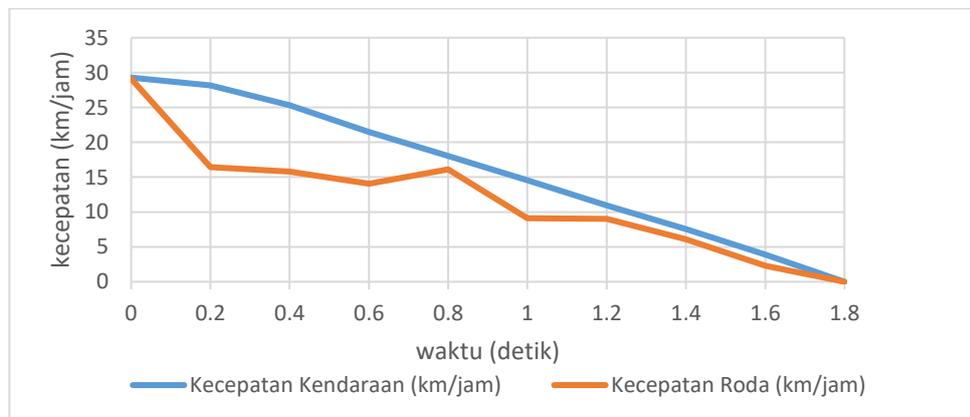
Uji *closed loop* bertujuan untuk meninjau respon yang dihasilkan sistem setelah adanya pengendalian *slip ratio*. Pengendalian dilakukan dengan harapan bawah nilai *slip ratio* stabil di nilai *set point* yang telah ditentukan.

4.3.1 Kontrol *Proportional* Menggunakan $KP = 1$



Gambar 4.3 Respon *slip ratio* $KP = 1$

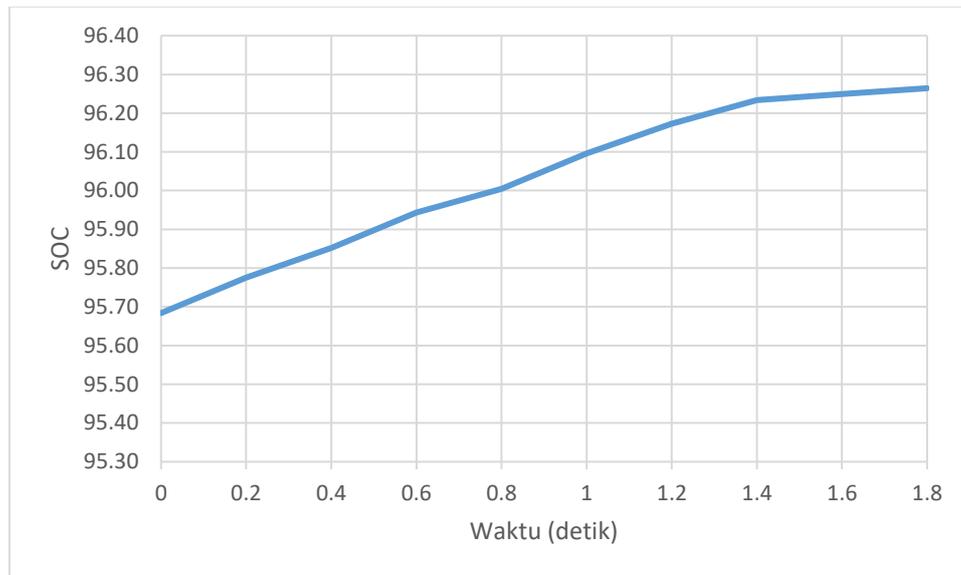
Gambar 4.3 menunjukkan respon yang dihasilkan ketika adanya pengereman. Sistem mulai di rem ditunjukkan dengan naiknya *slip ratio*. *Slip ratio* yang meningkat menuju 100% menunjukkan bahwa sistem mendekati keadaan *slip* sehingga harus di lakukan aksi yang dapat menghindari keadaan tersebut.



Gambar 4.4 Respon kecepatan $KP = 1$

Gambar 4.4 menunjukkan respon kecepatan sistem ABS dengan pengendalian *proporsional* menggunakan nilai KP sebesar 1. Pada saat pengereman, kecepatan roda turun dari 29,11 km/jam menjadi 16,45 km/jam sedangkan kecepatan kendaraan turun dari 29,28 km/jam menjadi 28,15 km/jam, hal ini menyebabkan nilai *slip ratio* naik hingga 42%. Dengan naiknya nilai *slip ratio* sistem pengendalian kemudian mulai aktif dan memberikan sinyal ke aktuator sehingga pada waktu ke 0,4 detik pengereman dalam posisi *release* (tidak rem).

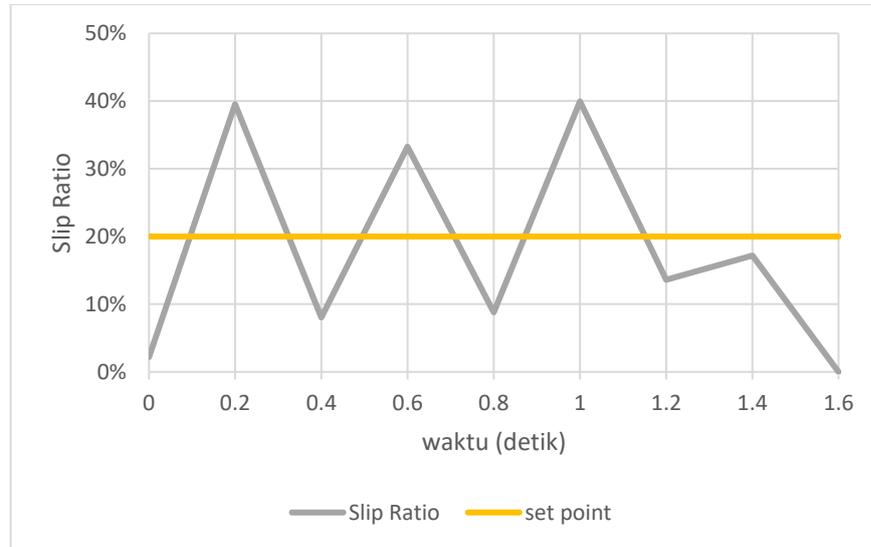
Pada waktu ke 0,6 detik sistem mendeteksi bahwa nilai *slip ratio* berada diatas dari nilai nilai *set point* sehingga sistem pengendalian memberikan sinyal ke aktuator sehingga sistem pengereman dalam kondisi *build up* (rem). Seiring dengan aksi yang diberikan ke sistem, *slip ratio* terus berosilasi disekitar 20% namun tidak stabil. Hingga akhirnya berhenti pada waktu 1,8 detik.



Gambar 4.5 Nilai *state of charging* baterai $KP = 1$

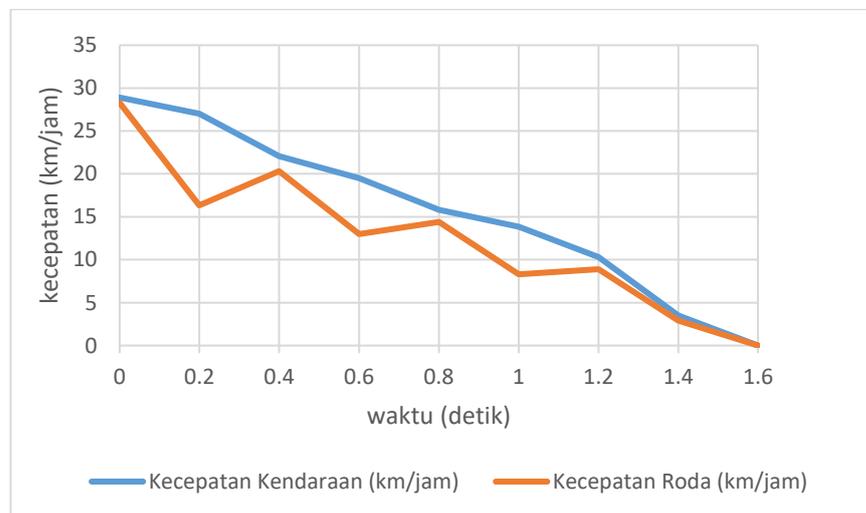
Gambar 4.5 menunjukkan grafik persentase kenaikan *State of charging* dari baterai saat pengereman berlangsung. Berdasarkan grafik persentase kenaikan *State of charging* pada $KP = 1$ naik 0,58%.

4.3.2 Kontrol *Proportional* Menggunakan KP 1,5



Gambar 4.6 Respon *slip ratio* KP= 1,5

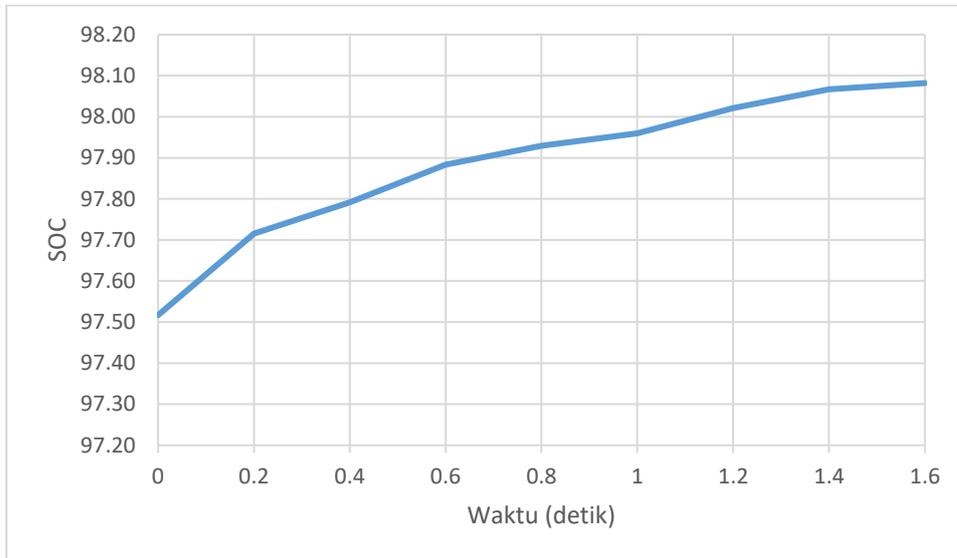
Gambar 4.6 menunjukkan respon yang dihasilkan ketika adanya pengereman. Sistem mulai di rem ditunjukkan dengan naiknya *slip ratio*. *Slip ratio* yang meningkat menuju 100% menunjukkan bahwa sistem mendekati keadaan *slip* sehingga harus dilakukan aksi yang dapat menghindari keadaan tersebut.



Gambar 4.7 Respon kecepatan KP = 1,5

Berdasarkan Respon kecepatan pada **Gambar 4.7**, pada waktu ke 0,2 detik kecepatan roda saat pengereman turun hingga 16,34 km/jam sedangkan kecepatan kendaraan 27,03 km/jam, hal inilah yang menyebabkan nilai *slip ratio* naik mencapai nilai 40%. Aksi kemudian diberikan ke aktuator oleh pengendalian proporsional

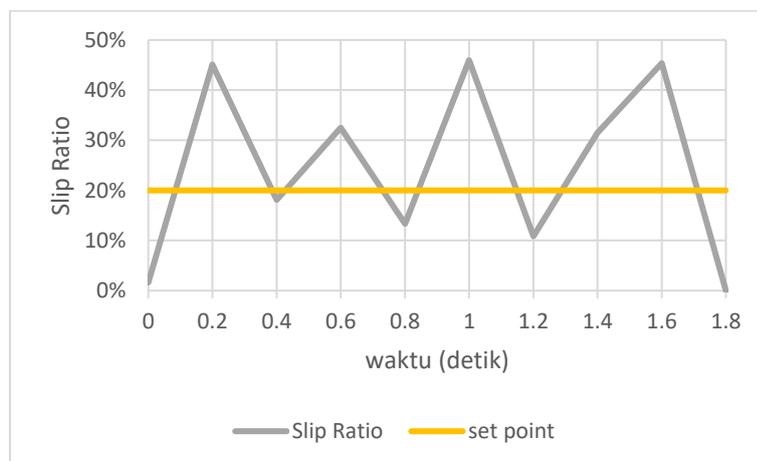
yang menyebabkan kecepatan roda mulai naik kembali, dan nilai *slip ratio* menjadi turun. Setelah itu sistem pengendalian terus memberikan sinyal ke aktuator yang menyebabkan nilai *slip ratio* berosilasi disekitar *setpoint* dan berhenti pada detik ke 1,6.



Gambar 4.8 Nilai *state of charging* baterai KP = 1,5

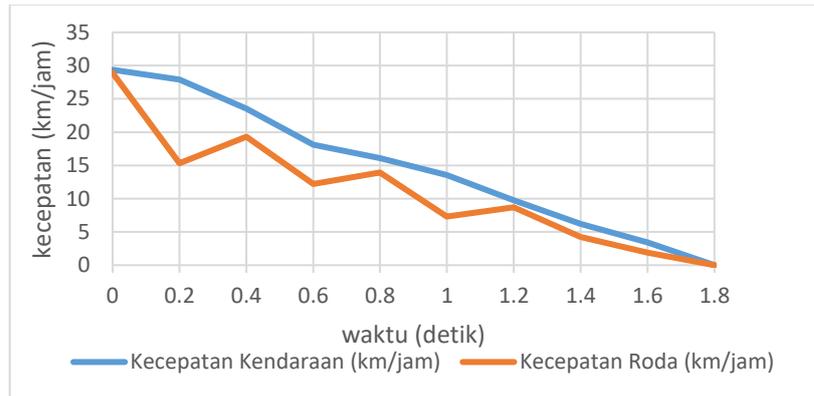
Gambar 4.8 menunjukkan grafik persentase kenaikan *State of charging* dari baterai saat pengereman berlangsung. Berdasarkan grafik persentase kenaikan *State of charging* pada KP = 1,5 naik 0,57%.

4.3.3 Kontrol *Proportional* Menggunakan KP = 1,25



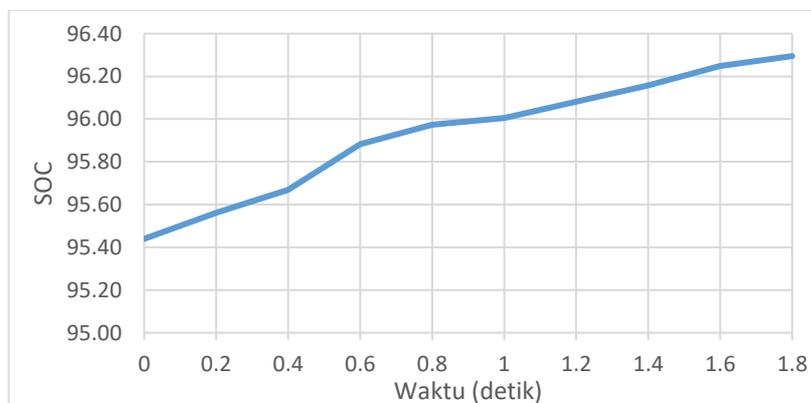
Gambar 4.9 Respon *slip ratio* KP = 1,25

Gambar 4.9 menunjukkan *responslip ratio* dengan pengendalian proporsional dengan nilai KP 1,25. Saat pengereman, sistem menuju kondisi *slip* dengan nilai *slip ratio* mencapai 45 %. Aksi langsung diberikan pada sistem sehingga *slip ratio* akan turun kemudian osilasi disekitar 20% sebelum akhirnya berhenti pada detik ke 1,8.



Gambar 4.10 Respon kecepatan KP = 1,25

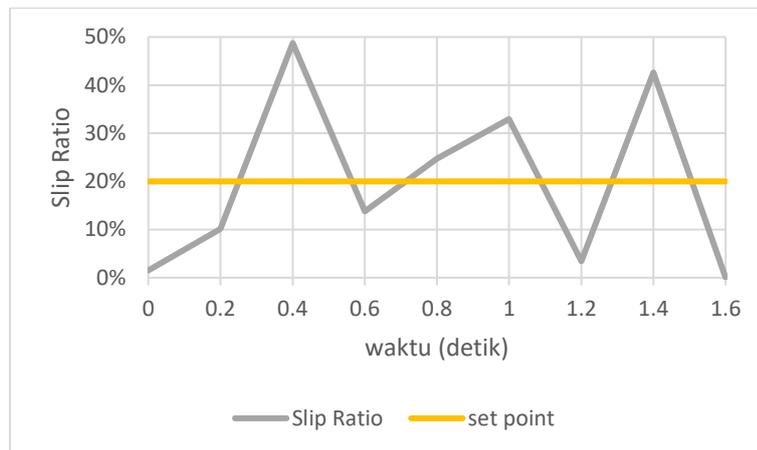
Berdasarkan respon kecepatan pada **Gambar 4.10**, pada waktu ke 0,2 detik kecepatan roda saat terjadi pengereman turun drastis mencapai nilai 15,31 km/jam sedangkan kecepatan kendaraan 27,88 km/jam, hal inilah yang menyebabkan nilai *slip ratio* naik mencapai nilai 45%. Aksi kemudian diberikan ke aktuator oleh pengendalian proporsional 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 1,8 detik.



Gambar 4.11 Nilai *state of charging* baterai KP = 1,25

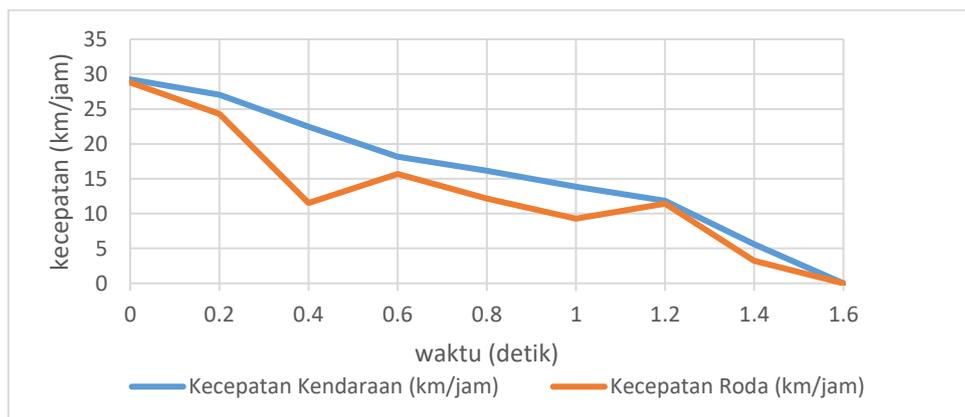
Gambar 4.11 menunjukkan grafik persentase kenaikan *State of charging* dari baterai saat pengereman berlangsung. Berdasarkan grafik persentase kenaikan *State of charging* pada $KP = 1,25$ naik 0,86%.

4.3.4 Kontrol *Proportional* Menggunakan $KP = 2$



Gambar 4.12 Respon *slip ratio* $KP = 2$

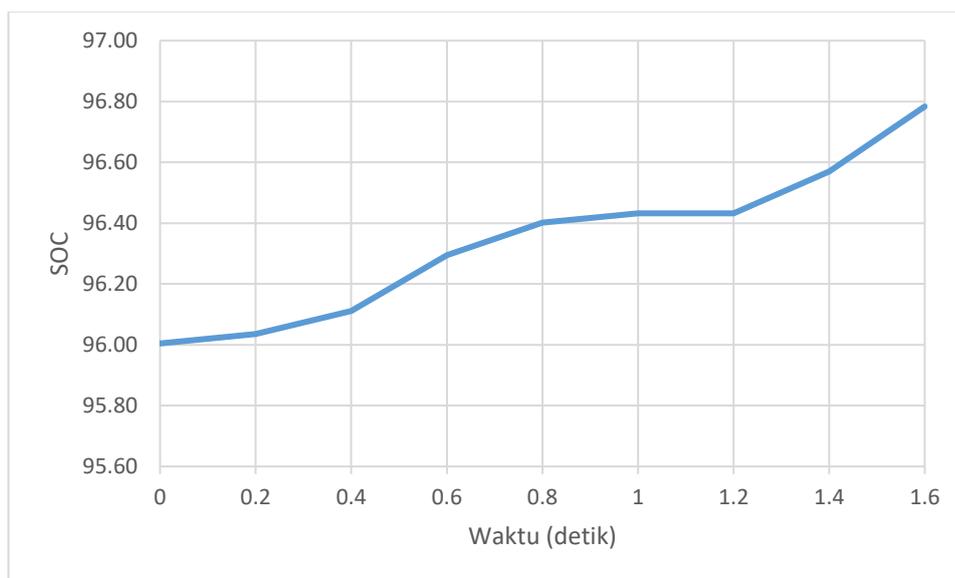
Pada **Gambar 4.12** menunjukkan respon *slip ratio* dengan pengendalian proporsional menggunakan nilai KP sebesar 2. Ketika adanya pengereman, sistem menuju kondisi *slip* dengan nilai *slip ratio* mencapai 49%. Aksi langsung diberikan pada sistem sehingga *slip ratio* akan turun kemudian osilasi disekitar 20% sebelum akhirnya berhenti pada detik ke 1,6.



Gambar 4.13 Respon kecepatan $KP = 2$

Berdasarkan respon kecepatan **Gambar 4.13**, pada waktu ke 0,4 detik kecepatan roda saat terjadi pengereman turun menjadi 11,52 km/jam sedangkan kecepatan kendaraan 22,47 km/jam, hal inilah yang menyebabkan nilai *slip ratio*

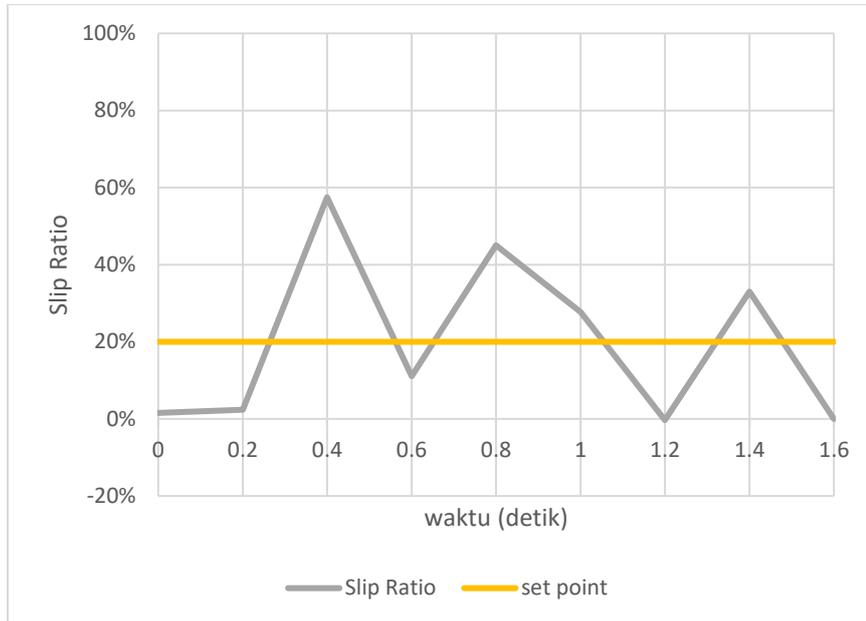
naik mencapai nilai 49%. Aksi kemudian diberikan ke aktuator oleh pengendalian proporsional yang menyebabkan kecepatan roda mulai naik kembali, dan nilai *slip ratio* menjadi turun. Setelah itu sistem pengendalian terus memberikan sinyal ke aktuator yang menyebabkan nilai *slip ratio* berosilasi disekitar *setpoint* dan akhirnya berhenti pada waktu ke 1,6 detik.



Gambar 4.14 Nilai *state of charging* baterai $KP = 2$

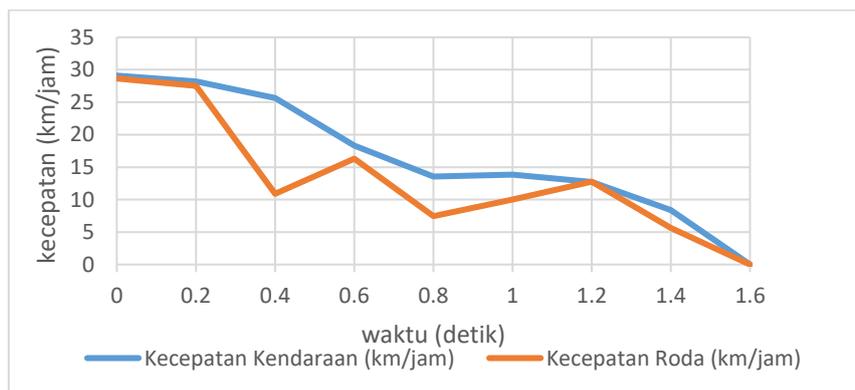
Gambar 4.14 menunjukkan grafik persentase kenaikan *State of charging* dari baterai saat pengereman berlangsung. Berdasarkan grafik persentase kenaikan *State of charging* pada $KP = 2$ naik 0,78%.

4.3.5 Kontrol Proporsional Menggunakan $KP = 3$



Gambar 4.15 Respon *slip ratio* $KP = 3$

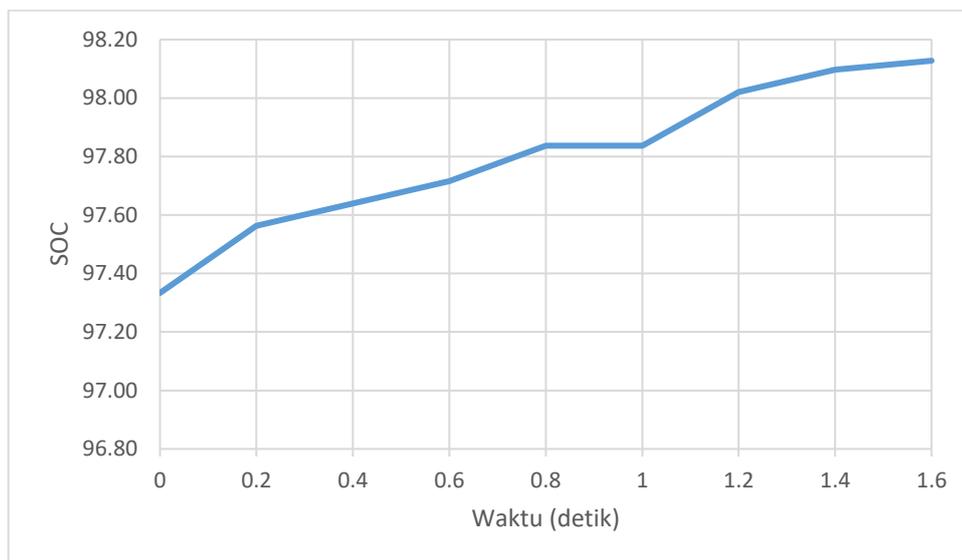
Pada **Gambar 4.15** menunjukkan respon *slip ratio* dengan pengendalian proporsional menggunakan nilai KP sebesar 3. Ketika adanya pengereman, sistem menuju kondisi *slip* dengan nilai *slip ratio* mencapai 57%. Aksi langsung diberikan pada sistem sehingga *slip ratio* akan turun kemudian osilasi disekitar 20% sebelum akhirnya berhenti pada detik ke 1,6.



Gambar 4.16 Respon kecepatan $KP = 3$

Jika dilihat dari respon kecepatan pada **Gambar 4.16**, pada waktu ke 0,4 detik kecepatan roda saat terjadi pengereman turun drastis mencapai nilai 10,91 km/jam sedangkan kecepatan kendaraan 25,66 km/jam, hal inilah yang menyebabkan nilai *slip ratio* naik mencapai nilai 57%. Aksi kemudian diberikan ke

aktuator oleh pengendalian proporsional 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 1,6 detik.



Gambar 4.17 Nilai *state of charging* baterai $KP = 3$

Gambar 4.17 menunjukkan grafik persentase kenaikan *State of charging* dari baterai saat pengereman berlangsung. Berdasarkan grafik persentase kenaikan *State of charging* pada $KP = 3$ naik 0,79%.

Dari data yang didapatkan, sistem closed loop dengan nilai $KP=1,5$ menunjukkan nilai overshoot yang lebih mendekati set point di bandingkan dengan nilai KP lainnya. Dan kenaikan persentase *State of charging* tertinggi ada pada $KP = 1,25$ yaitu sebesar 0,86%.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka kesimpulan yang dapat diambil dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a) Perancangan sistem pengereman *regenerative* sebagai *anti-lock braking system* dengan aktuator pengereman menggunakan *hidraulik control* unit dan sensor pembagi tegangan untuk mendeteksi kenaikan persentase *SOC* saat pengereman, yang secara keseluruhan diatur oleh *Arduino Uno*. Pengendalian *control proportional* digunakan untuk menjaga nilai *slip ratio* 0,2 dengan kondisi jalan aspal kering dan tidak begeleombang.
- b) Berdasarkan 5 variasi nilai KP yang di tentukan menggunakan metode *trial and error*, Respon sistem *closed loop* menggunakan control *Proportional* dengan *gain* $KP = 1,5$ mendapat hasil terbaik dengan *slip ratio* 40 % pada detik 0,2 dengan kecepatan kendaraan sebesar 27.03 km/jam dan kecepatan roda sebesar 16,34 km/jam. Dan hasil respon *slip ratio* sistem semakin mendekati *set point*. Untuk kecepatan sistem berhenti pada detik ke 1,6 sedangkan untuk Nilai kenaikan SOC baterai tertinggi terjadi pada saat pengendalian *closed loop* proportional dengan nilai KP 1,5 dengan kenaikan 0,86%. Ketika saat akan dilakukan pengereman nilai SOC baterai sebesar 95,44% dan saat sistem berhenti nilai SOC baterai sebesar 96,29%.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya ialah perlunya mengoptimalkan tegangan untuk *regenerative* dalam proses *charging* baterai.

DAFTAR PUSTAKA

- Aly, y. A., Zeidan, E.-S., Hamed, A., & Salem, F. (2011). An Antilock-Braking System (ABS) Control: A Technical Review. *Intelligent Control and Automation*(2), 186-195.
- Anair, D., & Mahmssani, A. (2012). *State of Charge Electric Vehicle's Global Warming Emission and Fuel-Cost Saving across the United State*. Cambridge: UCS Publication.
- 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.
- BPS. (2018, 2 18). *Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor*. Badan Pusat Statistika. Retrieved from <https://www.bps.go.id/linkTableDinamis/view/id/1133>
- Bruen, T., Marco, J., & Gama, M. (2015). Model Based Design of Balancing System for Electric Vehicle Battery Pack. *International Federation of Automatic Control, XLVII*(15), 395-402.
- Doumiati, M., Charara, A., Victorino, A., & Lechner, D. (2012). *Vehicle Dynamics Estimation using Kalman Filtering: Experimental Validation, 1st edition*. Wiley-ISTE.
- Electronic, R. (n.d.). *What are Brushless DC motor*. (Renesas Electronic Corporation) Retrieved Mei 16, 2019, from <https://www.renesas.com/us/en/support/technical-resources/engineer-school/brushless-dc-motor-01-overview.html>
- Fahmi, A. A., Ashari, M., & Suryoatmojo, H. (2013). Sistem Pengereman Elektris Brushless DC Motor Menggunakan Bidirectional Inverter untuk Aplikasi Kendaraan Listrik. *Proseding Seminar Tugas Akhir Teknik Elektro FTI-ITS*.
- Faiz, A., Weaver, C. S., & Waish, M. P. (1996). *Air Pollution from Motor Vehicle: Standards and Technologies for Controlling Emission*. Washington: World Bank Publication.

- Faria, R., Moura, P., & Delgado, J. (2014). Managing the charging of Electrical Vehicle : Impacts on the Electrical Grid and on the Enviromental. *Intelligent Transportation Systems Magazine IEEE*, 6.
- Farizy, A., Asfani, D., & Soedibjo. (2016). Desain Sistem Monitoring State of Charge Baterai pada Charging Station Mobil Listrik Berbasis Fuzzy Logic Dengan Mempertimbangkan Temperature. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2).
- Guo, J., Jian, X., & Lin, G. (2014). Performance Evaluation of an *Anti-lock braking system* for Electric Vehicles with a Fuzzy Sliding Mode Controller. *Energies*, XII(10), 6459-6476.
- Horn, B. v. (2017). *The Development of a 48V, 10kWh LiFePO4*. South Africa: Department of Electrical and Electronical Engineering.
- Maliye, S. (2014). *Regenerative And Anti-lock braking system* in Electric Vehicles.
- Ogata, K. (2010). Modern Control Engineering. *United States of America: Pearson Prentice Hall*.
- Peng, D. Z. (2008). Combined Control of a *Regenerative Braking and Anti-lock braking system* for Hybrid Electric Vehicles. *International Journal Automotive Technology*, 749-757.
- Stanislaw, H. Z. (2002). Designing a Genetic Neural Fuzzy Anti-lock Brake System Controller. *IEEE*, 198-211.
- Yedamale, P. (2003). *Brushless DC (BLDC) Motor Fundamentals*. Arizona: Microchip Technology.

LAMPIRAN TABEL

Tabel KP = 1

waktu (detik)	Kecepatan Kendaraan (km/jam)	Kecepatan Roda (km/jam)	<i>Slip Ratio</i>	set point	tegangan (volt)	SOC (%)
0	29,28	29,11	1%	0,2	50,32	95,68
0,2	28,15	16,45	42%	0,2	50,38	95,78
0,4	25,31	15,78	38%	0,2	50,43	95,85
0,6	21,46	14,08	34%	0,2	50,49	95,94
0,8	18,04	16,14	11%	0,2	50,53	96,00
1	14,56	9,11	37%	0,2	50,59	96,10
1,2	10,96	9,03	18%	0,2	50,64	96,17
1,4	7,58	6,1	20%	0,2	50,68	96,23
1,6	3,91	2,29	41%	0,2	50,71	96,28
1,8	0	0	0%	0,2	50,73	96,31

Tabel KP =1,25

waktu (detik)	Kecepatan Kendaraan (km/jam)	Kecepatan Roda (km/jam)	<i>Slip Ratio</i>	set point	tegangan (volt)	SOC (%)
0	29,37	28,90	2%	0,2	50,16	95,44
0,2	27,88	15,31	45%	0,2	50,24	95,56
0,4	23,55	19,29	18%	0,2	50,31	95,67
0,6	18,11	12,22	33%	0,2	50,45	95,88
0,8	16,10	13,95	13%	0,2	50,51	95,97
1	13,53	7,31	46%	0,2	50,53	96,00
1,2	9,74	8,68	11%	0,2	50,58	96,08
1,4	6,22	4,26	32%	0,2	50,63	96,16
1,6	3,44	1,88	45%	0,2	50,69	96,25
1,8	0	0	0%	0,2	50,72	96,29

Tabel KP = 1,5

waktu (detik)	Kecepatan Kendaraan (km/jam)	Kecepatan Roda (km/jam)	<i>Slip Ratio</i>	set point	tegangan (volt)	SOC (%)
0	28,9	28,27	2%	0,2	51,52	97,52
0,2	27,03	16,34	40%	0,2	51,65	97,72
0,4	22,08	20,31	8%	0,2	51,7	97,79
0,6	19,48	13,05	33%	0,2	51,76	97,88
0,8	15,8	14,41	9%	0,2	51,79	97,93
1	13,84	8,31	40%	0,2	51,81	97,96

waktu (detik)	Kecepatan Kendaraan (km/jam)	Kecepatan Roda (km/jam)	<i>Slip Ratio</i>	set point	tegangan (volt)	SOC (%)
1,2	10,30	8,90	14%	0,2	51,85	98,02
1,4	3,49	2,89	17%	0,2	51,88	98,07
1,6	0	0	0%	0,2	51,89	98,08

Tabel KP = 2

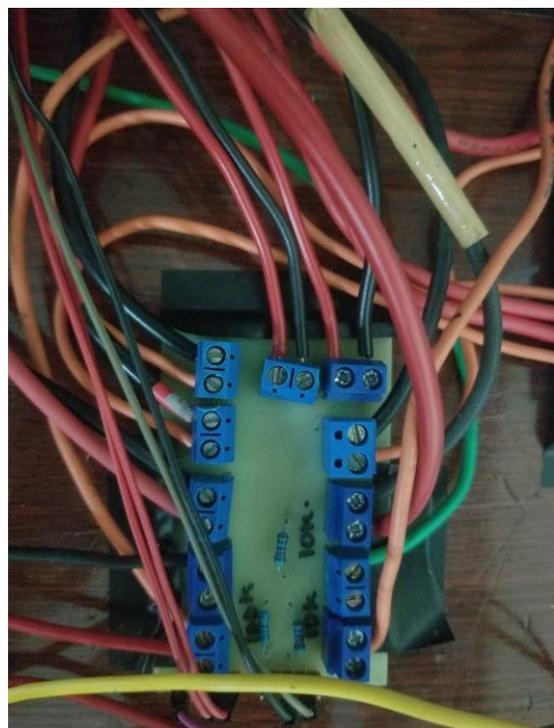
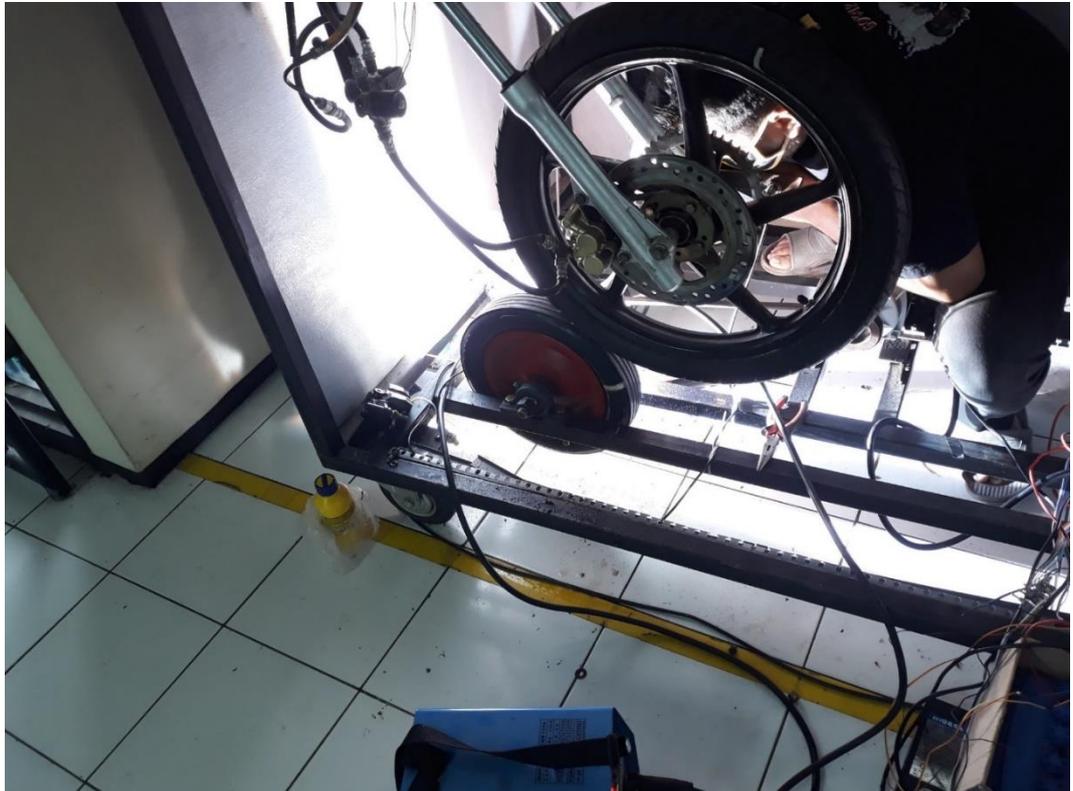
waktu (detik)	Kecepatan Kendaraan (km/jam)	Kecepatan Roda (km/jam)	<i>Slip Ratio</i>	set point	tegangan (volt)	SOC (%)
0	29,26	28,81	2%	0,2	50,53	96,00
0,2	27,03	24,30	10%	0,2	50,55	96,04
0,4	22,47	11,52	49%	0,2	50,60	96,11
0,6	18,17	15,67	14%	0,2	50,72	96,29
0,8	16,13	12,14	25%	0,2	50,79	96,40
1	13,84	9,28	33%	0,2	50,81	96,43
1,2	11,83	11,42	3%	0,2	50,81	96,43
1,4	5,61	3,22	43%	0,2	50,90	96,57
1,6	0	0	0%	0,2	51,04	96,78

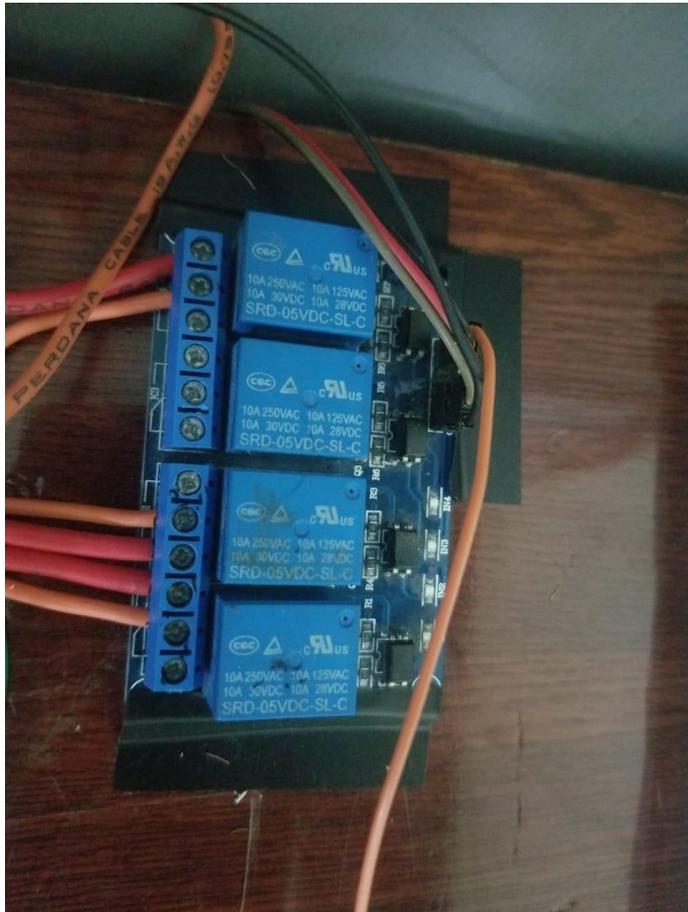
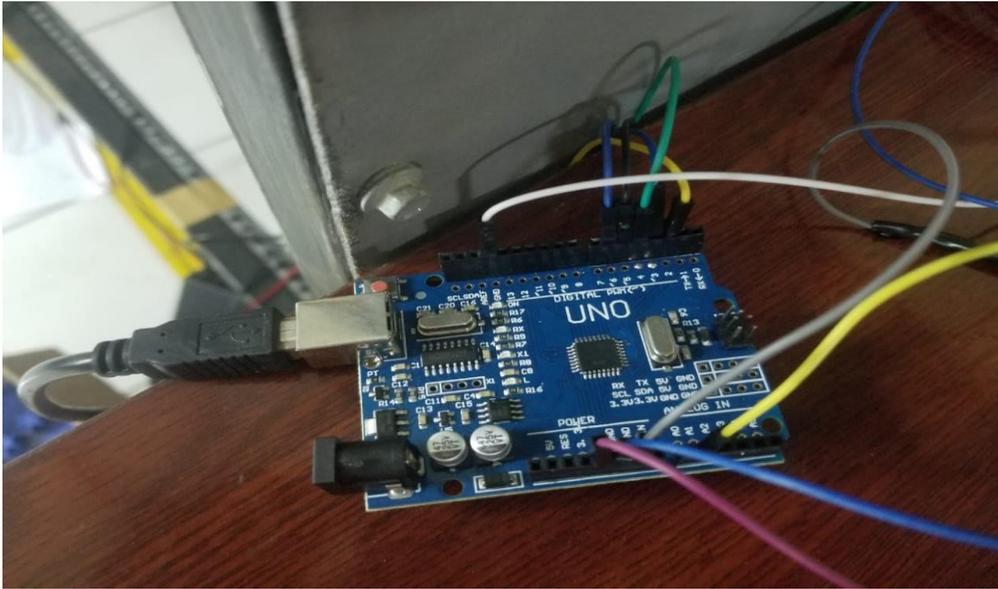
Tabel KP = 3

waktu (detik)	Kecepatan Kendaraan (km/jam)	Kecepatan Roda (km/jam)	<i>Slip Ratio</i>	set point	tegangan (volt)	SOC (%)
0	29,10	28,65	2%	0,2	51,4	97,33
0,2	28,21	27,53	2%	0,2	51,55	97,56
0,4	25,66	10,91	57%	0,2	51,6	97,64
0,6	18,31	16,29	11%	0,2	51,65	97,72
0,8	13,55	7,45	45%	0,2	51,73	97,84
1	13,64	10,00	27%	0,2	51,73	97,84
1,2	12,73	12,77	0%	0,2	51,85	98,02
1,4	8,38	5,61	33%	0,2	51,9	98,10
1,6	0	0	0%	0,2	51,92	98,13

Nama	Deskripsi	Satuan
x_1, x_2	Kecepatan angular pada roda atas dan bawah	rad/S
M_1	Torsi pengereman	Nm
r_1, r_2	Radius pada roda atas dan bawah	M
J_1, J_2	Total gaya yang dihasilkan oleh penekanan atas pada roda bawah	Kgm ²
d_1, d_2	Moment inersia pada roda atas dan bawah	Kgm ² /S
F_n	Koefisien friksi viscous pada roda atas dan bawah	N
$\mu(\lambda)$	Koefisien gesek/friksi pada roda	--
λ	Perbedaan <i>slip</i> -relatif pada kecepatan roda	--
M_{10}, M_{20}	Friksi statis pada roda atas dan bawah	Nm
M_g	Gravitasi dan torsi <i>shock absorber</i> yang bekerja pada tuas keseimbangan	Nm

LAMPIRAN DOKUMENTASI







A. Kodingan

```
#include <Wire.h>
```

```
//Deklarasi Variabel
```

```
double rpmRoda, rpmKendaraan; data bersifat koma 8 biit
```

```
volatile byte pulsesRoda, pulsesKendaraan;
```

```
unsigned long previousMillisRoda = 0; tipe data long batas minis minimal  
maksimal
```

```
unsigned long previousMillisKendaraan = 0;
```

```
boolean tombol = HIGH;
```

```
//Durasi Sampling dalam satuan mili sekon
```

```
int intervalMillisRoda = 200;    //Durasi Sampling Roda

int intervalMillisKendaraan = 200; //Durasi Sampling Kendaraan

unsigned long PulsesPerTurnRoda = 23;    //Jumlah Pin/Mur pada Roda

unsigned long PulsesPerTurnKendaraan = 8; //Jumlah Pin/Mur pada Kendaraan

#define PI 3.1415926536 //Mendefinisikan Nilai PI

int ButtonState = 0;    //Kondisi Tombol

double bacategangan, outputtegangan, slipratio, VeloRoda, VeloKendaraan;

double InputPID, OutputPID, Output;

double KP, KI, KD, proportional, integral, derivative, error, SumError,
previousError;

#define SetpointPID 0.2 //Mendefinisikan Nilai Setpoint Slipratio

#define KP 10 //Mendefinisikan Nilai Koefisien KP

#define KI 0 //Mendefinisikan Nilai Koefisien KI

#define KD 0 //Mendefinisikan Nilai Koefisien KD

//Mendefinisikan Batas Max dan Min PID

#define integral_max 100

#define integral_min -100 kontinyu

#define derivative_max 100
```

```
#define derivative_min -100

#define OutputPID_max 255

#define OutputPID_min 0

//Deklarasi Fungsi-Fungsi

void HitungPID()

{

    //Hitung Nilai Error

    error = SetpointPID - InputPID;

    SumError += error;

    //Hitung Nilai P, I, dan D

    if (integral > integral_max) integral = integral_max;

    else if (integral < integral_min) integral = integral_min;

    if (derivative > derivative_max) derivative = derivative_max;

    else if (derivative < derivative_min) derivative = derivative_min;

    proportional =  $K_P$  * error;

    integral =  $K_I$  * SumError;

    derivative =  $K_D$  * (error - previousError);

    previousError = error;
```

```
OutputPID = (short int) proportional + integral + derivative;
```

```
if (Output > OutputPID_max) Output = OutputPID_max;
```

```
else if (Output < OutputPID_min) Output = OutputPID_min;
```

```
}
```

```
void setup() {
```

```
  Serial.begin(9600);
```

```
  //Deklarasi Masing-Masing PIN Divais yg Tesambung dengan Arduino
```

```
  pinMode(13, OUTPUT);    //Pin LED
```

```
  //Perlu Dicek Ulang Apakah Pin sudah sesuai apa belum
```

```
  pinMode(2, INPUT);     //Pin Sensor Proximity Roda
```

```
  pinMode(3, INPUT);     //Pin Sensor Proximity Kendaraan
```

```
  pinMode(4, INPUT);     //Pin Rem
```

```
  pinMode(5, OUTPUT);    //Pin Pompa
```

```
  pinMode(6, OUTPUT);    //Pin Solenoid
```

```
  //Perintah Interrupt Untuk Penghitungan Pulsa
```

```
  attachInterrupt(0, HitungPulsaRoda, FALLING);
```

```
attachInterrupt(1, HitungPulsaKendaraan, FALLING);
```

```
//Inisiasi Nilai Variabel waktu menghidupkan pertama arduino
```

```
pulsesRoda = 0;
```

```
pulsesKendaraan = 0;
```

```
rpmRoda = 0;
```

```
rpmKendaraan = 0;
```

```
proportional = 0;
```

```
integral = 0;
```

```
derivative = 0;
```

```
error = 0;
```

```
SumError = 0;
```

```
previousError = 0;
```

```
OutputPID = 0;
```

```
}
```

```
void HitungPulsaRoda()
```

```
{
```

```
  pulsesRoda++;
```

```
}
```

```
void HitungPulsaKendaraan()
```

```

{
    pulsesKendaraan++;
}

void loop() {
    unsigned long currentMillis = millis();

    //Program Eksekusi Untuk Roda
    if ((unsigned long)(currentMillis - previousMillisRoda) >= 200)
    {
        //Jangan melakukan proses Interrupt selama Perhitungan (Mematikan proses
        Interrupt)
        detachInterrupt(0);

        //Persamaan Hitung RPM Roda
        rpmRoda = (60 * 1000 / PulsesPerTurnRoda) / (currentMillis -
        previousMillisRoda) * pulsesRoda;

        //(pulsesRoda / (currentMillis - previousMillisRoda)) * (60 * 1000) /
        PulsesPerTurnRoda;

        //(60 * 1000 * pulsesRoda) / PulsesPerTurnRoda /(currentMillis -
        previousMillisRoda);

        //Menyimpan nilai waktu saat ini pada previousMillis Roda
        previousMillisRoda = millis();
    }
}

```

```

pulsesRoda = 0; harus mengenkodkan kembali

//Mengaktifkan kembali fungsi Interrupt
attachInterrupt(0, HitungPulsaRoda, FALLING);
}

//Persamaan Hitung Nilai Kecepatan Roda (Km/Jam)
VeloRoda = 0.06 * PI * 0.54 * rpmRoda;

//Program Eksekusi Untuk Kendaraan
if ((unsigned long)(currentMillis - previousMillisKendaraan) >= 200)
{
//Jangan melakukan proses Interrupt selama Perhitungan
detachInterrupt(1);

//Persamaan Hitung RPM Kendaraan
rpmKendaraan = (60 * 1000 / PulsesPerTurnKendaraan) / (currentMillis -
previousMillisKendaraan) * pulsesKendaraan;

//((pulsesKendaraan / (currentMillis - previousMillisKendaraan)) * (60 * 1000) /
PulsesPerTurnKendaraan);

//((60 * 1000 * pulsesKendaraan) / PulsesPerTurnKendaraan / (currentMillis -
previousMillisKendaraan);

//Menyimpan nilai waktu saat ini pada previousMillis Roda

```

```

previousMillisKendaraan = millis();

pulsesKendaraan = 0;

//Mengaktifkan kembali fungsi Interrupt

attachInterrupt(1, HitungPulsaKendaraan, FALLING);

}

//Persamaan Hitung Nilai Kecepatan Kendaraan (Km/Jam)

VeloKendaraan = 0.06 * PI * 0.32 * rpmKendaraan;

//Menghitung Nilai Slipratio

slipratio = (VeloKendaraan - VeloRoda) / VeloKendaraan;

InputPID = slipratio;

HitungPID();

//Menghitung Nilai Tegangan Baterai

bacategangan = analogRead(A1);

outputtegangan = ((bacategangan * 0.00489) * 10.5);

//Program Eksekusi Tombol Rem

ButtonState = digitalRead(4);

if (ButtonState == HIGH) //Eksekusi Ketika Tombol Rem Ditekan

{

```

```

// turn LED on:

digitalWrite(13, HIGH);    //Nyalakan LED

digitalWrite(5, HIGH);    //Nyalakan Pompa

digitalWrite(6, Output);  //Mulai Pengereman ABS

}

else                      //Eksekusi Ketika Tombol Rem Dilepas

{

// turn LED off:

digitalWrite(13, LOW);    //Matikan Lampu

digitalWrite(5, LOW );    //Matikan Pompa

digitalWrite(6, LOW );    //Pengereman ABS Mati

}

digitalWrite(6, LOW);

//Menampilkan Hasil pada Serial Monitor

Serial.print("Kecepatan Kendaraan =
");Serial.print(VeloKendaraan);Serial.print(" || ");

Serial.print("Kecepatan roda = ");Serial.print(VeloRoda);Serial.print(" || ");

Serial.print("Set point = ");Serial.print(SetpointPID);Serial.print(" || ");

Serial.print("Slip ratio = ");Serial.print(slipratio);Serial.print(" || ");

Serial.print("Output PID = ");Serial.print(OutputPID);Serial.print(" || ");

Serial.print("Tegangan Baterai = ");Serial.println(outputtegangan);

delay(200);

```

}

B. Datasheet Proximity Lefircko

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

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

Detection distance 5mm			Model no.	Other model no.	Replaced model no.	Replaced model no.	
Flush	DC	NPN	NO	LJ18A3-5-Z/BX	LM18-3005NA	E2E-X10ME1	PR18-SDN
			NC	LJ18A3-5-Z/AX	LM18-3005NB	E2E-X10ME2	PR18-SDN2
			NO+NC	LJ18A3-5-Z/CX	LM18-3005NC		
		PNP	NO	LJ18A3-5-Z/BY	LM18-3005PA	E2E-X10MF1	PR18-SDP
			NC	LJ18A3-5-Z/AY	LM18-3005PB	E2E-X10MF2	PR18-SDP2
			NO+NC	LJ18A3-5-Z/CY	LM18-3005PC		
	AC	2 wires system	NO	LJ18A3-5-Z/EX	LM18-3005LA		
			NC	LJ18A3-5-Z/DX	LM18-3005LB		
		SCR Silicon Controlled Rectifier Relay output	NO	LJ18A3-5-J/EZ	LM18-2005A	E2E-X10MY1	PR18-5AO
			NC	LJ18A3-5-J/DZ	LM18-2005B	E2E-X10MY2	PR18-5AC
			NO+NC	LJ18A3-5-J/EZD	LM18-2005C		

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

LM18 Product feature

Output current	DC	150mA
	SCR/Relay	
Output voltage drop	DC(NPN、PNP)<3V、2wires <3.9VDC、<10VACDC<3V、AC<	
Consumption current	DC(NPN、PNP) DC 12V 8mA、24V 15mA、AC 10mA DC<15mA、AC<10mA	
Standard detected object	18*18*1(A3 Iron)	
Repeated precision	0.02	
Response frequency	200Hz~25Hz	
Working environment temperature	-25℃ ~+75℃	
Insulation resistance	50MΩ	
Shell material	Metal	
Protection Grade	IP67	
Alternative model	E2E-X18Mc	

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Kabupaten Banyuwangi pada 11 Juli 1998. Penulis menempuh pendidikan di SD Kepatihan 06 Jember (2004 – 2010), SMPN 2 Jember (2010 – 2013), SMAN 1 Jember (2013 – 2016), dan pendidikan S-1 di Departemen Teknik Fisika , Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Selama menjadi mahasiswa, penulis mengambil bidang minat Instrumentasi menjadi asisten Laboratorium Embended Cyber and System. Penulis juga aktif organisasi dan pernah menjadi Ketua UKM Badminton ITS pada tahun 2018, Kepala Departemen Olahraga dan Kesehatan HMTF ITS 2018-2019 dan Wakil Eksternal LMB ITS pada tahun 2019. Pada bulan Agustus penulis melakukan *internship* pada Departemen Pemeliharaan di PT PETROKIMIA, Gresik. Pada *internship* tersebut penulis melakukan analisa Performansi Shell and tube Heat Exchanger 104 dengan metode Number of Transfer (ϵ -NTU) Unit di Pabrik Phoska I. Penulis dapat dihubungi melalui *e-mail* mohammaderdianto@gmail.com