



TUGAS AKHIR - EE 184801

## SISTEM NAVIGASI ROBOT *QUADRUPED* PEMADAM API MENGUNAKAN LIDAR

Jafar  
NRP 0711174500053

Dosen Pembimbing  
Dr. Muhammad Rivai, ST., MT.

DEPATERMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019





**TUGAS AKHIR - EE 184801**

**SISTEM NAVIGASI ROBOT *QUADRUPED* PEMADAM API  
MENGUNAKAN LIDAR**

Jafar  
NRP 07111745000053

Dosen Pembimbing  
Dr. Muhammad Rivai, ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019





**FINAL PROJECT - EE 184801**

**NAVIGATION SYSTEM OF FIRE EXTINGUISHER QUADRUPED  
ROBOT USING LIDAR**

Jafar  
NRP 07111745000053

Supervisor  
Dr. Muhammad Rivai, ST., MT.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Electrical Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019







## **PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “Sistem Navigasi Robot *Quadruped* Pemadam Api Menggunakan LIDAR” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 15 Mei 2019

Jafar  
NRP. 07111745000053



**SISTEM NAVIGASI ROBOT *QUADRUPED* PEMADAM API  
MENGUNAKAN LIDAR**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Elektronika  
Departemen Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui :

Dosen Pembimbing,



Dr. Muhammad Rivai, ST.,MT.  
NIP.196904261994031003





## SISTEM NAVIGASI ROBOT *QUADRUPED* PEMADAM API MENGUNAKAN LIDAR

Nama : Jafar  
Pembimbing : Dr. Muhammad Rivai, ST., MT.

### ABSTRAK

Robot *quadruped* adalah robot yang memiliki empat buah kaki untuk berjalan. Pada setiap kaki robot terdapat tiga DoF (*Degree of Freedom*). Sistem navigasi robot *quadruped* pada umumnya menggunakan metode telusur dinding dengan menggunakan sensor ultrasonik dan sensor *infrared* sharp gp2y0a21, namun kedua sensor tersebut memiliki kelemahan untuk sistem navigasi karena terlalu lebarnya daerah pembacaan sensor ultrasonik dan sensor *infrared* sharp gp2y0a21 yang hanya fokus terhadap satu titik pembacaan sehingga terdapat titik buta ketika robot bernavigasi sehingga dibutuhkan sistem navigasi dengan sensor yang efektif sebagai solusi dari permasalahan tersebut. CO<sub>2</sub> adalah senyawa kimia yang terbentuk dari dua atom oksigen dengan sebuah atom karbon, memiliki sifat tidak terbakar dan lebih berat dari udara sehingga sangat efektif dan ramah lingkungan untuk memadamkan api. Robot *quadruped* pemadam api dirancang untuk memadamkan api lilin yang mengikuti aturan dari Kontes Robot Pemadam Api dengan sistem navigasi menggunakan sensor LIDAR. Robot ini memiliki dimensi 24 cm x 24 cm x 26 cm dan menggunakan CO<sub>2</sub> untuk memadamkan api. Alat ini menggunakan mikrokontroler STM32F4 sebagai *main controller* dan kontrol PID ditanamkan pada mikrokontroler STM32F4 untuk mengatur sistem navigasi pada robot. Pengujian alat ini dilakukan dengan robot bernavigasi dari satu ruang ke ruang yang terdapat api lilin kemudian memadamkannya, didapatkan rata-rata waktu yang dibutuhkan robot dalam memadamkan api adalah 21.65 detik, dengan kecepatan robot yang paling efektif adalah 20 cm/s.

**Kata kunci:** Karbon Dioksida, *Light Detection and Ranging*, Robot *Quadruped*.



## NAVIGATION SYSTEM OF FIRE EXTINGUISHER QUADRUPED ROBOT USING LIDAR

Name : Jafar  
Supervisor : Dr. Muhammad Rivai, ST., MT.

### **ABSTRACT**

*Quadruped robot is the robot that has four legs to walk. One each of the robot's leg there are three DoF (Degree of Freedom). The navigation system of quadruped robot usually uses wall following method using ultrasonic sensor and sharp gp2y0a21 infrared sensor. But both of those sensors have the weakness for the navigation system because the reading area of ultrasonic sensor is too wide and sharp gp2y0a21 infrared sensor only focuses on one reading point so there is a blind spot when the robot navigates so we need an effective navigation system with sensor as a solution to these problems. CO<sub>2</sub> is a chemical compound that is formed from two oxygen atoms with a carbon atom, CO<sub>2</sub> has a non-flammable nature and it is heavier than air, so it is very effective and eco friendly for fire extinguishing. Fire extinguishing quadruped robot is designed to extinguish the candle fire which based on the rule of fire extinguishing robot contest with the navigation system using LIDAR. The robot's dimension is 24 cm x 24 cm x 26 cm and robot uses CO<sub>2</sub> to extinguish the fire. This tool uses STM32F4 as the main controller and the PID control is embedded in the STM32F4 microcontroller to control the navigation system on the robot. The testing of this tool is carried out by the robot navigates from one room to the room where there is the fire candle than robot extinguishes it. The average time of robot to extinguish the fire is 21.65 seconds, with the most effective of robot speed is 20 cm/s.*

*Keywords: Carbon Dioxide, Light Detection and Ranging, Quadruped Robot*

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Allah SWT atas berkat dan hikmat yang diberikan, penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul **“Sistem Navigasi Robot *Quadraped* Pemadam Api Menggunakan LIDAR”**, sebagai salah satu persyaratan dalam menyelesaikan pendidikan program Strata-Satu di Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Dalam penyusunan dan penyelesaian laporan Tugas Akhir ini penulis mendapatkan banyak sekali doa, bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada :

1. Dr. Muhammad Rivai, ST., MT. selaku dosen pembimbing atas gagasan topik tugas akhir serta bimbingan dan arahan untuk penulis selama mengerjakan tugas akhir.
2. Ir. Harris Pirngadi, MT., Fajar Budiman, ST., M.Sc., Ir. Totok Mujiono, M.IKom. Dr.Eng., dan Muhammad Attamimi, B.Eng, M.Eng, PhD, selaku dosen penguji yang telah memberikan saran yang membangun pada penulis.
3. Bapak Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng., Dr.Eng . selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
4. Seluruh dosen bidang studi elektronika Departemen Teknik Elektro ITS.
5. Orang tua, yang tak henti-hentinya memberikan semangat dan kasih sayang yang luar biasa kepada penulis.
6. Teman-teman micro club, tim KRPAI berkaki Al-Fatih, teman-teman bidang studi elektronika dan tim KRPAI berkaki ITS ABINARA-1 yang telah banyak membantu dan memberikan semangat kepada penulis selama mengerjakan tugas akhir.

Penulis menyadari bahwa masih banyak yang dapat dikembangkan pada tugas akhir ini. Oleh karena itu penulis menerima setiap masukan dan kritik yang diberikan. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, 15 Mei 2019

Jafar

# DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
ABSTRAK .....	v
<i>ABSTRACT</i> .....	vii
KATA PENGANTAR .....	ix
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xv
BAB I .....	1
PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan Penelitian .....	2
1.4. Batasan Masalah .....	2
1.5. Metodologi Penelitian .....	2
1.6. Sistematika Penulisan .....	4
1.7. Relevansi .....	5
BAB II .....	7
TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1. <i>Design and Implementation of LIDAR Navigation System         Based on Triangular Measurement</i> .....	7
2.2. <i>Navigation Strategy for a Quadruped Robot on Soft Flat         Ground</i> .....	7
2.3. <i>Development and Implementation of Arduino         Microcontroller Based Dual Mode Fire Extinguishing         Robot</i> .....	8
2.4. <i>Robot Quadruped</i> .....	8
2.5. <i>Light Detection and Ranging</i> .....	9
2.6. <i>UVTRON Flame Detector</i> .....	11
2.7. <i>Phototransistor</i> .....	13
2.8. <i>STM32F4 Discovery</i> .....	14
2.9. <i>Teensy 3.2</i> .....	17
2.10. <i>Atmega32</i> .....	18
2.11. <i>Dynamixel</i> .....	20
2.12. <i>CMPS11</i> .....	21
2.13. <i>Motor Servo</i> .....	22
2.14. <i>PID Controller</i> .....	23

BAB III.....	25
PERANCANGAN SISTEM.....	25
3.1. Perancangan <i>Hardware</i> .....	26
3.1.1. Desain Body Robot.....	26
3.1.2. Desain Sistem Elektronik Robot.....	29
3.2. Perancangan <i>Software</i> .....	35
3.3. Perancangan Sistem Kontrol Pada Robot.....	40
3.4. Perancangan Sistem Memadamkan Api.....	41
BAB IV.....	43
PENGUJIAN DAN ANALISA.....	43
4.1. Pengujian Sensor LIDAR.....	43
4.2. Pengujian Sensor UVTRON.....	45
4.3. Pengujian Sensor <i>Phototransistor</i> .....	47
4.4. Pengujian CMPS11.....	50
4.5. Pengujian Servo.....	52
4.6. Pengujian Kontrol PID.....	53
4.7. Pengujian Kecepatan Robot.....	54
4.8. Pengujian Keseluruhan Sistem.....	57
BAB V.....	59
PENUTUP.....	59
5.1. Kesimpulan.....	59
5.2. Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA.....	61
LAMPIRAN A.....	63
LAMPIRAN B.....	65
LAMPIRAN C.....	71
BIODATA PENULIS.....	73

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Quadruped</i> Robot (a)Tipe mammal, (b)Tipe Sprawling .....	8
Gambar 2.2 <i>Platform</i> robot Abinara-1. ....	9
Gambar 2.3 Cara kerja sensor LIDAR .....	10
Gambar 2.4 Respon spektral UVTRON pada sumber cahaya . ....	12
Gambar 2.5 Sensitifitas pembacaan UVTRON.....	12
Gambar 2.6 Rangkaian <i>driver</i> UVTRON .....	13
Gambar 2.7 Rangkaian ekuivalensi <i>Phototransistor</i> .....	13
Gambar 2.8 Blok diagram STM32F4.....	16
Gambar 2.9 Blok diagram Teensy 3.2 .....	17
Gambar 2.10 Blok diagram Atmega32.....	19
Gambar 2.11 Blok diagram Dynamixel .....	20
Gambar 2.12 Rentang <i>goal position</i> Dynamixel.....	21
Gambar 2.13 Hubungan antara nilai data dan kecepatan RPM. ....	21
Gambar 2.14 Blok diagram CMPS11.....	22
Gambar 2.15 Blok diagram Servo.....	23
Gambar 2.16 Blok diagram PID.....	24
Gambar 3.1 <i>Flowchat</i> perancangan sistem. ....	25
Gambar 3.2 Diagram blok sistem navigasi robot <i>Quadruped</i> pemadam api menggunakan LIDAR. ....	26
Gambar 3.3 Desain peletakan LIDAR pada robot. ....	27
Gambar 3.4 Desain peletakan UVTRON pada robot. ....	27
Gambar 3.5 Desain peletakan <i>board Phototransistor</i> pada robot. ....	28
Gambar 3.6 Desain peletakan CMPS11 pada robot. ....	28
Gambar 3.7 Desain peletakan Servo pada robot. ....	29
Gambar 3.8 Blok diagram sistem elektronik robot. ....	29
Gambar 3.9 Perancangan elektronik (a) Sensor LIDAR dan .....	30
Gambar 3.10 Diagram pengkabelan UVTRON dengan STM32F4 Discovery. ....	31
Gambar 3.11 Diagram pengkabelan <i>Phototransistor</i> dengan Atmega32. ....	32
Gambar 3.12 Diagram pengkabelan CMPS11 dengan Atmega32.....	33
Gambar 3.13 Diagram pengkabelan Dynamixel dengan STM32F4 Discovery.....	34
Gambar 3.14 Diagram pengkabelan Servo dengan STM32F4 Discovery.....	35
Gambar 3.15 <i>Flowchart</i> pengaksesan LIDAR. ....	36

Gambar 3.16 <i>Flowchart</i> pengaksesan UVTRON. ....	37
Gambar 3.17 <i>Flowchart</i> pengaksesan <i>Phototransistor</i> . ....	38
Gambar 3.18 <i>Flowchart</i> pengaksesan CMPS11. ....	38
Gambar 3.19 <i>Flowchart</i> pengaksesan Servo. ....	39
Gambar 3.20 Blok diagram kontrol PID. ....	40
Gambar 3.21 <i>Flowchart</i> perancangan PID. ....	41
Gambar 3.22 Blok diagram sistem memadamkan api. ....	42
Gambar 3.23 <i>Flowchart</i> perancangan sistem memadamkan api. ....	42
Gambar 4.1 Pengujian sensor LIDAR. ....	43
Gambar 4.2 Grafik perbandingan pembacaan LIDAR dengan jarak terukur. ....	44
Gambar 4.3 Pengujian sensor UVTRON. ....	45
Gambar 4.4 Pengujian sensor <i>Phototransistor</i> . ....	47
Gambar 4.5 Grafik pengujian <i>phototransistor</i> pada malam hari. ....	48
Gambar 4.6 Grafik pengujian <i>phototransistor</i> pada siang hari. ....	49
Gambar 4.7 Pengujian sensor CMPS11. ....	50
Gambar 4.8 Grafik perbandingan nilai CMPS11 dengan sudut sebenarnya. ....	51
Gambar 4.9 Pengujian Servo. ....	52
Gambar 4.10 Pengujian kontrol PID. ....	53
Gambar 4.11 Pengujian kecepatan robot ketika berjalan lurus. ....	54
Gambar 4.12 Grafik kecepatan robot ketika berjalan lurus. ....	55
Gambar 4.13 Pengujian kuantitas robot menabrak dinding. ....	55
Gambar 4.14 Pengujian robot pada rute lingkaran. ....	56
Gambar 4.15 Pengujian keseluruhan sistem. ....	57

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Perbandingan pengujian sensor LIDAR dengan jarak sebenarnya.....	44
Tabel 4.2 Pengujian sensitifitas UVTRON pada malam hari.....	46
Tabel 4.3 Pengujian sensitifitas UVTRON pada siang hari.....	46
Tabel 4.4 Pengujian sensitifitas <i>phototransistor</i> pada malam hari dengan intensitas terukur 21 lux.....	48
Tabel 4.5 Pengujian sensitifitas <i>Phototransistor</i> pada siang hari dengan intensitas terukur 112 lux.....	49
Tabel 4.6 Pengujian sensor CMPS11.....	51
Tabel 4.7 Pengujian Servo.....	52
Tabel 4.8 Pengujian kontrol PID.....	53
Tabel 4.9 Pengujian Kecepatan Robot Ketika Berjalan Lurus.....	54
Tabel 4.10 Pengujian kuantitas robot menabrak dinding.....	56
Tabel 4.11 Pengujian robot pada rute lingkaran.....	56
Tabel 4.12 Pengujian keseluruhan sistem.....	57

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Robot *quadruped* adalah robot yang memiliki empat buah kaki yang mampu berjalan dengan mengatur setiap pergerakan kakinya. Pada masing-masing kaki robot terdapat tiga DoF (*Degree of Freedom*) [1]. saat ini robot *quadruped* banyak digunakan dan dikembangkan pada macam-macam kegiatan diantaranya yaitu Kontes Robot Pemadam Api Indonesia (KRPAI), yang merupakan kegiatan perlombaan robot pemadam api yang setiap tahunnya diadakan di Indonesia oleh Kontes Robot Indonesia (KRI) dan Trinity College Fire Fighting Home Robot Contest yang merupakan perlombaan robot pemadam api tingkat internasional.

Sistem navigasi digunakan untuk memandu perjalanan robot dari suatu tempat ke tempat tujuan. Pada robot *quadruped* pada umumnya menggunakan metode telusur dinding dengan menggunakan sensor ultrasonik dan sensor *infrared sharp gp2y0a21*. Permasalahan yang sering dihadapi dalam navigasi robot adalah terdapat titik buta pada robot ketika robot sedang bernavigasi, titik buta disebabkan karena terlalu lebarnya daerah pembacaan sensor ultrasonik dan sensor *infrared sharp gp2y0a21* hanya fokus terhadap satu titik pembacaan. Penggunaan sensor yang tepat akan membantu navigasi robot menjadi lebih baik.

Robot *quadruped* pada tugas akhir ini disesuaikan dengan peraturan pada Kontes Robot Pemadam Api Indonesia (KRPAI) divisi berkaki dan mempunyai misi yaitu memadamkan api. Pada divisi robot KRPAI dimensi maksimal pada robot adalah 31 x 31 x 27 (panjang x lebar x tinggi) dan menggunakan lapangan berbentuk labirin yang di dalamnya terdapat empat buah ruangan dengan dimensi 244 x 244 x 31 (panjang x lebar x tinggi). Pada tugas akhir ini dilakukan penggunaan sensor LIDAR (*Light Detection and Ranging*) untuk navigasi robot. LIDAR adalah sistem radar yang bekerja di bawah spektrum inframerah ke spektrum ultraviolet, digunakan untuk mengukur posisi (jarak dan sudut), status gerakan (kecepatan getaran dan postur) dan bentuk objek, serta dapat mendeteksi, mengenali, membedakan dan melacak objek. LIDAR telah banyak digunakan di bidang militer [2]. Aktuator yang digunakan pada robot ini adalah dynamixel, yaitu *smart servo* yang memiliki mikroprosesor internal untuk memfasilitasi *communication bus, position*

*feedback, temperature and load monitoring*. Kontrol yang digunakan pada navigasi robot adalah kontrol PID melalui mikrokontroler STM32F4 Discovery. Untuk memadamkan api menggunakan gas CO<sub>2</sub>. Diharapkan robot dapat bernavigasi lebih optimal, cepat dan berkurangnya kuantitas tabrakan terhadap dinding dan *obstacle*.

## **1.2. Perumusan Masalah**

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

1. Sistem navigasi robot *quadruped*.
2. Derajat kebebasan LIDAR yang digunakan pada robot *quadruped*.
3. Jenis kontrol yang digunakan untuk navigasi robot.
4. Cara memadamkan api yang akurat.

## **1.3. Tujuan Penelitian**

Penelitian pada tugas akhir ini bertujuan sebagai berikut:

1. Implementasi LIDAR dalam sistem navigasi robot *quadruped*.
2. Memanfaatkan LIDAR dengan satu derajat kebebasan 360°
3. Penggunaan kontrol PID untuk navigasi robot.
4. Penggunaan CO<sub>2</sub> untuk memadamkan api.

## **1.4. Batasan Masalah**

Batasan masalah dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Lapangan pengujian disesuaikan dengan aturan lomba KRPAI (Kontes Robot Pemadam Api Indonesia) divisi berkaki.
2. Target akhir robot ini untuk memadamkan api.

## **1.5. Metodologi Penelitian**

Langkah-langkah yang dikerjakan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

### **1. Studi literatur**

Studi literatur berupa kegiatan pengumpulan dan pengkajian dasar teori yang terpercaya untuk menunjang penulisan tugas akhir ini. Literatur dapat bersumber dari paper, jurnal, artikel maupun buku yang bertaraf nasional dan internasional untuk menunjang penulisan tugas akhir.

## **2. Observasi dan Analisa Masalah**

Pada tahap observasi dan analisa masalah dilakukan pengkajian mendalam terhadap fakta-fakta sistem navigasi pada robot *quadruped*. Pada tahap ini juga dilakukan hipotesa sementara terhadap fakta-fakta ilmiah yang telah dipublikasikan di paper dan jurnal di bidangnya.

## **3. Persiapan Alat dan Bahan**

Tahap ini merupakan tahap pencarian informasi mengenai alat dan bahan yang dibutuhkan untuk merancang alat ini. Pencarian dilakukan melalui situs belanja, mempelajari *datasheet* modul dan komponen elektronik, serta mendapatkan bimbingan dari dosen pembimbing. Tujuan dari persiapan alat dan bahan untuk mempermudah desain mekanik dan elektronik pada tahap perancangan alat.

## **4. Perancangan Alat**

Perancangan alat bertujuan untuk mendapatkan desain elektronik dan mekanisme yang optimal dengan memperhatikan data-data yang diperoleh sebelumnya. Perancangan disini termasuk perancangan software dan hardware. Software dirancang dengan pembuatan source code yang meliputi membaca sensor LIDAR, sensor UVTRON, sensor *phototransistor*, sensor CMPS11 dan mengakses dynamixel.

## **5. Pembuatan Alat**

Rancangan desain elektronik yang telah dibuat kemudian dilakukan pencetakan rangkaian pada PCB. Setelah melakukan pencetakan kemudian dilakukan penyolderan komponen sesuai dengan desain. Dan rancangan desain mekanik dilakukan pencetakan akrilik.

## **6. Tahap Pengujian**

Pada tahap ini dilakukan pengujian software komponen dan pengujian hardware. Bagian-bagian tersebut meliputi pengujian pembacaan sensor LIDAR, sensor UVTRON, sensor *phototransistor*, sensor CMPS11 dan pengujian terhadap dynamixel. Kemudian dilakukan uji coba keseluruhan sistem alat sesuai dengan daerah atau arena yang sudah ditentukan.

## 7. Analisa dan Evaluasi

Analisa dilakukan dengan mengolah dan mempelajari setiap data hasil pengujian terhadap perubahan variable yang dilakukan serta membandingkan dengan literatur untuk mendapatkan hasil navigasi yang optimal. Apabila didapatkan data yang tidak sesuai dengan harapan atau perbedaan data di lapangan dengan literatur, maka dilakukan evaluasi dari alat tersebut untuk dilakukan perancangan dan pengujian kembali.

## 8. Penyusunan Laporan Tugas Akhir

Tahap penyusunan laporan merupakan tahap terakhir dari proses pengerjaan tugas akhir ini. Semua hal yang menyangkut dengan tugas akhir dari tahap awal sampai tahap akhir dimuat dalam laporan tugas akhir.

### 1.6. Sistematika Penulisan

Dalam buku tugas akhir ini, pembahasan mengenai sistem yang dibuat terbagi menjadi lima bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

- **BAB I : Pendahuluan**  
Bab ini meliputi penjelasan latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, metodologi, sistematika penulisan, dan relevansi.
- **BAB II : Tinjauan Pustaka**  
Pada bab ini berisi mengenai teori yang mendasari penyusunan laporan tugas akhir secara umum khususnya yang berhubungan komponen yang akan digunakan.
- **BAB III : Perancangan Sistem**  
Bab ini menjelaskan tentang perencanaan sistem yang meliputi perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) untuk pembuatan alat ini.
- **BAB IV : Pengujian dan Analisis**  
Pada bab ini menguraikan tentang pengujian alat pada pesawat dan analisa hasil pengujian.
- **BAB V : Penutup**  
Bab ini berisi tentang kesimpulan yang diperoleh dari pembuatan alat serta saran untuk pengembangan lebih lanjut.

## **1.7. Relevansi**

Dengan dibuatnya tugas akhir ini akan membantu robot *quadruped* dalam bernavigasi. Prinsip dasar dari alat ini adalah robot bernavigasi dengan metode telusur dinding dari pembacaan sensor LIDAR. Pembacaan data LIDAR dibagi menjadi beberapa bagian, kemudian dijadikan acuan atau parameter dalam navigasi robot.

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Suatu penelitian memerlukan teori-teori yang sudah ada sebelumnya untuk dikaji lebih dalam memperkuat argumen penulis. Teori tersebut digunakan untuk membantu penulis dan sebagai dasar dalam membuat suatu penelitian.

Pada bab ini terdapat teori dasar yang menjadi landasan untuk merumuskan dan menyelesaikan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini. Pada bagian ini terdapat tinjauan pustaka tentang penelitian-penelitian yang ada keterkaitan dengan proyek penelitian ini dan tinjauan pustaka tentang komponen yang akan digunakan untuk membuat alat pada penelitian ini.

#### ***2.1. Design and Implementation of LIDAR Navigation System Based on Triangular Measurement***

Pada penelitian ini menjelaskan tentang desain dan implementasi sistem navigasi LIDAR berbasis perhitungan triangular. Kesamaan penelitian ini dengan tugas akhir yang dilakukan adalah pada sistem navigasi menggunakan LIDAR dengan satu derajat kebebasan yaitu  $360^\circ$ . Kesimpulan pada penelitian ini sangat bagus untuk sistem navigasi robot menggunakan LIDAR karena sistem navigasi yang dihasilkan memiliki pengukuran yang sangat akurat pada jarak dekat dan kondisi kecepatan rendah serta memiliki performa yang signifikan dalam kemampuan beradaptasi, stabilitas dan praktis. Sehingga LIDAR menjadi pilihan yang sangat baik untuk navigasi robot dalam ruangan [2].

#### ***2.2. Navigation Strategy for a Quadruped Robot on Soft Flat Ground***

Pada penelitian ini menjelaskan bahwa tugas yang paling penting untuk robot adalah mengenali lingkungan dan menghindari rintangan. Robot berkaki memiliki keunggulan di medan yang kasar karena robot berkaki memiliki tingkat kebebasan yang tinggi dalam menghindari rintangan. Strategi navigasi robot berkaki pada medan yang tidak rata adalah dengan menggunakan sensor gaya yang dipasang pada setiap telapak kaki robot. Kesimpulan pada penelitian ini adalah output sensor gaya memiliki ketidakpastian karena tergantung dari postur dari semua kaki, dan sulit untuk menentukan nilai ambang batas dari setiap kaki.

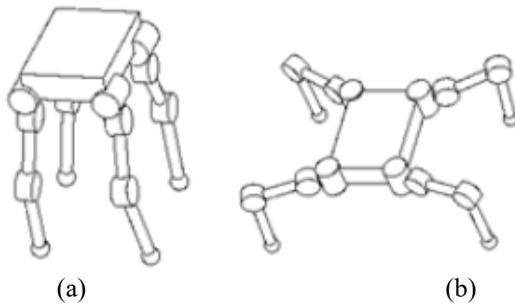
Algoritma yang digunakan untuk nilai ambang batas adalah *fuzzy logic*, dari hasil penelitian menunjukkan bahwa strategi yang diusulkan sangat efektif pada pergerakan di permukaan yang lembut [5].

### **2.3. Development and Implementation of Arduino Microcontroller Based Dual Mode Fire Extinguishing Robot**

Pada penelitian ini membahas tentang robot pemadam api dengan dua mode yaitu mode otomatis dan mode manual, pengoperasian robot menggunakan *board* mikrokontroler arduino. Pada mode otomatis robot bernavigasi menggunakan sensor ultrasonik dan sensor *infrared* untuk mencari lokasi api, robot menggunakan sensor *flame detector* untuk mendeteksi adanya api, ketika robot mendeteksi adanya api maka robot akan mendekat ke titik api kemudian memadamkannya dengan air, sedangkan pada mode manual robot dikendalikan lewat *bluetooth* [3].

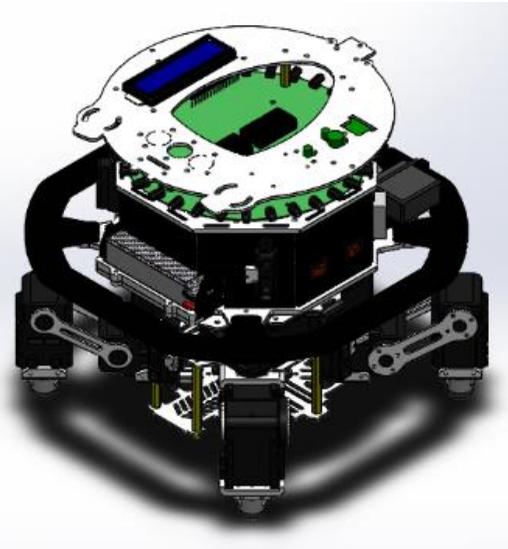
### **2.4. Robot Quadruped**

Robot *quadruped* adalah tipe robot berkaki yang memiliki empat kaki dengan postur ponograd atau quadrupedalisme. Bentuk tersebut adalah bentuk lokomosi terrestrial pada hewan memaki empat paha atau lutut. *Quadruped* robot ini dibedakan menjadi dua jenis yaitu tipe mammal dan tipe sprawling [4]. Pada tipe mamalia kaki robot menempel secara vertikal ke bawah dari pangkal kaki sebagai postur standar, sedangkan pada tipe sprawling kaki pertama (paha) berada dalam posisi arah horizontal, dan kaki kedua (betis) berada dalam arah vertikal sebagai postur standar. Jenis robot *quadruped* dapat dilihat pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.1** *Quadruped* Robot (a)Tipe mammal, (b)Tipe Sprawling [5]

Mayoritas robot *quadruped* yang digunakan pada Kontes Robot Pemadam Api Indonesia divisi berkaki adalah robot *quadruped* tipe sprawling. Salah satu contohnya adalah *platform* robot abinara-1 dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember, dapat dilihat pada Gambar 2.2.



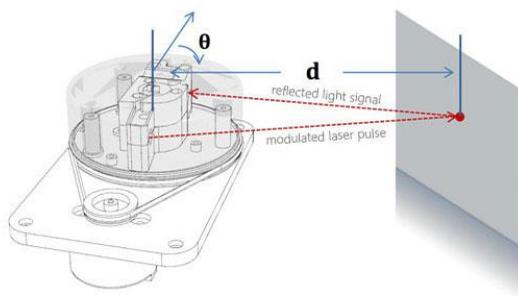
**Gambar 2.2** Platform robot Abinara-1.

Tugas yang penting pada *mobile robot* adalah mengenali lingkungan dan menghindari halangan di medan yang nyata. Robot berkaki memiliki keunggulan dibanding *mobile robot*, yaitu dapat menyesuaikan pada medan yang kasar, karena robot berkaki memiliki tingkat kebebasan yang tinggi di tiga dimensi. Pada robot tersebut terdapat strategi gerak pada medan dengan kekerasan berbeda [6].

## **2.5. Light Detection and Ranging**

LIDAR merupakan sistem penginderaan jarak menggunakan sinar laser, sinar laser tersebut memiliki gelombang *infrared*. Perangkat ini mengukur jarak dengan menghitung waktu tunda antara transmisi sinyal laser *near infrared* dan penerimanya setelah sinyal tersebut terpantul dari target, diterjemahkan ke dalam jarak menggunakan kecepatan cahaya [7].

Untuk melakukan pengukuran, perangkat ini pertama-tama melakukan koreksi bias penerima rutin, koreksi untuk mengubah tingkat cahaya sekitar dan memungkinkan maksimum kepekaan. Kemudian perangkat mengirimkan sinyal referensi langsung dari pemancar ke penerima. Perangkat menyimpan tanda transmisi, mengatur waktu tunda untuk jarak nol, dan kalkulasi ulang penundaan tersebut secara berkala setelah beberapa pengukuran. Selanjutnya, perangkat memulai pengukuran dengan melakukan serangkaian akuisisi. Setiap akuisisi adalah transmisi sinyal laser utama, sementara merekam sinyal kembalinya ke penerima. Jika ada kecocokan sinyal, hasilnya disimpan dalam memori sebagai catatan korelasi. Akuisisi selanjutnya dijumlahkan dengan hasil sebelumnya. Ketika suatu benda pada jarak tertentu mencerminkan sinyal laser kembali ke perangkat, akuisisi berulang ini menyebabkan peak to emerge, out of noise, di lokasi jarak yang sesuai di catatan korelasi. Perangkat mengintegrasikan akuisisi sampai puncak sinyal dalam rekaman korelasi sebuah nilai maksimum. Jika sinyal yang dikembalikan tidak cukup kuat, perangkat akan berhenti pada akuisisi maksimum yang telah dihitung. Kekuatan sinyal dihitung dari besarnya puncak sinyal dan batas sinyal yang valid dihitung dari dasar noise. Jika puncaknya di atas ambang batas pengukuran maka dianggap valid dan perangkat akan menghitung jarak, selain itu akan memberitahukan 1 cm. saat memulai pengukuran berikutnya, perangkat membersihkan catatan sinyal dan memulai urutan lagi. Cara kerja sensor LIDAR dapat dilihat pada Gambar 2.3.

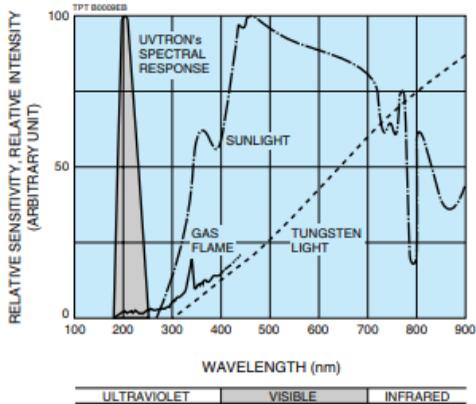


**Gambar 2.3** Cara kerja sensor LIDAR [8].

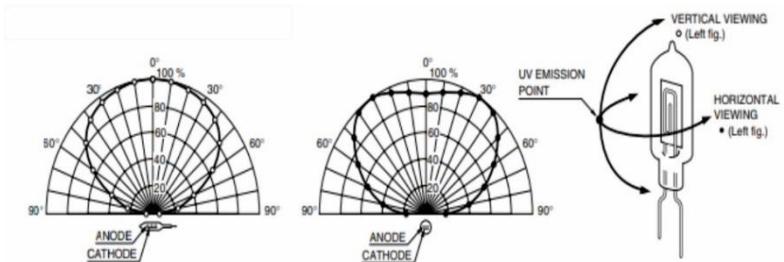
LIDAR adalah sebuah instrumentasi navigasi yang diterapkan pada berbagai jenis robot dan semakin banyak mendapat perhatian. Beberapa penelitian memperkenalkan sistem navigasi LIDAR pada *mobile* robot dengan antarmuka komputer. Sistem navigasi tersebut didasarkan pada pengukuran triangulasi yang bisa mendapatkan hasil jarak yang akurat. Sistem pada penelitian ini dapat mewujudkan pengukuran 360<sup>0</sup> dalam bentuk 2 dimensi yang memiliki akurasi yang baik. Pada penelitian ini menggunakan LIDAR dari produsen SLAMTEC dengan tipe RPLIDAR A1. RPLIDAR A1 merupakan lidar dengan penggerak motor, sehingga dapat berputar dan melakukan pemindaian 360<sup>0</sup> secara 2 dimensi. RPLIDAR memiliki tegangan kerja 5V dengan jarak jangkauan dari 0.15 meter sampai 6 meter dengan resolusi jarak 0.5 mm dan komunikasi data secara *serial port*/USB.

## **2.6. UVTRON *Flame Detector***

UVTRON *flame detector* adalah atau sensor yang digunakan untuk mendeteksi api yang memancarkan sinar ultraviolet [9]. UVTRON mendeteksi ada atau tidak adanya api menggunakan *photoelectric effect of metal* dan *gas multiplication effect*, mempunyai sensitifitas spectral 185 nm sampai 260 nm, dan sepenuhnya tidak peka terhadap cahaya yang tampak. Tidak seperti pendeteksi semikonduktor, UVTRON tidak memerlukan *optical visible-cut filters*, menjadi UVTRON mudah untuk digunakan. Meskipun ukurannya kecil, UVTRON memiliki lebar sudut yang sensitif, andal dan cepat mendeteksi pancaran radiasi ultraviolet yang lemah dari api karena menggunakan plat katoda metal, dapat mendeteksi api lebih dari jarak 5 meter. Respon spektral UVTRON pada sumber cahaya dapat dilihat pada Gambar 2.4. UVTRON memiliki daerah sensitifitas pembacaan yang berbeda ketika UVTRON pada posisi vertikal maupun pada posisi horizontal. Sensitifitas pembacaan UVTRON dapat dilihat pada Gambar 2.5.

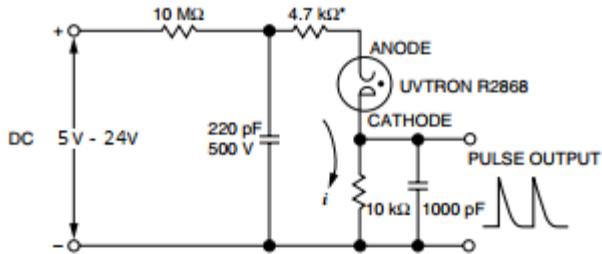


**Gambar 2.4** Respon spektral UVTRON pada sumber cahaya [10].



**Gambar 2.5** Sensitifitas pembacaan UVTRON [10].

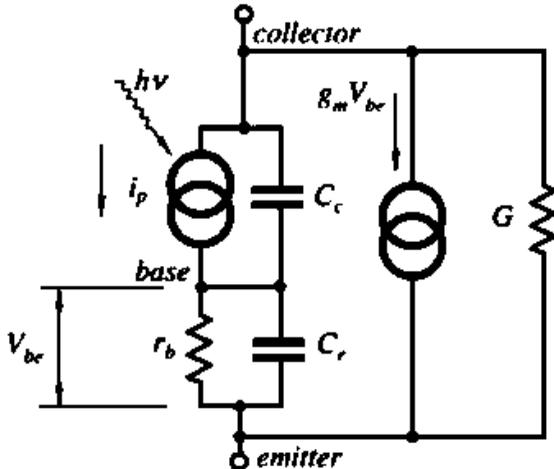
UVTRON tidak bisa langsung digunakan begitu saja, karena dibutuhkan rangkaian *driver* agar UVTRON bisa digunakan sebagai *flame detector*. Rangkaian *driver* UVTRON dapat dilihat pada gambar 2.6. Hamamatsu juga menyediakan *driving circuit* seri C10807, untuk mengoperasikan UVTRON. Karena suplai tegangan tinggi dan *signal processor* dipasang di sirkuit *board* yang sama, C10807 bisa beroperasi sebagai sensor api dengan sensitifitas tinggi dengan dikoneksikan dengan sebuah UVTRON dan disuplai tegangan DC (5v sampai 24v).



Gambar 2.6 Rangkaian *driver* UVTRON [10].

## 2.7. Phototransistor

*Phototransistor* adalah transistor yang dapat mengubah energi cahaya menjadi energi listrik, yang kaki basisnya terbuka dan terbuat dari komponen *photoconductive* sehingga fungsi kaki basisnya dapat diatur berdasarkan besarnya intensitas cahaya yang diterima pada bagian *photoconductive* tersebut. Berikut adalah rangkaian ekuivalensi *phototransistor* dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Rangkaian ekuivalensi *Phototransistor* [11].

Cara kerja phototransistor hampir sama dengan transistor pada umumnya, dimana arus pada basis mengatur arus yang mengalir dari kolektor ke emitter. Namun khusus untuk phototransistor, arus basis

dikendalikan oleh jumlah intensitas cahaya yang diterima oleh phototransistor. Oleh karena itu phototransistor memiliki dua kaki yaitu kolektor dan emitor sedangkan basisnya berbentuk lensa yang berfungsi sebagai sensor pendeteksi cahaya. Pada prinsipnya semakin tinggi basis menerima intensitas cahaya maka arus yang mengalir dari kolektor ke emitor juga semakin besar. Perbedaan *phototransistor* dengan *photodiode* terletak pada penguatan arus (beta dc) [11]. Jika keduanya diberikan intensitas cahaya dengan jumlah yang sama, maka *phototransistor* akan menghasilkan arus (beta dc) lebih besar daripada *photodiode*. Penambahan sensitifitas dari *phototransistor* merupakan keuntungan yang besar terhadap *photodiode*. *Phototransistor* lebih sensitif daripada *photodiode*, tetapi *phototransistor* tidak dapat bekerja secara on dan off dengan cepat seperti *photodiode* karena frekuensi kerja *photodiode* lebih tinggi dibandingkan dengan *phototransistor*.

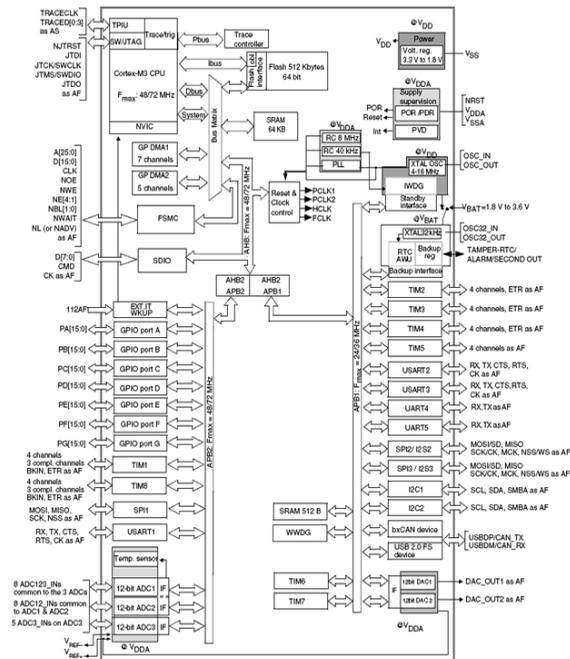
## 2.8. STM32F4 Discovery

STM32F4 Discovery adalah sebuah modul mikrokontroler 32 bit [12]. Blok diagram STM32F4 Discovery dapat dilihat pada Gambar 2.8, dengan beberapa fitur sebagai berikut :

- ARM cortex-M4 core dengan FPU dan *embedded Flash and SRAM*  
Prosesor RISC 32 bit ARM Cortex-M4 dengan FPU memiliki efisiensi kode yang luar biasa, memberikan kinerja tinggi yang diharapkan dari ARM *core* dalam ukuran memori biasanya dengan perangkat 8 dan 16 bit.
- *Embedded Flash Memory*  
STM32F4 memiliki memori *flash* 512 Kbytes atau 1 Mbytes tersedia untuk menyimpan program dan data.
- *Cycling Redundancy Check*  
CRC digunakan untuk mendapatkan kode CRC dari 32 bit kata data dan polynomial generator tetap.
- *Embedded SRAM*  
Semua produk stm32f4 terdapat 192 Kbytes system SRAM termasuk 63 Kbytes CCM (*Core Coupled Memory*) dan 4 Kbytes SRAM cadangan area ini hanya dapat diakses dari CPU.
- Multi AHB bus *matrix*  
Digunakan untuk menghubungkan semua master (CPU, DMA, Ethernet, USB HS) dan *slave* (*Flash memory*, RAM, FSMC, AHB dan APB periperal).

- *DMA controller*  
Perangkat ini memiliki dua DMA, yaitu (DMA1 dan DMA2) dengan *stream* masing-masing. DMA dapat digunakan dengan priperal utama : SPI dan I2S, I2C, USART, TIMx, DAC, SDIO, DCM1 dan ADC.
- *Nested vectored interrupt controller (NVIC)*  
STM32F menanamkan pengontrol interferensi bertingkat *vector* mengelola 16 tingkat prioritas, dan menangani hingga 82 *channel* dan ditambah 16 interupsi *channel* cortex-M4 dengan FPU *core*.
- *External interrupt/event controller (EXTI)*  
Pengontrol *interrupt / event ekxternal* terdiri dari 23 garis *edge detector* yang digunakan untuk menghasilkan permintaan interupsi / *event*. Setiap baris dapat dikonfigurasi secara independen untuk memilih pemicu *event (rising edge, falling edge, both)*.
- *Timer and watchdogs*  
STM32F4 memiliki dua *advance control timer*, delapan *timer* umum, dua *basic timer* dan dua *watchdog timer*.  
*Advance control timers* (TIM1, TIM8). Dapat dilihat sebagai generator pwm tiga fasa multiplexing pada 6 saluran. Empat saluran independen bisa digunakan untuk input *capture*, output *compare*, pwm generation dan *one pulse mode output*.  
*General purpose timer*, ada sepuluh *general purpose timer* yang dapat disinkronkan pada STM32F4. *General purpose timer* yaitu TIM2, TIM3, TIM4, TIM5, TIM9, TIM10, TIM11, TIM12, TIM13 dan TIM14.  
*Basic timers* TIM6 dan TIM7, *timer* ini digunakan untuk pemicu DAC dan pembentukan gelombang. Dan juga bisa digunakan sebagai 16 bit *time base*.  
*Independent watchdog*, didasarkan pada 12 bit *downcounter* dan 8 bit *prescaler*, dan dapat digunakan untuk menagtur ulang perangkat ketika masalah terjadi atau sebagai *free running timer* untuk batas waktu aplikasi.  
*Window watchdog*, didasarkan pada *downcounter* 7 bit yang dapat diatur sebagai *free running*. Dapat untuk mengatur ulang perangkat ketika maslah terjadi dan memiliki kemampuan interupsi peringatan dini.

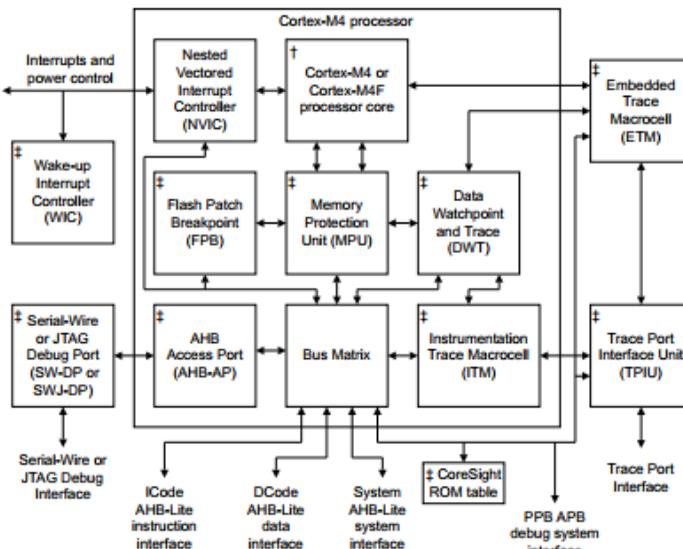
- *Universal synchronous / asynchronous receiver transmitters (USART)*  
 STM32F4 terdapat empat *universal synchronous* atau *asynchronous receiver transmitter* (USART1, USART2, USART3 dan USART6), dua *universal asynchronous receiver transmitter* (UART4 dan UART5).
- *General purpose input / output (GPIO)*  
 Setiap pin GPIO dapat dikonfigurasi oleh perangkat lunak sebagai output (*push pull, open drain*, dengan atau tanpa *pull up* atau *pull down*), sebagai input (*floating*, dengan atau tanpa *pull up* atau *pull down*). Sebagai fungsi *alternative peripheral*, digital atau analog. Penanganan cepat I/O maksimum 84 MHz
- *Analog to digital converters (ADC)*  
 Tiga ADC 12 bit tertanam dan setiap ADC memiliki 16 channels eksternal, melakukan konversi dalam mode *single shot* atau *scan*.



Gambar 2.8 Blok diagram STM32F4 [13].

## 2.9. Teensy 3.2

Teensy 3.2 merupakan mikrokontroler dengan *processor* MK20DX256VLH7 Cortex-M4 , *rated speed* 72 MHz dan *overclockable* 96 MHz, *flash memory* 256 kbytes, *bandwidth* 192 Mbytes/sec, *cache* 256 bytes, RAM 64 kbytes, EEPROM 2048 bytes, DMA 16 *channels*, Digital I/O 34 Pins, *Breadboard I/O* 24 Pins, *Voltage Output* 3.3V, *Current Output* 10mA, *Voltage Input* 5V Tolerant, *Interrupts* 34 Pins, *Analog Input* 21 Pins [14], *Converters* 2, *Usable Resolution* 13 bits, *Prog Gain Amp* 2, *Touch Sensing* 12 Pins, *Comparators* 3, *Analog Output* 1 Pins, *DAC Resolution* 12 bits, *Timer* 12 Pins, PWM 16 bit 3 Pins, Total PWM Output 12 Pins, PDB tipe 1, CMT tipe 1, LPTMR tipe 1, PIT/Interval 4, *Systick* 1, RTC 1, USB 1, Serial 3, *with FIFOs* 2, *High Res Baud* 3, SPI 1, *with FIFOs* 1, I2C 2, CAN Bus 1, *Digital Audio* 2. Blok diagram Teensy 3.2 dapat dilihat pada Gambar 2.8.

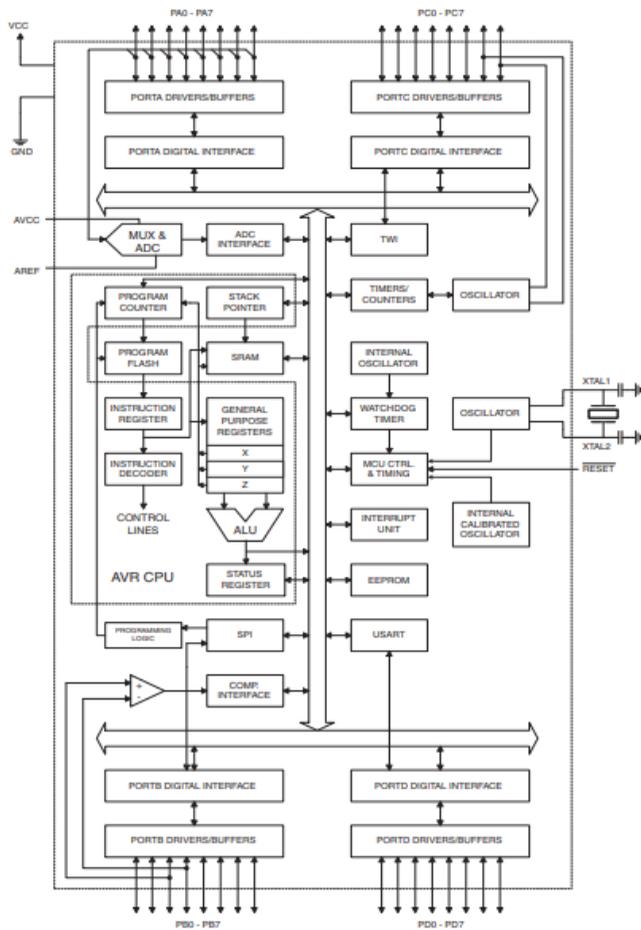


Gambar 2.9 Blok diagram Teensy 3.2 [15].

## 2.10. Atmega32

Atmega32 adalah mikrokontroler CMOS 8 bit berdaya rendah yang berdasar kepada arsitektur RISC AVR yang telah ditingkatkan [16]. Blok diagram Atmega32 dapat dilihat pada Gambar 2.10, dengan beberapa fitur sebagai berikut :

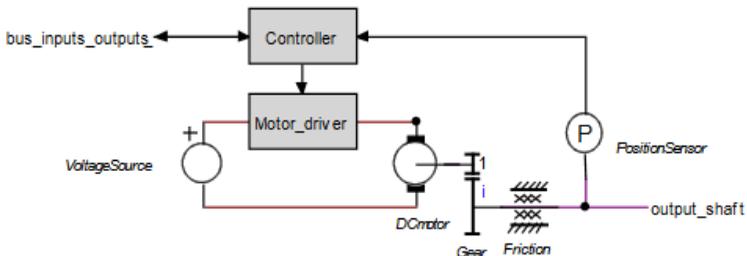
- *Advance RISC Architectur*  
Terdapat 131 intruksi powerful dan dengan maksimal clock 16MHz.
- *High Endurance Non-volatile Memory Segment*  
Memiliki 32Kbytes *flash program memory*, 1024Bytes EEPROM, 2Kbytes SRAM.
- *Peripheral Features*  
Terdapat dua timer/counter 8-bit dengan *prescaller* terpisah dan *compare modes*, satu timer/counter 16-bit dengan *prescaller* terpisah, *compare mode* dan *capture mode*. 8 channel 10 bit ADC, *programmable serial USART*.
- *Special Microcontroller Features*  
External dan internal sumber *interrupt*.
- I/O dan Paket  
Terdapat 32 I/O *lines* yang dapat deprogram dan memiliki 40 pin pada jenis PDIP.
- Tegangan Operasi  
Pada Atmega32 beroperasi pada tegangan 4.5v sampai 5.5v
- *Speed Grades*  
Pada Atmega32 memiliki *speed grades* dari 0Hz sampai 16MHz
- *Power Consumption*  
Aktif dengan arus 1.1 mA



**Gambar 2.10** Blok diagram Atmega32 [17].

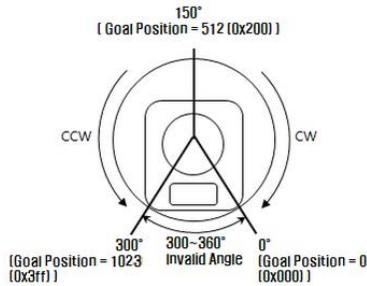
## 2.11. Dynamixel

Dynamixel adalah servo yang dapat mengendalikan posisi dan kecepatan dengan resolusi 1024 (10 bit), serta dapat membaca posisi dan kecepatannya. Dynamixel berisi motor yang dapat dikontrol dengan TTL atau RS-485 [18]. Cara kerja dynamixel yaitu, dynamixel dikomunikasikan dengan mikrokontroler, kemudian mikrokontroler memberikan satu paket data ke dynamixel. Paket data tersebut berisi alamat-alamat EEPROM maupun RAM dynamixel. Pada alamat EEPROM dan RAM dynamixel terdapat kontrol kecepatan, posisi, torsi dynamixel dan sebagainya. Paket data yang dikirimkan mikrokontroler ke alamat-alamat dynamixel berfungsi untuk mengontrol dynamixel. Blok diagram dynamixel dapat dilihat pada Gambar 2.11.



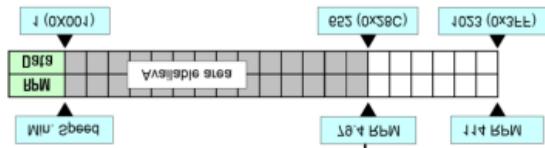
**Gambar 2.11** Blok diagram Dynamixel [19].

Rentang *goal position* dynamixel adalah  $0 \sim 300^\circ$ , dynamixel memiliki *invalid angle*, yaitu pada sudut  $300 \sim 360^\circ$ . Untuk menentukan *goal position* digunakan skala 0 sampai 1023 (10 bit), dengan  $0 (0x00) = 0^\circ$  dan  $1023 (0x3FF) = 360^\circ$ . Rentang *goal position* dynamixel dapat dilihat pada Gambar 2.12.



**Gambar 2.12** Rentang *goal position* Dynamixel [20].

Rentang kecepatan pada dynamixel adalah 0 sampai 1023 (0x3FF). Kecepatan pada servo dapat dikonversi menjadi besaran RPM dengan mengalikan data kecepatan dengan 0.111. Hubungan antara nilai data dan kecepatan dapat dilihat pada Gambar 2.13.



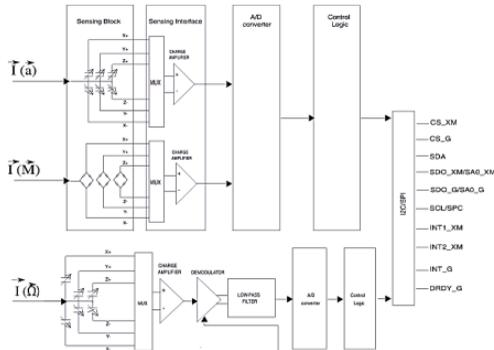
**Gambar 2.13** Hubungan antara nilai data dan kecepatan RPM [21].

Contohnya jika data kecepatan yang dikirim adalah 1023 maka kecepatan dalam RPM adalah  $1023 \times 0.111 = 113.6$ , tetapi kecepatan *real* pada servo ditentukan oleh banyak factor luar. Kecepatan maksimal dynamixel berbanding lurus dengan tegangan suplainya.

## 2.12. CMPS11

CMPS11 merupakan sensor yang bekerja dengan membaca magnet bumi sehingga dapat menentukan arah, biasa digunakan pada robot sebagai bantuan navigasi [22]. CMPS11 modul sensor kompas generasi ke tiga yang dikembangkan oleh perusahaan Devantech, sedangkan untuk IC pada modul sensor ini adalah LSM9DS0 dari perusahaan STMicroelectronic. Blok diagram CMPS11 dapat dilihat pada Gambar 2.14.

CMPS11 adalah modul sensor gabungan dari 3 axis magnetometer, 3 axis gyro dan 3 axis accelerometer. Sensor ini dilengkapi dengan kalman filter yang menggabungkan *gyro* dengan akselerometer untuk menghilangkan *error* yang disebabkan oleh kemiringan PCB.

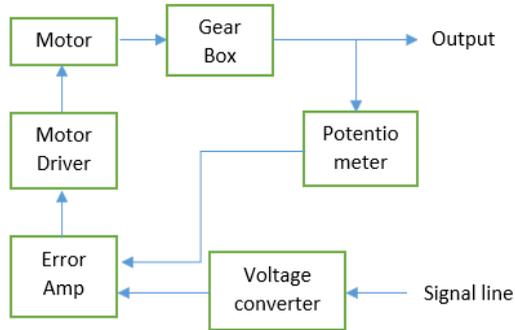


**Gambar 2.14** Blok diagram CMPS11 [23].

CMPS11 menghasilkan data output 16 bit ( $0 - 2599$ ) mewakili ( $0^\circ - 359.9^\circ$ ) dan data 8 bit ( $0 - 255$ ), data output dari tiga sensor tersebut mengukur x, y dan z medan magnet, roll dan pitch dalam bentuk data bearing, masing-masing sensor menghasilkan data mentah. CMPS11 membutuhkan catu daya  $3.6V - 5V$  dengan arus nominal  $25mA$  dan komunikasinya bisa dengan serial atau I2C.

### 2.13. Motor Servo

Motor servo adalah motor yang mampu bekerja dua arah (CW dan CCW) dimana arah dan sudut pergerakan rotornya dapat dikendalikan hanya dengan memberikan pengaturan *duty cycle* sinyal PWM pada bagian pin kontrolnya. Tipe dari motor servo menentukan kapasitas motor dalam menahan beban. Motor servo secara garis besar ada dua jenis, yaitu motor servo standar  $180^\circ$  dan motor servo *continuous*. Motor servo standar  $180^\circ$  ini hanya mampu bergerak dua arah (CW dan CCW) dengan defleksi masing-masing sudut mencapai  $90^\circ$  sehingga total defleksi sudut dari kanan – tengah – kiri adalah  $180^\circ$  [24]. Sedangkan motor servo *continuous* ini mampu bergerak dua arah (CW dan CCW) tanpa batasan defleksi sudut putar (dapat berputar secara kontinyu). Blok diagram servo dapat dilihat pada Gambar 2.15.



**Gambar 2.15** Blok diagram Servo.

Motor servo akan bekerja secara baik jika pada bagian pin kontrolnya diberikan sinyal PWM dengan frekuensi 50 Hz [25]. Dimana pada saat sinyal dengan frekuensi 50 Hz tersebut dicapai pada kondisi *duty cycle* 1.5 ms, maka rotor dari motor akan berhenti tepat di tengah-tengah / sudut  $0^{\circ}$ . Pada saat *duty cycle* dari sinyal yang diberikan kurang dari 1.5 ms, maka rotor akan berputar ke arah kiri dengan membentuk sudut yang besarnya linier terhadap besarnya *duty cycle*, dan akan bertahan di posisi tersebut. Dan sebaliknya, jika *duty cycle* dari sinyal yang diberikan lebih dari 1.5 ms, maka rotor akan berputar ke arah kanan dengan membentuk sudut yang linier terhadap besarnya *duty cycle*, dan bertahan di posisi tersebut.

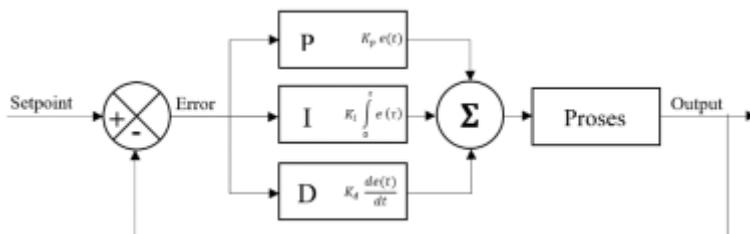
## 2.14. PID Controller

Kontroler PID (Proportional Integral Derivative controller) adalah kontroler mekanisme umpan balik yang biasa digunakan pada sistem kontrol industri. Kontrol PID terdiri dari proporsional, integral dan derivatif yang dijumlahkan [26]. Blok diagram kontrol PID dapat dilihat pada Gambar 2.16. Dengan mendefinisikan  $u(t)$  sebagai keluaran kontroler, bentuk akhir dari algoritma PID dapat dinyatakan dalam persamaan (1).

$$u(t) = P(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(T) dT + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.1)$$

Dengan  $K_p$  adalah *gain* proporsional,  $K_i$  adalah *gain* integral,  $K_d$  adalah *gain* derivatif. Nilai  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  sebagai parameter *tunning*. Sedangkan  $e$  adalah hasil dari pengurangan  $Y_{sp}$  (*setpoint*) dengan  $Y_m$  (variabel proses), dengan  $t$  sebagai waktu dan  $T$  adalah variabel integrasi, yaitu nilai yang diambil dari waktu 0 sampai  $t$ .

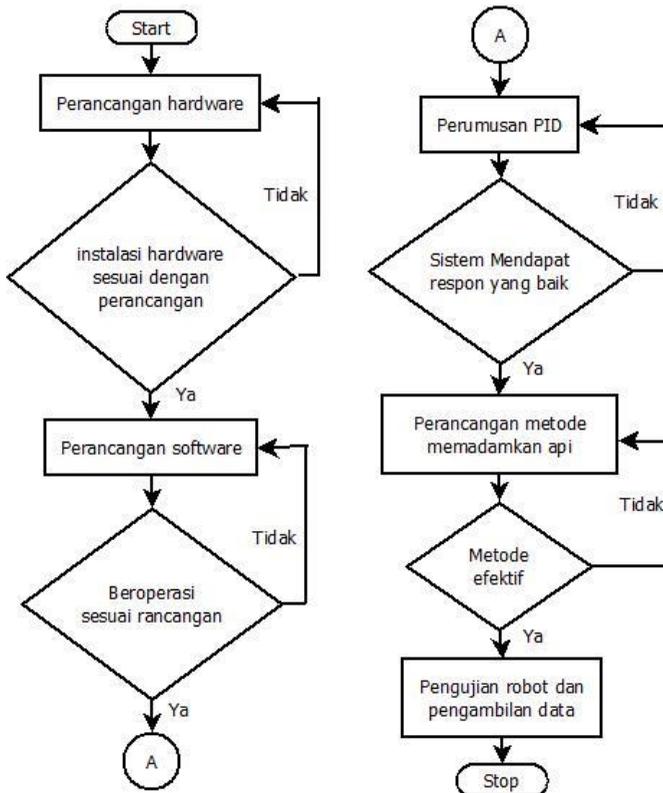
Pada kontrol PID  $K_p$  berfungsi untuk memperkuat sinyal error, sehingga akan mempercepat keluaran sistem mencapai titik referensi. Sedangkan  $K_i$  bertujuan untuk menghilangkan kesalahan keadaan offset yang biasa dihasilkan oleh control proporsional. Dan  $K_d$  disebut sebagai pengendali laju, karena output kontroler sebanding dengan laju perubahan sinyal error. Kontrol derivatif tidak akan pernah digunakan sendirian, karena kontroler ini hanya akan aktif pada periode peralihan. Pada periode peralihan, control derivative menyebabkan adanya redaman pada system sehingga lebih memperkecil lonjakan [27]. Seperti pada kontrol proporsional, kontrol derivatif juga tidak dapat menghilangkan offset.



**Gambar 2.16** Blok diagram PID [27].

### BAB III PERANCANGAN SISTEM

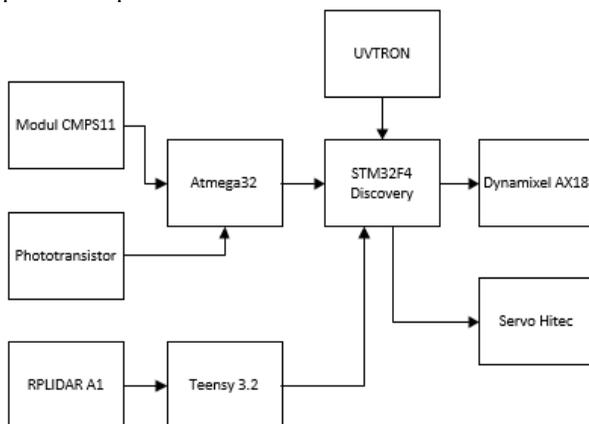
Pada bab ini dijelaskan perancangan sistem secara keseluruhan pada robot. Pada proses perancangan sistem terdiri dari beberapa bagian, yaitu perancangan *hardware* , perancangan *software*, perancangan sistem kontrol PID robot dan perancangan sistem memadamkan api. *Flowchat* perancangan sistem dapat dilihat pada Gambar 3.1.



**Gambar 3.1** *Flowchat* perancangan sistem.

Perancangan *hardware* robot (mekanik dan elektronik) dilakukan terlebih dahulu dikarenakan perhitungan-perhitungan pada perancangan *software* mengacu pada perancangan *hardware*. Perancangan mekanik

yaitu penempatan sensor pada *platform* robot Abinara-1. Dilakukan agar ketika perancangan *software* mendapatkan data atau parameter-parameter yang efektif. Perancangan *software* yaitu berupa pengaksesan dan pengolahan data sensor, kemudian dilakukan perumusan kontrol PID pada robot untuk navigasi robot. ketika robot sudah bernavigasi secara efektif maka dilakukan perancangan sistem mematikan api. Untuk blok diagram sistem navigasi robot *quadruped* pemadam api menggunakan LIDAR dapat dilihat pada Gambar 3.2.



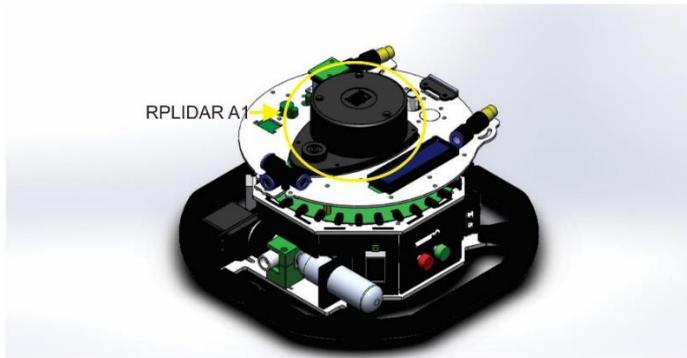
**Gambar 3.2** Diagram blok sistem navigasi robot *Quadruped* pemadam api menggunakan LIDAR.

### 3.1. Perancangan *Hardware*

Pada proses perancangan *hardware* ini terdiri dari desain *body* robot yaitu berupa penempatan sensor – sensor yang digunakan pada *platform* robot Abinara-1, desain menggunakan *software* CAD solidWorks. Dan desain sistem elektronik robot yaitu berupa pengkabelan sensor – sensor yang digunakan pada robot.

#### 3.1.1. Desain *Body* Robot

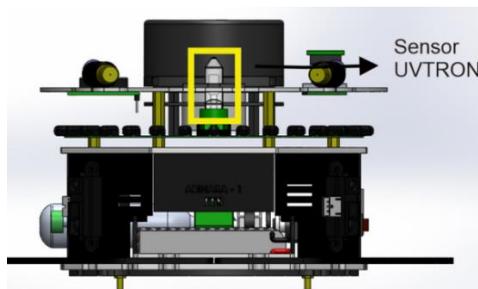
Bagian *body* robot merupakan tempat dari komponen elektronik seperti mikrokontroler, sensor dan juga baterai. Factor utama dalam mendesain *body* robot adalah mengkonsep peletakan posisi dari sensor terhadap titik pusat geometri *body* robot. Pada bagian ini menjelaskan tentang peletakan sensor – sensor yang digunakan pada robot. Desain peletakan LIDAR pada robot dapat dilihat pada Gambar 3.3.



**Gambar 3.3** Desain peletakan LIDAR pada robot.

LIDAR diletakkan searah dengan salah satu sumbu horizontal dari pusat geometri robot, tujuan peletakan searah dengan salah satu sumbu dikarenakan agar hasil pembacaan jarak dari LIDAR lebih efektif, sehingga menghasilkan *setpoint* yang sesuai untuk proses navigasi.

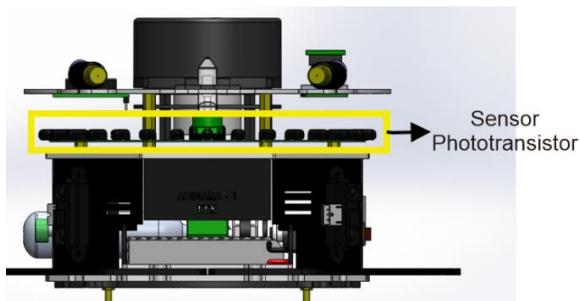
Desain peletakan UVTRON pada robot dapat dilihat pada Gambar 3.4. UVTRON diletakkan di depan muka robot dengan tinggi 20 cm dari permukaan lantai, dikarenakan tinggi lilin pada *rule* Kontes Robot Pemadam Api adalah minimal 18 cm dan maksimal 20 cm. Tujuan tersebut agar pendeteksian api lebih optimal, sehingga mempermudah robot dalam proses memadamkan api.



**Gambar 3.4** Desain peletakan UVTRON pada robot.

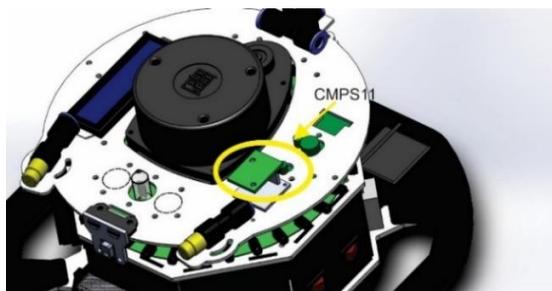
Desain peletakan board phototransistor pada robot dapat dilihat pada Gambar 3.5. Board phototransistor diletakkan dengan tinggi 18 cm dari permukaan lantai, dikarenakan tinggi lilin pada *rule* Kontes Robot Pemadam Api adalah minimal 18 cm dan maksimal 20 cm. Tujuan

tersebut agar pendeteksian api lebih optimal, sehingga mempermudah robot dalam proses memadamkan api.



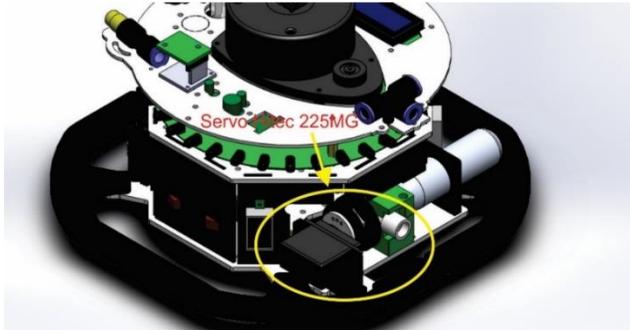
**Gambar 3.5** Desain peletakan *board Phototransistor* pada robot.

Sensor CMPS11 diletakkan searah dengan salah satu sumbu horizontal dari pusat geometri robot, tujuan peletakan searah dengan salah satu sumbu dikarenakan agar hasil arah posisi derajat yaw robot dapat searah mata angin, sehingga mampu menghasilkan posisi *setpoint* yang sesuai. Desain peletakan CMPS11 pada robot dapat dilihat pada Gamabr 3.6.



**Gambar 3.6** Desain peletakan CMPS11 pada robot.

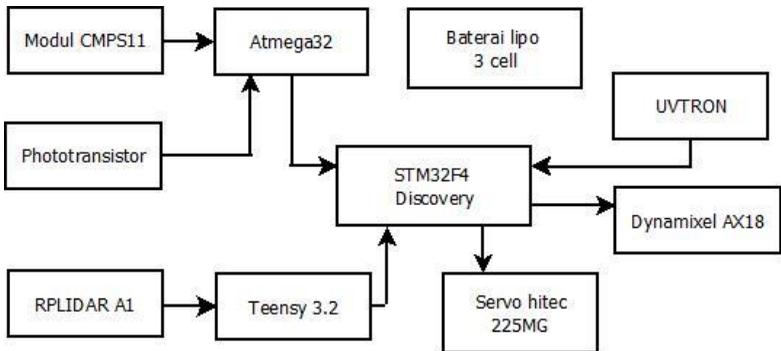
Desain peletakan servo hitec 225MG pada robot dapat dilihat pada Gambar 3.7. Digunakannya Servo Hitec karena ukurannya yang lebih kecil dari servo dynamixel ax-18 namun *powerfull* untuk memutar regulator CO<sub>2</sub> yang digunakan pada robot.



**Gambar 3.7** Desain peletakan Servo pada robot.

### 3.1.2. Desain Sistem Elektronik Robot

Pada bagian ini dijelaskan mengenai rangkaian dari sistem elektronik robot dan diagram pengkabelan sensor sensor yang digunakan pada robot. Tujuannya adalah untuk efisiensi suplai yang digunakan pada robot serta alur pengaksesan sensor yang digunakan pada robot. Blok diagram sistem elektronik robot dapat dilihat pada Gambar 3.8.

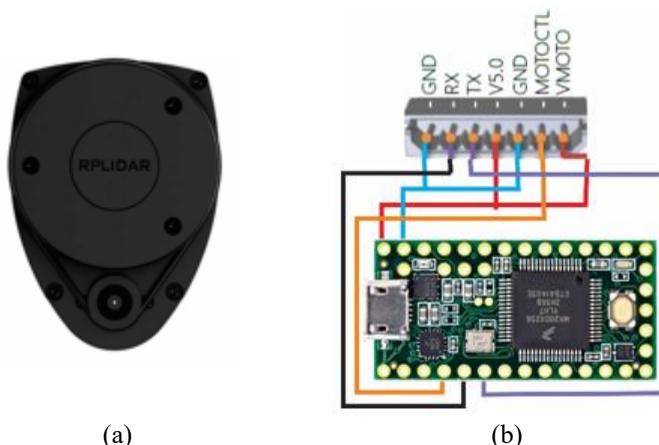


**Gambar 3.8** Blok diagram sistem elektronik robot.

Sistem elektronik robot ini terdiri dari komponen modul sensor, modul mikrokontroler dan aktuator servo. Pada tugas akhir ini modul sensor yang digunakan yaitu LIDAR, UVTRON, phototransistor dan CMPS11. Selanjutnya modul mikrokontroler yang digunakan pada tugas akhir ini yaitu mikrokontroler Teensy 3.2, Atmega32 dan STM32F4 Discovery. Mikrokontroler Teensy 3.2 berfungsi sebagai *slave* untuk

mengakses LIDAR, Atmega32 berfungsi sebagai *slave* untuk mengakses phototransistor dan CMPS11. Sedangkan STM32F4 Discovery berfungsi sebagai *master* untuk mengakses UVTRON, pusat pemrosesan data, mulai dari mengolah data yang dikirim dari *slave*, kemudian memrosesnya ke dalam kontrol PID, hingga mengirimnya ke servo dynamixel.

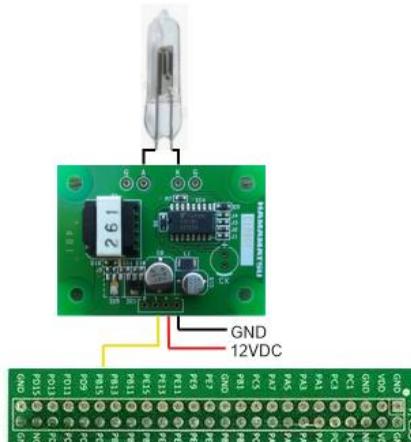
Pengkabelan LIDAR ini menggunakan komunikasi serial UART, yaitu dengan menghubungkan pin TX dan RX pada LIDAR dengan pin serial3 pada Teensy 3.2, dan pin PWM LIDAR dihubungkan ke pin 2 pada Teensy 3.2. untuk tegangan suplai, modul ini bekerja dengan tegangan 5V. diagram pengkabelan LIDAR dengan Teensy 3.2 dapat dilihat pada Gambar 3.9.



**Gambar 3.9** Perancangan elektronik (a) Sensor LIDAR dan (b) Diagram pengkabelan LIDAR dengan Teensy 3.2.

Pada gambar di atas, garis warna merah yaitu pin VMOTO dan pin V5 pada LIDAR tersambung ke pin 5V Teensy 3.2, garis warna oren yaitu pin MOTOCTL tersambung ke pin 2 Teensy 3.2, garis warna biru muda yaitu pin GND LIDAR tersambung ke pin GND Teensy 3.2, garis warna ungu yaitu pin TX LIDAR tersambung ke pin RX1 Teensy 3.2, garis warna hitam yaitu pin RX LIDAR tersambung ke pin TX1 Teensy 3.2.

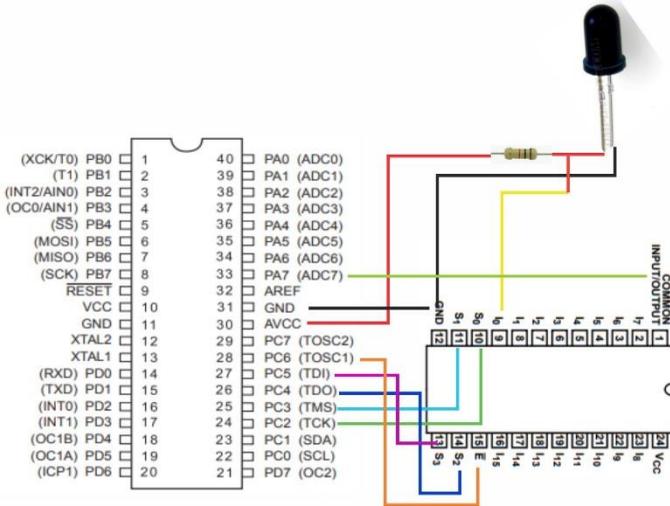
Kemudian untuk pengkabelan UVTRON menggunakan pin digital I/O, untuk menggunakan sensor UVTRON maka harus menggunakan UVTRON *driving circuit* C10807. Anoda dan katoda pada UVTRON dikoneksikan dengan pin anoda dan katoda pada UVTRON *driving circuit* C10807, kemudian menghubungkan pin 1 pada UVTRON *driving circuit* C10807 dengan pin PB15 pada STM32F4 Discovery, untuk tegangan suplai, modul ini bekerja dengan tegangan 5V sampai 24V. Diagram Pengkabelan UVTRON dengan STM32F4 Discovery dapat dilihat pada Gambar 3.10.



**Gambar 3.10** Diagram pengkabelan UVTRON dengan STM32F4 Discovery.

Pada gambar di atas, garis warna merah yaitu pin vcc driver UVTRON tersambung ke baterai lippo 3 cell, garis warna kuning yaitu pin 1 driver UVTRON ke pin PB15 STM32F4 Discovery, garis warna hitam yaitu pin GND tersambung ke pin GND baterai. Pada diver UVTRON terdapat pin 1 dan pin 2, perbedaan antara pin 1 dengan pin 2 adalah pin 1 yaitu aktif LOW sedangkan pin 2 aktif HIGH.

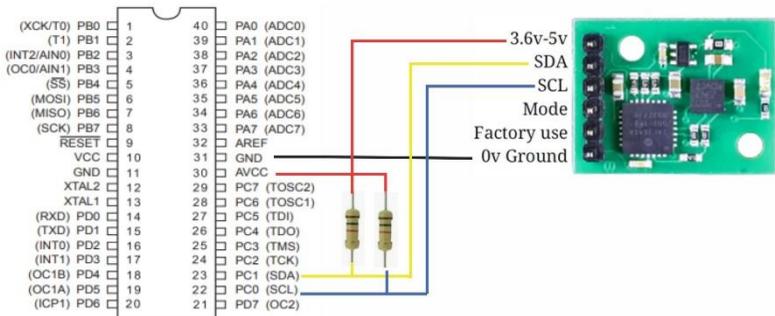
Kemudian untuk pengkabelan phototransistor ini menggunakan pin ADC, yaitu dengan menghubungkan output dari phototransistor dengan pin ADC pada Atmega32, untuk tegangan suplai phototransistor menggunakan tegangan 5V. Diagram Pengkabelan phototransistor dengan Atmega32 dapat dilihat pada Gambar 3.11.



**Gambar 3.11** Diagram pengkabelan *Phototransistor* dengan Atmega32.

Pada gambar diagram pengkabelan phototransistor dengan Atmega32, IC multiplexer 74HC4067 dihubungkan dengan Atmega32 kemudian phototransistor disambungkan dengan *channel* dari IC multiplexer. Garis berwarna hijau yaitu pin S0 multiplexer tersambung ke PC2 Atmega32, garis berwarna biru muda yaitu pin S1 multiplexer tersambung ke PC3 Atmega32. Garis berwarna biru yaitu pin S2 multiplexer tersambung ke PC4 Atmega32, garis berwarna ungu yaitu pin S4 multiplexer tersambung ke PC5 Atmega32. Garis berwarna oranye yaitu pin *enable* multiplexer tersambung ke PC6 Atmega32, pin *enable* multiplexer digunakan untuk mengaktifkan IC tersebut dimana IC tersebut aktif HIGH. Untuk output dari IC tersebut disambung ke pin PA7 (ADC7) Atmega32.

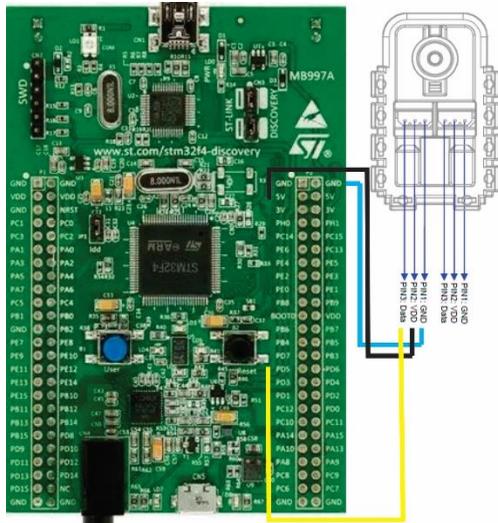
Kemudian untuk pengkabelan CMPS11 ini menggunakan komunikasi I2C, yaitu dengan menghubungkan pin SDA dan SCL pada CMPS11 dengan pin SDA dan SCL pada Atmega32, untuk tegangan suplai modul ini bekerja dengan tegangan 5V. Diagram pengkabelan CMPS11 dengan Atmega32 dapat dilihat pada Gambar 3.12.



**Gambar 3.12** Diagram pengkabelan CMPS11 dengan Atmega32.

Pada gambar diagram pengkabelan CMPS11 dengan Atmega32, garis warna kuning yaitu pin SDA CMPS11 tersambung ke pin PC1(SDA) Atmega32, garis warna biru yaitu pin SCL CMPS11 tersambung ke pin PC0(SCL) Atmega32, garis warna hitam yaitu pin GND CMPS11 tersambung ke pin GND Atmega32, dan garis warna merah yaitu pin VIN CMPS11 tersambung ke pin 5V Atmega32. Untuk menggunakan pin I2C pada Atmega32, pin tersebut harus di *pull up* dengan resistor, resistor yang digunakan pada *wiring* di atas adalah resistor 4700 Ohm.

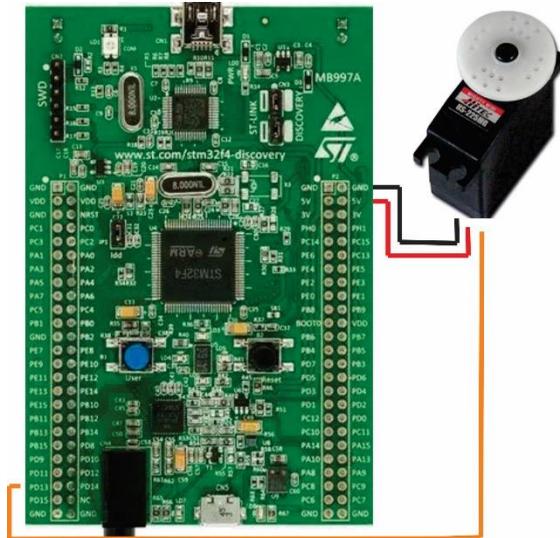
Kemudian untuk pengkabelan Dynamixel ini menggunakan komunikasi serial UART, yaitu dengan menghubungkan pin TX dan RX pada dynamixel dengan pin TX dan RX pada STM32F4 Discovery, untuk tegangan suplai dynamixel ini bekerja dengan tegangan 5V. Diagram pengkabelan dynamixel dengan STM32F4 Discovery dapat dilihat pada Gambar 3.13.



**Gambar 3.13** Diagram pengkabelan Dynamixel dengan STM32F4 Discovery.

Pada gambar diagram pengkabelan Dynamixel dengan STM32F4 Discovery, garis warna biru yaitu pin GND Dynamixel tersambung ke pin GND STM32F4 Discovery, garis warna hitam yaitu pin VCC Dynamixel tersambung ke pin 5V STM32F4 Discovery, dan garis warna kuning yaitu pin data Dynamixel tersambung ke pin PD5 (TX USART2) STM32F4 Discovery.

Untuk pengkabelan servo hitec 225MG ini menggunakan pin timer, yaitu dengan menghubungkan pin timer4 channel 2 yang terletak di pin D13 pada STM32F4 Discovery dengan pin signal pada servo, untuk tegangan suplai, modul ini bekerja dengan tegangan 5V. Diagram pengkabelan servo dengan STM32F4 Discovery dapat dilihat pada Gambar 3.14.



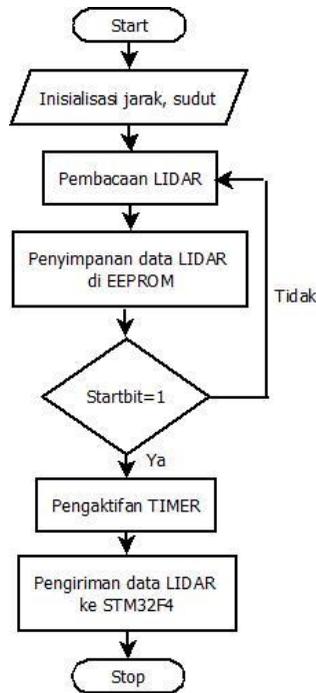
**Gambar 3.14** Diagram pengkabelan Servo dengan STM32F4 Discovery.

Pada gambar diagram pengkabelan servo dengan STM32F4 Discovery, garis warna hitam yaitu pin GND servo tersambung ke pin GND STM32F4 Discovery, garis warna merah yaitu pin VCC servo tersambung ke pin 5V STM32F4 Discovery, dan garis warna oranye yaitu pin data servo tersambung ke pin D13 (TIM4 Channel2) STM32F4 Discovery.

### 3.2. Perancangan *Software*

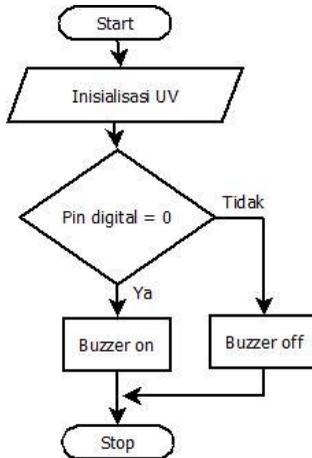
Perancangan *software* terdiri pengaksesan modul elektronik yang digunakan pada robot, proses kalibrasi di beberapa sensor yang perlu dikalibrasi dan *flowchat* yang berfungsi untuk menggambarkan rangkaian proses atau prosedur sehingga mudah dilihat berdasarkan urutan langkah dari suatu proses.

Pada pengaksesan LIDAR dilakukan pada mikrokontroler Teensy 3.2 dengan menggunakan komunikasi serial3, menggunakan *library* “RPLidar.h” dengan *baudrate* 1 Mbps dan level tegangan 5V. *Flowchart* Pengaksesan LIDAR dapat dilihat pada Gambar 3.15.



**Gambar 3.15** Flowchart pengaksesan LIDAR.

Kemudian untuk Pengaksesan UVTRON dilakukan pada mikrokontroler STM32F4 Discovery dengan menggunakan pin digital I/O. Flowchart pengaksesan UVTRON dapat dilihat pada Gambar 3.16. data output dari UVTRON bisa *high* maupun *low* tergantung pin output pada *driver* UVTRON yang digunakan. Dilihat pada Gambar 3.10 terdapat pin 1 dan 2 pada *driver* UVTRON, jika menggunakan pin 1 maka aktif *low* sedangkan pin 2 aktif *high*.

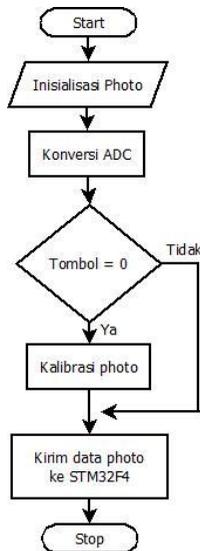


**Gambar 3.16** Flowchart pengaksesan UVTRON.

Pengaksesan *phototransistor* menggunakan pin ADC (*Analog Digital Converter*) Atmega32. Perhitungan ADC dapat dinyatakan dalam persamaan (3.1). Dan *Flowchart* pengaksesan *phototransistor* dapat dilihat pada Gambar 3.17.

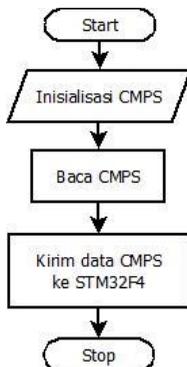
$$ADC = \frac{V_{in} \cdot \text{Resolusi ADC}}{V_{ref}} \quad (3.1)$$

$V_{in}$  merupakan tegangan analog dari output *phototransistor*, resolusi ADC menyatakan data digital maksimal yang dinyatakan dalam  $2^n$  dimana  $n$  merupakan lebar data digital dalam satuan bit. Sedangkan  $V_{ref}$  merupakan tegangan referensi yang menyatakan tegangan maksimal yang dapat dikonversi.



**Gambar 3.17** *Flowchart* pengaksesan *Phototransistor*.

Pengaksesan data CMPS11 dilakukan pada mikrokontroler Atmega32 dengan menggunakan komunikasi I2C dengan beberapa fungsi yang telah tersedia seperti `i2c_start`, `i2c_write`, `i2c_read` dan `i2c_stop`. *Flowchart* pengaksesan CMPS11 dapat dilihat pada Gambar 3.18.



**Gambar 3.18** *Flowchart* pengaksesan CMPS11.

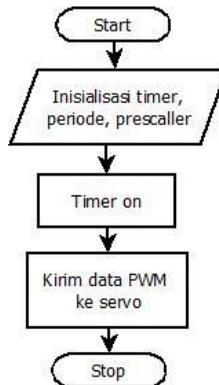
Pengaksesan Servo Hitec 225MG pada STM32F4 Discovery dengan menggunakan timer4 channel2. Untuk menggunakan PWM (*Pulse Width Modulation*) pada STM32F4 kita harus menginisialisasi timer untuk frekuensi PWM, menetapkan nilai prescaler dan periode untuk frekuensi PWM tersebut. Perhitungan PWM dapat dinyatakan dalam persamaan (3.2), (3.3) dan (3.4).

$$Timer\ tick\ frequency = \frac{timer\ default\ frequency}{(prescaler\ set+1)} \quad (3.2)$$

$$PWM\ frequency = \frac{timer\ tick\ frequency}{(timer\ periode+1)} \quad (3.3)$$

$$pulse\ length = \frac{((timer\ periode+1)*Duty\ cycle)}{100-1} \quad (3.4)$$

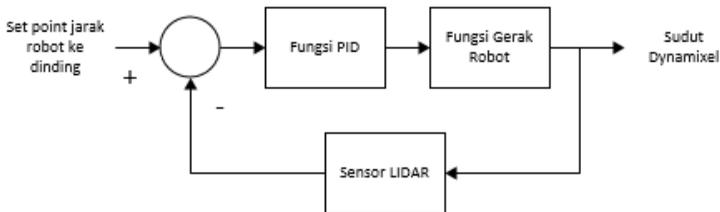
Pada STM32F4 Discovery, untuk *timer default frequency* mengikuti dari timer berapa yang akan digunakan dan mengacu ke *datasheet* STM32F4. Pada pengaksesan servo ini menggunakan timer4, dan timer4 memiliki *timer default frequency* yaitu 84MHz. untuk *timer periode* menggunakan 20000, karena servo akan bekerja secara baik jika diberi sinyal PWM dengan frekuensi 50Hz dan satuan *timer periode* di STM32F4 adalah *microsecond*. Untuk *Flowchart* pengaksesan servo dapat dilihat pada Gambar 3.19.



**Gambar 3.19** *Flowchart* pengaksesan Servo.

### 3.3. Perancangan Sistem Kontrol Pada Robot

Dalam pengaplikasian LIDAR pada sistem navigasi robot *quadruped* diperlukan suatu sistem kontrol yang diterapkan pada robot agar robot dapat bernavigasi sesuai dengan keinginan. Dalam tugas akhir ini digunakan sistem kontrol PID untuk dapat mengaplikasikan LIDAR pada sistem navigasi robot *quadruped* tersebut. Tujuan penggunaan LIDAR dalam sistem navigasi robot adalah untuk menutup titik buta robot dalam pembacaan jarak di sekitar robot, dikarenakan pada umumnya sistem navigasi robot menggunakan sensor ultrasonik dan sensor *infrared sharp* yang kedua sensor tersebut masih memiliki kekurangan dalam daerah pembacaan sensor. Pada tugas akhir ini kontrol PID digunakan untuk mendapatkan sudut belok robot, nilai  $k_p$ ,  $k_i$  dan  $k_d$  didapatkan melalui metode *manual tuning* dan *trial error*. Blok diagram kontrol PID dapat dilihat pada Gambar 3.20.



**Gambar 3.20** Blok diagram kontrol PID.

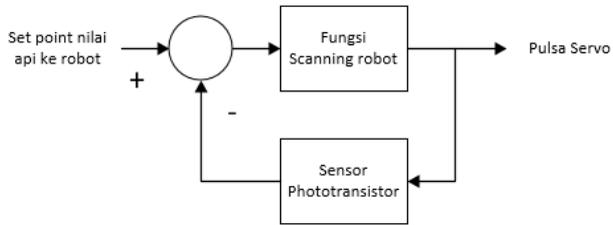
Untuk mempermudah dalam perancangan PID pada sistem navigasi robot, *flowchart* dari perancangan PID dapat dilihat pada Gambar 3.21. Dalam menentukan nilai  $k_p$ ,  $k_i$  dan  $k_d$  dalam kontrol PID dilakukan dengan menggunakan metode *manual tuning*. Inti dari metode tersebut adalah untuk mendapatkan kombinasi  $k_p$ ,  $k_i$  dan  $k_d$  tercepat menuju ke keadaan *steady state*.



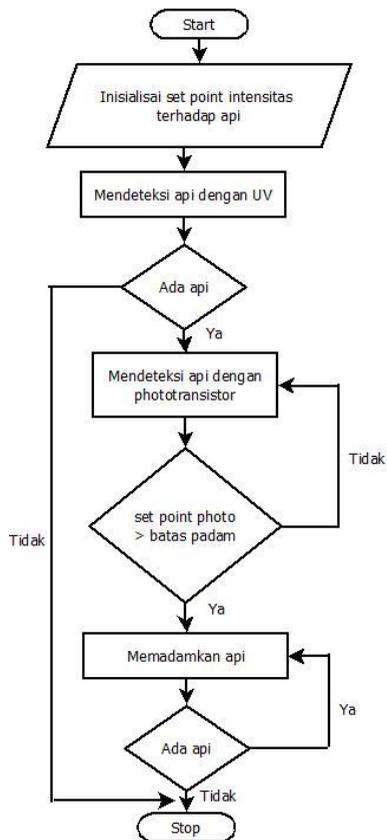
**Gambar 3.21** Flowchart perancangan PID.

### 3.4. Perancangan Sistem Memadamkan Api

Pada tahap ini dilakukan perancangan sistem memadamkan api pada robot. Robot memadamkan api menggunakan gas CO<sub>2</sub>, untuk mendeteksi ada tidaknya api dengan menggunakan sensor UVTRON. Setelah api terdeteksi maka robot akan menghampiri titik api. Robot akan memadamkan api ketika nilai *phototransistor* mencapai batas yang ditentukan. Blok diagram sistem memadamkan api dapat dilihat pada Gambar 3.22. Untuk mempermudah dalam perancangan sistem memadamkan api dalam Bahasa C dibutuhkan *flowchart*. *Flowchart* perancangan sistem memadamkan api dapat dilihat pada Gambar 3.23.



**Gambar 3.22** Blok diagram sistem memadamkan api.



**Gambar 3.23** Flowchart perancangan sistem memadamkan api.

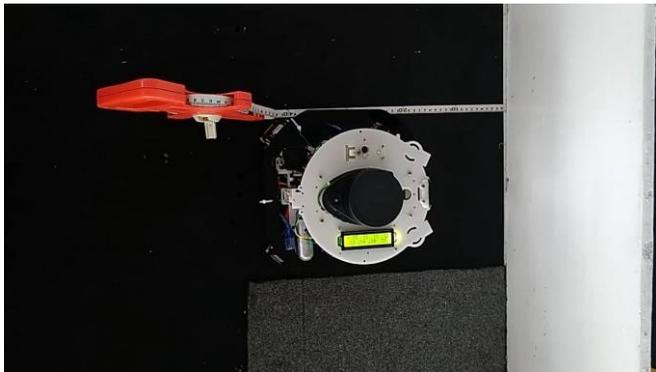
## **BAB IV**

### **PENGUJIAN DAN ANALISA**

Pada bab ini akan dibahas mengenai pengujian dari sistem yang telah dirancang pada bab sebelumnya. Bab ini bertujuan untuk mendapatkan data yang kemudian dilakukan analisa pada masing-masing pengujian. Pengujian dilakukan dengan tetap mengikuti batasan-batasan masalah yang telah dirumuskan pada tugas akhir ini.

#### **4.1. Pengujian Sensor LIDAR**

Pengujian sensor LIDAR dilakukan untuk mengetahui tingkat ketelitian pembacaan sensor LIDAR dengan membandingkan nilai pembacaan LIDAR dengan nilai sebenarnya. Karena LIDAR yang digunakan adalah LIDAR jenis *indoor* maka pengujian dilakukan dalam ruangan tertutup dengan pencahayaan dari dalam dan tanpa ada interferensi cahaya dari luar ruangan. Sensor diletakkan pada bagian atas robot dan akan mengukur jarak dari robot hingga ke dinding lapangan yang digunakan pada Kontes Robot Pemadam Api dengan intensitas pencahayaan yang terukur adalah 46 lux. Pengujian sensor LIDAR dapat dilihat pada Gambar 4.1. Dan hasil perbandingan pengujian sensor LIDAR dengan jarak yang sebenarnya dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.2.



**Gambar 4.1** Pengujian sensor LIDAR.

**Tabel 4.1** Perbandingan pengujian sensor LIDAR dengan jarak sebenarnya.

Pembacaan LIDAR (cm)	Jarak Sebenarnya (cm)	Error (cm)	Error (%)
14	11	3	21.4
15	12	3	20
20	17	3	15
30	27	3	10
40	37	3	7.5
50	47	3	6
60	57	3	5
70	66	4	5.7
80	75	5	6.2
90	85	5	5.5
100	95	5	5
129	124	5	3.8
230	224	6	2.6



**Gambar 4.2** Grafik perbandingan pembacaan LIDAR dengan jarak terukur.

Dari Tabel 4.1 didapatkan bahwa rata-rata *error* perbandingan pembacaan LIDAR dengan jarak yang sebenarnya adalah 3.9cm dan 8.7%. LIDAR yang digunakan memiliki nilai pembacaan minimal yaitu 14 cm dengan nilai maksimal yang sudah dibatasi yaitu 254 cm.

## 4.2. Pengujian Sensor UVTRON

Pengujian sensor UVTRON dilakukan untuk mengetahui sensitifitas pembacaan UVTRON terhadap api lilin. Sensor diletakkan pada bagian depan robot, pengujian dilakukan pada siang hari dan malam hari kemudian jarak antara robot terhadap api lilin akan divariasikan sampai UVTRON tidak dapat mendeteksi api lilin dengan intensitas pencahayaan yang terukur. Pengujian sensor UVTRON dapat dilihat pada Gambar 4.3.



**Gambar 4.3** Pengujian sensor UVTRON.

Pencahayaan pengujian sensitifitas sensor UVTRON pada malam hari terukur 21 lux sedangkan pada siang hari terukur 43 lux. Hasil pengujian sensitifitas UVTRON pada malam hari dapat dilihat pada Tabel 4.2. sedangkan hasil pengujian sensitifitas UVTRON pada siang hari dapat dilihat pada Tabel 4.3.

**Tabel 4.2** Pengujian sensitifitas UVTRON pada malam hari.

Jarak terhadap api lilin (cm)	Deteksi api
10	Ya
20	Ya
30	Ya
40	Ya
50	Ya
60	Ya
70	Ya
80	Ya
90	Ya
100	Ya
500	Ya
600	Tidak

**Tabel 4.3** Pengujian sensitifitas UVTRON pada siang hari.

Jarak terhadap api lilin (cm)	Deteksi api
10	Ya
20	Ya
30	Ya
40	Ya
50	Ya
60	Ya
70	Ya
80	Ya
90	Ya
100	Ya
200	Tidak
600	Tidak

Dari Tabel 4.2 dan Tabel 4.3 didapatkan bahwa UVTRON memiliki sensitifitas yang lebih tinggi pada malam hari dibanding pada siang hari, karena pada malam hari UVTRON dapat mendeteksi adanya api lilin sampai <600 cm, sedangkan pada siang hari UVTRON dapat mendeteksi adanya api lilin sampai <200cm.

### 4.3. Pengujian Sensor *Phototransistor*

Pengujian sensor *phototransistor* dilakukan untuk mengetahui sensitifitas pembacaan *phototransistor* terhadap api lilin. Sensor diletakkan setinggi 18 cm dari permukaan lantai pada robot, pengujian dilakukan pada siang hari dan malam hari kemudian jarak antara robot terhadap api lilin akan divariasikan dengan intensitas pencahayaan yang terukur dan output *phototransistor* diukur dengan multimeter. Pengujian sensor *phototransistor* dapat dilihat pada Gambar 4.4.

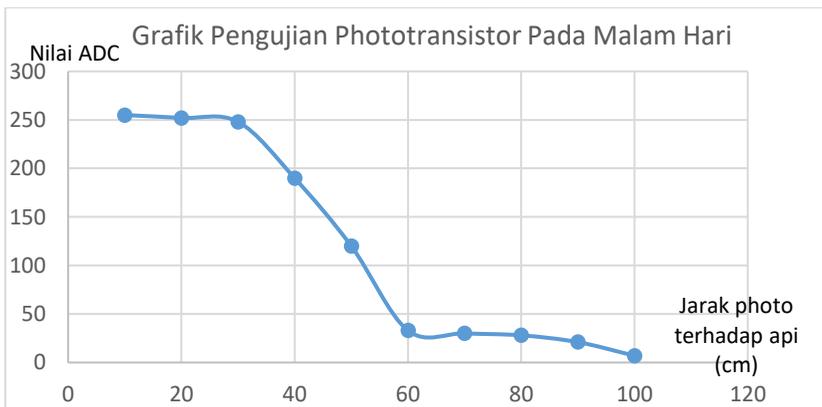


**Gambar 4.4** Pengujian sensor *Phototransistor*.

Pencahayaan pengujian sensitifitas sensor *phototransistor* pada malam hari terukur 21 lux sedangkan pada siang hari terukur 112 lux. Hasil pengujian sensitifitas *phototransistor* pada malam hari dapat dilihat pada Tabel 4.4 dan Gambar 4.5. Sedangkan hasil pengujian sensitifitas *phototransistor* pada siang hari dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan Gambar 4.6.

**Tabel 4.4** Pengujian sensitifitas *phototransistor* pada malam hari dengan intensitas terukur 21 lux.

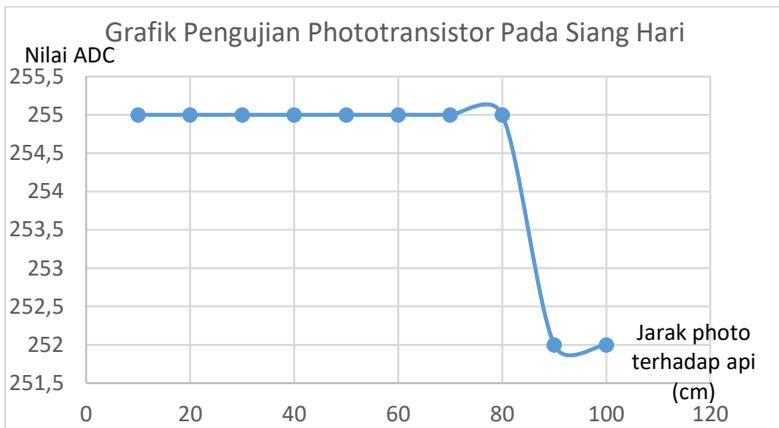
Jarak terhadap api (cm)	Pembacaan <i>phototransistor</i> (8 bit)	Tegangan terukur (volt)
10	255	0.32
20	252	0.34
30	248	0.4
40	190	1.5
50	120	2.2
60	33	3.7
70	30	3.9
80	28	4.6
90	21	4.3
100	7	4.1



**Gambar 4.5** Grafik pengujian *phototransistor* pada malam hari.

**Tabel 4.5** Pengujian sensitifitas *Phototransistor* pada siang hari dengan intensitas terukur 112 lux.

Jarak terhadap api (cm)	Pembacaan <i>phototransistor</i> (8 bit)	Tegangan terukur (volt)
10	255	0.32
20	255	0.32
30	255	0.32
40	255	0.32
50	255	0.32
60	255	0.32
70	255	0.32
80	255	0.32
90	252	0.34
100	252	0.34



**Gambar 4.6** Grafik pengujian *phototransistor* pada siang hari.

Dari Tabel 4.4 dan Tabel 4.4 didapatkan bahwa *phototransistor* memiliki sensitifitas yang lebih tinggi pada malam hari dibanding pada siang hari, karena sensitifitas *phototransistor* dipengaruhi oleh intensitas cahaya dan bukan hanya cahaya dari api lilin tetapi cahaya disekelilingnya juga sangat mempengaruhi pembacaan *phototransistor*.

#### 4.4. Pengujian CMPS11

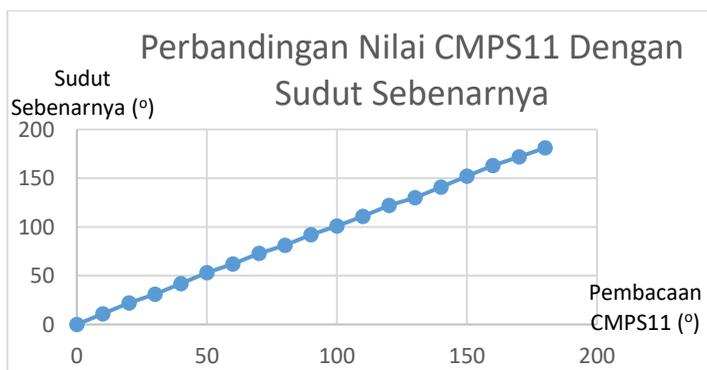
Pengujian CMPS11 dilakukan untuk memastikan jika sensor CMPS11 bekerja dengan baik, karena nilai *bearing* dari sensor CMPS11 digunakan untuk orientasi pada robot. Sensor diletakkan di atas pada bagian robot dan jauh dari komponen yang menghasilkan medan magnet karena sensor CMPS11 memiliki karakter mudah terganggu dengan medan magnet. Pengujian dilakukan dengan membandingkan pembacaan sensor CMPS11 dengan aplikasi kompas yang terdapat pada *handphone*. Jarak sudut yang akan diuji adalah dari  $0^\circ$  sampai  $180^\circ$  dengan selisih penambahan adalah  $10^\circ$ . Pengujian sensor CMPS11 dapat dilihat pada Gambar 4.5 dan hasil pengujian sensor CMPS11 dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan Gambar 4.6.



**Gambar 4.7** Pengujian sensor CMPS11.

**Tabel 4.6** Pengujian sensor CMPS11.

Sudut sebenarnya (derajat)	Sudut Terbaca (derajat)	Error (derajat)	Error (%)
0	0	0	0
10	11	1	9.09
20	22	2	9.09
30	31	1	3.2
40	42	2	4.7
50	53	3	5.6
60	62	2	3.2
70	73	3	4.1
80	81	1	1.2
90	92	2	2.1
100	101	1	0.9
110	111	1	0.9
120	122	2	1.6
130	130	0	0
140	141	1	0.7
150	152	2	1.3
160	163	3	1.84
170	172	2	1.1
180	181	1	0.5



**Gambar 4.8** Grafik perbandingan nilai CMPS11 dengan sudut sebenarnya.

Dari Tabel 4.6 didapatkan bahwa rata-rat *error* antara sudut sebenarnya dengan sudut yang terbaca oleh sensor CMPS11 adalah 1.6°

dan 2.8%. Sensor CPMS11 meskipun terdapat fitur kalman filter tetap harus dikalibrasi secara *software*, bertujuan untuk menghapus penguatan dan *offset* sensor baik magnetometer dan akselerometer untuk mendapatkan output sensor yang maksimal.

#### 4.5. Pengujian Servo

Pengujian servo dilakukan untuk mengetahui berapa nilai efektif pulsa yang dibutuhkan servo untuk memutar regulator CO<sub>2</sub>. pengujian dilakukan dengan menggunakan jarak konstan antara robot dengan api lilin yaitu sebesar 30cm, kemudian memvariasikan nilai pulsa servo yang digunakan untuk memutar regulator CO<sub>2</sub>. Pengujian servo dapat dilihat pada Gambar 4.6. Dan hasil pengujian servo dapat dilihat pada Tabel 4.7.



**Gambar 4.9** Pengujian Servo.

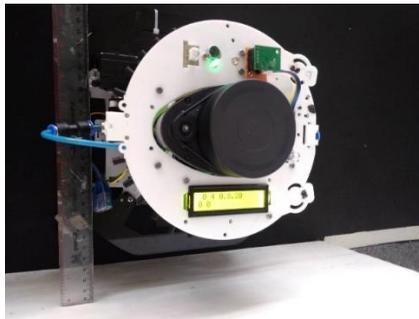
**Tabel 4.7** Pengujian Servo.

Pulsa servo (us)	Api padam
900	Tidak
1250	Tidak
1500	Ya
1750	Ya
2100	Ya

Dari Tabel 4.7 didapatkan bahwa nilai pulsa yang efektif untuk memutar regulator CO<sub>2</sub> untuk memadamkan api adalah mulai dari 1500 us sampai 2100 us. Nilai pulsa minimal yang digunakan adalah 1500 us, karena regulator CO<sub>2</sub> mulai terbuka efektif untuk menyempatkan CO<sub>2</sub> sehingga lilin api mati. Nilai pulsa maksimal 2100 us karena putaran servo sudah mencapai batas maksimalnya yaitu 180°.

#### 4.6. Pengujian Kontrol PID

Pengujian kontrol PID dilakukan untuk mengetahui apakah perancangan kontrol pada robot di bab sebelumnya bekerja dengan baik. Perancangan kontrol PID menggunakan metode *manual tuning* dan *trial error*. Dari metode tersebut didapatkan nilai  $k_p$  sebesar 2,  $k_i$  sebesar 0 dan  $k_d$  sebesar 0.1. Pengujian dilakukan dengan menggunakan  $k_p$ ,  $k_i$ ,  $k_d$  dan yang konstan dan *setpoint* sebesar 4cm, kemudian memvariasikan jarak antara robot dengan dinding karena robot menggunakan sistem telusur dinding. Pengujian kontrol PID dapat dilihat pada Gambar 4.7. Dan hasil pengujian kontrol PID dapat dilihat pada Tabel 4.8.



Gambar 4.10 Pengujian kontrol PID.

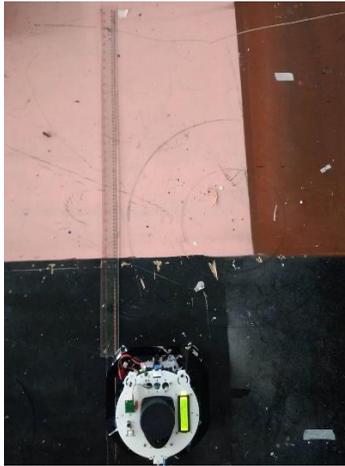
Tabel 4.8 Pengujian kontrol PID.

Jarak sebenarnya (cm)	Selisih jarak (cm)	Error (cm)	Output PID
4	0	4	0.8
5	-1	4	0.8
6	0	4	0.8
7	0	4	0.8
8	0	4	0.8
9	1	3	0.6
10	0	4	0.8

Dari Tabel 4.8 nilai selisih jarak didapatkan dari pengurangan antara pembacaan sensor LIDAR bagian serong depan dengan serong belakang. Didapatkan bahwa rata-rata *error* dari kontrol PID adalah 3.8cm, dengan rata-rata sudut belok yang dihasilkan dari perhitungan kontrol PID adalah 0.77.

#### 4.7. Pengujian Kecepatan Robot

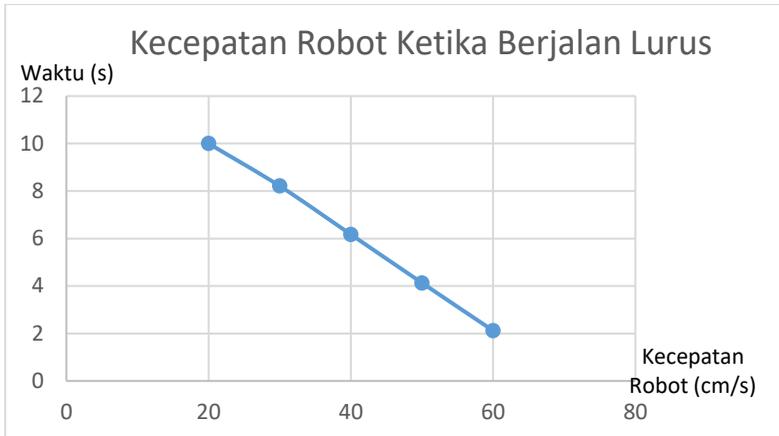
Pengujian kecepatan robot dilakukan untuk mendapatkan nilai kecepatan yang efektif pada robot ketika bernavigasi. Pengujian dilakukan dengan cara menguji kecepatan robot yang divariasikan ketika robot berjalan lurus dengan jarak 100cm dan menghitung kuantitas robot menabrak dinding. Pengujian kecepatan robot ketika berjalan lurus dapat dilihat pada Gambar 4.8. Dan hasil pengujian kecepatan robot ketika berjalan lurus dapat dilihat pada Tabel 4.9.



**Gambar 4.11** Pengujian kecepatan robot ketika berjalan lurus.

**Tabel 4.9** Pengujian Kecepatan Robot Ketika Berjalan Lurus.

Kecepatan robot (cm/s)	Waktu (s)	Kecepatan aktual (cm/s)
20	10	10
30	8.21	12.18
40	6.17	16.2
50	4.13	24.21



**Gambar 4.12** Grafik kecepatan robot ketika berjalan lurus.

Dari Tabel 4.9 didapatkan bahwa semakin tinggi nilai kecepatan robot maka semakin sedikit waktu yang dibutuhkan robot untuk berjalan lurus dalam jarak 100cm. kemudian untuk pengujian kuantitas robot menabrak dinding yaitu robot bernavigasi dari satu ruang ke ruang selanjutnya dengan kecepatan yang divariasikan. Pengujian kuantitas robot menabrak dinding dapat dilihat pada Gambar 4.9. Dan hasil pengujian kuantitas robot menabrak dinding dapat dilihat pada Tabel 4.10.

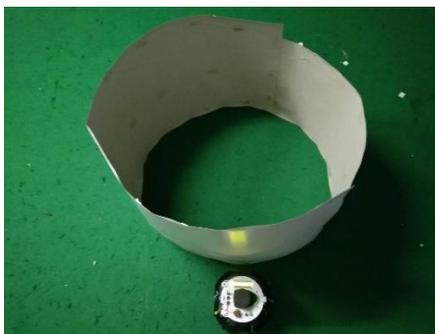


**Gambar 4.13** Pengujian kuantitas robot menabrak dinding.

**Tabel 4.10** Pengujian kuantitas robot menabrak dinding.

Kecepatan robot (cm/s)	Kuantitas tabrakan
20	1
30	10
40	20
50	30

Dari Tabel 4.10 didapatkan bahwa kecepatan yang efektif dengan kuantitas robot menabrak dinding yang paling sedikit adalah kecepatan sebesar 20cm/s. Karena semakin tinggi kecepatan robot maka semakin banyak kuantitas robot menabrak dinding. Semakin sering robot menabrak dinding maka semakin lama waktu yang dibutuhkan robot dalam bernavigasi. Kemudian untuk mengetahui respon robot ketika menghadapi rute yang berbeda yaitu robot bernavigasi pada rute lingkaran dengan keliling lingkaran sebesar 628cm. Pengujian robot pada rute lingkaran dapat dilihat pada Gambar 4.10 dan hasil pengujian robot pada rute lingkaran dapat dilihat pada Tabel 4.11.



**Gambar 4.14** Pengujian robot pada rute lingkaran.

**Tabel 4.11** Pengujian robot pada rute lingkaran

Kecepatan robot (cm/s)	Waktu (s)	Kecepatan aktual (cm/s)
20	54.63	11.49
30	45.54	13.79
40	31.95	19.65
50	37.99	16.53
60	36.55	17.18

Dari Tabel 4.11 pengujian robot pada rute lingkaran dengan kecepatan robot yang sudah ditentukan yaitu dari 20 cm/s sampai 60 cm/s, didapatkan waktu tercepat robot dalam satu putaran pada rute melingkar dengan keliling lingkaran 628 cm adalah 31.95 s dengan kecepatan robot 40 cm/s. Karena pada kecepatan robot tersebut robot mendapatkan respon yang sangat baik dalam bernavigasi pada rute lingkaran.

#### 4.8. Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian keseluruhan sistem dilakukan untuk mengetahui berapa lama waktu yang dibutuhkan robot dalam bernavigasi sampai memadamkan api dengan parameter-parameter yang sudah didapatkan dari pengujian-pengujian sebelumnya. Pengujian dilakukan dengan cara robot bernavigasi dari satu ruangan ke ruangan sebelahnya dengan jarak 250cm yang terdapat api lilin dengan kecepatan dari hasil pengujian kecepatan robot. Pengujian keseluruhan sistem dapat dilihat pada Gambar 4.10. Dan hasil pengujian keseluruhan sistem dapat dilihat pada Tabel 4.12.



**Gambar 4.15** Pengujian keseluruhan sistem.

**Tabel 4.12** Pengujian keseluruhan sistem.

Kecepatan Robot (cm/s)	Waktu (s)	Kuantitas Menabrak Dinding	Kecepatan Aktual (cm/s)
20	26.68	5	9.3
30	20.19	15	12.38
40	18.7	20	13.36
50	21.05	30	11.87

Dari Tabel 4.12 didapatkan bahwa robot dapat memadamkan api dengan kecepatan yang bervariasi, namun semakin tinggi kecepatan robot maka semakin sering robot menabrak dinding sehingga waktu yang dibutuhkan robot untuk memadamkan api jadi semakin lama. Kecepatan maksimal robot yang diuji coba adalah 50cm/s, karena berpengaruh ke kinerja servo dan servo jadi cepat panas. Rata-rata waktu yang dibutuhkan robot untuk memadamkan api adalah 21.65s, sedangkan rata-rata untuk kuantitas robot menabrak dinding dalam memadamkan api adalah 17.5 kali.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan pada pelaksanaan tugas akhir ini didapat beberapa kesimpulan, yaitu :

1. Rata-rata *error* pembacaan LIDAR dengan jarak sebenarnya adalah 3.9 cm dan 8.7%.
2. Sensor UVTRON memiliki sensitifitas yang tinggi ketika digunakan pada malam hari, dengan jarak maksimal pendeteksian <6 meter pada malam hari dan <2 meter pada siang hari.
3. Sensitifitas sensor *phototransistor* sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya disekitarnya.
4. Rata-rata *error* pembacaan CMPS11 dengan sudut sebenarnya adalah 1.6° dan 2.8%.
5. Output PID yang dihasilkan dari kontrol PID mendapatkan rata-rata 0.77. Kecepatan robot yang paling efektif adalah 20 cm/s.
6. Rata-rata waktu yang dibutuhkan robot dalam memadamkan api adalah 21.65 s.

#### **5.2. Saran**

Sebagai sarana pengembangan Sistem Navigasi Robot *Quadruped* Pemadam Api Menggunakan LIDAR ini, maka terdapat beberapa saran sebagai berikut :

1. Penggunaan LIDAR tipe *outdoor*; karena memiliki ketahanan yang tinggi dari intensitas cahaya di sekitarnya ketika dalam proses pembacaan.
2. Mekanik untuk penutup sensor UVTRON agar pembacaannya lebih fokus dan terlindungi dari pengaruh cahaya disekitarnya.
3. Penggunaan pelindung untuk sensor *phototransistor* dari intensitas cahaya disekitarnya.
4. Pengukuran sensor kompas dengan alat kalibrasi yang memiliki ketelitian dan rentang pembacaan yang baik.
5. Penggunaan *auto tuning* PID.
6. Penggunaan sistem kontrol untuk mengatur kecepatan robot dan menggunakan *platform* robot yang lebih ringan dan rigid.

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. C. Prayogo, A. Triwiyatno, and Sumardi, “*Quadruped Robot with Stabilization Algorithm on Uneven Floor using 6 DOF IMU based Inverse Kinematic,*” in *5th International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE)*, 2018, pp. 39–44.
- [2] C. Dehong, Z. Liangqi, S. Pengpeng , “*Design and implementation of LiDAR navigation system based on triangulation measurement,*” in *29th Chinese Control And Decision Conference (CCDC)*, 2017, pp. 6060–6063.
- [3] R. Joyal, M. S. Sheikh, V. K. Johaan, A. J. Georgy, “*Development and Implementation of Arduino Microcontroller Based Dual Mode Fire Extinguishing Robot,*” 2017.
- [4] L. Zhou, W. Liu, H. Qian, and Y. Xu, “*Gait Design and Comparison Study of a Quadruped Robot,*” 2017.
- [5] S. Kitano, S. Hirose, A. Horigome, and G. Endo, “*TITAN-XIII: sprawling-type quadruped robot with ability of fast and energy-efficient walking,*” *Tokyo Institute of Tehnology*, 2016.
- [6] M. Ikeda, K. Izumi, and K. Watanabe, “*Navigation strategy for a quadruped robot on soft flat ground,*” in *ICCAS 2010*, pp. 62–65.
- [7] F. Haizmann, D. Schlipf, S. Raach, A. Scholbrok, A. Wright., “*Optimization of a feed-forward controller using a CW-lidar system on the CART3,*” in *2015 American Control Conference (ACC)*, 2015, pp. 3715–3720.
- [8] SLAMTEC, “*LD108\_SLAMTEC\_rplidar\_datasheet\_AIM8,*” vol. v2.1, 2018.
- [9] A. Crompton, K. Gamage, S. Bell, A. P Wilson, A. Jenkins, and D. Trivedi, “*First Results of Using a UVTron Flame Sensor to Detect Alpha-Induced Air Fluorescence in the UVC Wavelength Range,*” *Sensors*, vol. 17, p. 2756, Nov. 2017.
- [10] HAMAMATSU, “*Flame Sensor UVTRON R2868,*” 2014.
- [11] G R Sinha, “*Optical Sensor: Photodiode, Phototransistor and Photo resistor,*” *Unpublished*, 2017.
- [12] A. Dwi Rizqi Aljabar, Rivai Muhammad, and S. Suwito, “*Rancang Bangun Robot Omni untuk Mencari Sumber Gas Menggunakan Kontrol Logika Fuzzy Berbasis Mikrokontroler ARM STM-32,*” *J. Tek. ITS*, vol. 7, Mar. 2018.

- [13] STMicroelectronics, “*User manual Discovery kit for STM32F407*,” 2016.
- [14] B. Aris Saputra, Rivai Muhammad, and Tasripan, “Rancang Bangun Sistem Pemisah Air – Minyak Berbasis Metode Adsorpsi Menggunakan Mikrokontroler Teensy,” Dec. 2018.
- [15] ARM, “*Cortex-M4 Technical Reference Manual*,” 2010.
- [16] W. Kunikowski, E. Czerwiński, P. Olejnik, and J. Awrejcewicz, “*An Overview of ATmega AVR Microcontrollers Used in Scientific Research and Industrial Applications*,” *PAR*, vol. 19, pp. 15–20, Mar. 2015.
- [17] ATMEL, “*8-bit ARM Microcontroller with 32KBytes In-System Programmable Flash ATmega32 ATmega32L*,” 2011.
- [18] M. Vacek, J. Zilkova, and M. Pastor, “*Regulation Of Dynamixel Actuators In Robot Manipulator Movement*,” *Acta Electrotech. Inform.*, vol. 14, pp. 32–35, Sep. 2014.
- [19] Xin Kang, Wenda Shen, Weihai Chen, and Jianhua Wang, “*The control of Dynamixel RX-28 based on VC++ for the locomotion of cockroach robot*,” in *4th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications*, 2009, pp. 495–499.
- [20] ROBOTIS, “*e-Manual AX-18F / AX-18A*,” vol. v1.29.00, 2010.
- [21] T. W. Wahyu, P. Djoko, B. Fajar, “Implementasi Inverse Kinematik Pada Pergerakan Robot Quadruped,” *ITS*, 2017.
- [22] M. Mukti, A. Meisar, H. Apriliandi, I. Kholis, I. Jp Ellika and A. Arifianti., “*MAKARA-01 Autonomous Robotic Boat 2012 Competition*,” 2012.
- [23] STMicroelectronics, “*LSM9DS0, iNEMO inertial module: 3D accelerometer, 3D gyroscope, 3D magnetometer*,” 2013.
- [24] S. Sendari, “*Integrasi Smartphone Dan Motor Servo Sebagai Prototype Home Security System*,” Aug. 2017.
- [25] N. Pinckney, “*Pulse-width modulation for microcontroller servo control*,” *Potentials IEEE*, vol. 25, pp. 27–29, Feb. 2006.
- [26] Kiam Heong Ang, G. Chong, and Yun Li, “*PID control system analysis, design, and technology*,” *IEEE Trans. Control Syst. Technol.*, vol. 13, no. 4, pp. 559–576, Jul. 2005.
- [27] P. Dwi Wijaya, Rivai Muhammad, and Tasripan, “Rancang Bangun Mesin Pemotong Styrofoam 3 Axis Menggunakan Hot Cutting Pen dengan Kontrol PID,” *J. Tek. ITS*, vol. 6, Jul. 2017.

## LAMPIRAN A

### *Program Pengaksesan LIDAR*

```
#include <TimerThree.h>
#include <EEPROM.h>
#include <RPLidar.h>
RPLidar lidar;
#define RPLIDAR_MOTOR 2
int cnt, cscan, cacah;
float distance, angle;
bool startBit;
byte quality;

int sudut[400];
int jarak[400], max_jrk = 254;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  Serial1.begin(1000000);
  lidar.begin(Serial3);
  Timer3.initialize(40000);
  pinMode(RPLIDAR_MOTOR, OUTPUT);
}
void loop()
{
  if (IS_OK(lidar.waitPoint())) {
    distance = lidar.getCurrentPoint().distance; //distance value in mm
    unit
    angle = lidar.getCurrentPoint().angle; //anglue value in degree
    startBit = lidar.getCurrentPoint().startBit; //whether this point is
    belong to a new scan
    quality = lidar.getCurrentPoint().quality; //quality of the current
    measurement
    if(startBit==1)
    {
      if(cscan<10)
      {
        cscan++;
        cacah=0;
      }
    }
  }
}
```

```

    }
    else
        Timer3.attachInterrupt(kirimdata);
        cscan++;
        cacah=0;
    }
    if(cscan>10 && startBit==0)
    {
        cacah++;
        sudut[cacah]=angle;
        jarak[cacah]=distance/10;
        if(jarak[cacah]>max_jrk)jarak[cacah]=max_jrk;
        if(jarak[cacah]==0)jarak[cacah]=max_jrk;
        EEPROM.write(cacah, jarak[cacah]);
    }
    Serial.println(cacah);
}
else
{
    analogWrite(RPLIDAR_MOTOR, 0); //stop the rplidar motor
    // try to detect RPLIDAR...
    rplidar_response_device_info_t info;
    if (IS_OK(lidar.getDeviceInfo(info, 100)))
    {
        // detected...
        lidar.startScan();
        // start motor rotating at max allowed speed
        analogWrite(RPLIDAR_MOTOR, 255);
//        delay(1000);
    }
}
}
void kirimdata()
{
    Serial1.write('x');
    Serial1.write('y');
    For(int i=0; i<261; i++){ Serial1.write(EEPROM.read(i));}
}

```

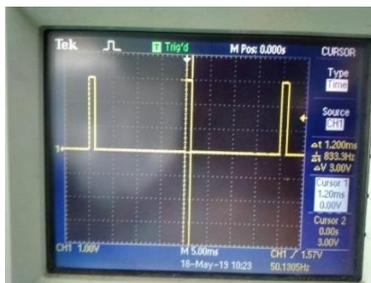
## LAMPIRAN B

### Dokumentasi Data Percobaan

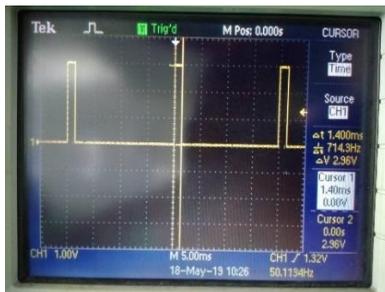
#### A. Pulsa Servo 900 us



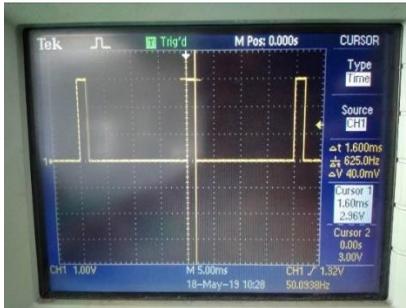
#### B. Pulsa Servo 1250 us



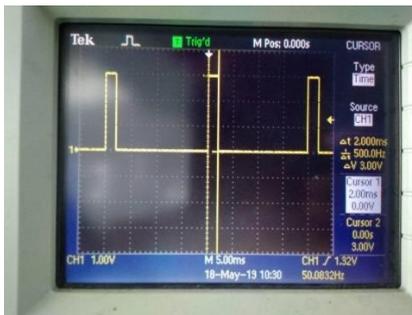
#### C. Pulsa Servo 1500 us



D. Pulsa Servo 1750 us



E. Pulsa Servo 2100 us



## Datasheet UVTRON Flame Detector

**HAMAMATSU**  
PHOTON IS OUR BUSINESS

**FLAME SENSOR UVTRON®  
R2868**

**Quick Detection of Flame from Distance,  
Compact UV Sensor with High Sensitivity and Wide Directivity,  
Suitable for Flame Detectors and Fire Alarms.**

Hamamatsu R2868 is a UVTRON ultraviolet ON/OFF detector that makes use of the photoelectric effect of metal and the gas multiplication effect. It has a narrow spectral sensitivity of 185 nm to 290 nm, being completely insensitive to visible light. Unlike semiconductor detectors, it does not require optical visible-cut filters, thus making it easy to use.

In spite of its small size, the R2868 has wide angular sensitivity (directivity) and can reliably and quickly detect weak ultraviolet radiations emitted from flame due to use of the metal plate cathode (eg. it can detect the flame of a cigarette lighter at a distance of more than 5 m.).

The R2868 is well suited for use in flame detectors and fire alarms, and also in detection of invisible discharge phenomena such as corona discharge of high-voltage transmission lines.



### APPLICATIONS

- Flame detectors for gas / oil lighters and matches
- Fire alarms
- Combustion monitors for burners
- Inspection of ultraviolet leakage
- Detection of discharge
- Ultraviolet switching

### SPECIFICATIONS

#### GENERAL

Parameter	Description / Value	Unit
Spectral Response	185 to 290	nm
Window Material	UV glass	—
Weight	Approx. 1.5	g

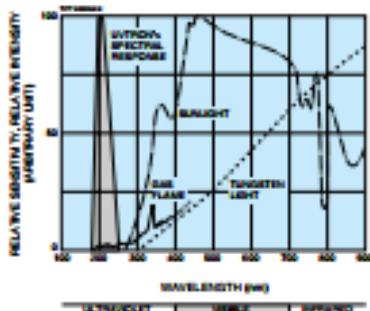
#### MAXIMUM RATINGS

Parameter	Value	Unit
Supply Voltage	400	V
Peak Current <sup>(1)</sup>	30	mA
Average Discharge Current <sup>(2)</sup>	1	mA
Operating Temperature	-20 to +60	°C

#### CHARACTERISTICS (at 25 °C)

Parameter	Value	Unit
Discharge Starting Voltage (with UV radiation) (DC)	Max.	280
		V
Recommended Operating Voltage (DC)	305 ± 25	V
Background <sup>(3)</sup>	Max.	10
		mA/cm <sup>2</sup>
Sensitivity <sup>(4)</sup>	Typ.	5000
		mA/m <sup>2</sup>

Figure: UVTRON's Spectral Response and Various Light Sources



NOTE: (1) This is the maximum momentary current that can be handled if its full width at half maximum is less than 10  $\mu$ s.

(2) If the tube is operated near this or higher, the service life is noticeably reduced.

(3) Measured under room illuminations (approx. 500 lux) and recommended operating conditions. Note that these values may increase if the following environmental factors are present.

(4) Mercury lamps, excimer lamps, or halogen lamps are located nearby.

(5) Direct or reflected sunlight is incident on the tube.

(6) Electrical sparks such as welding sparks are present.

(7) Radiation sources are present.

(8) High electric field (including static field) generates across the tube.  
(9) These are representative values for a wavelength of 250 nm and a light input of 10  $\mu$ W/cm<sup>2</sup>. In actual use, the sensitivity will vary with the wavelength of the ultraviolet radiation and the drive circuitry employed.

Figure 2: Angular Sensitivity (Directivity)

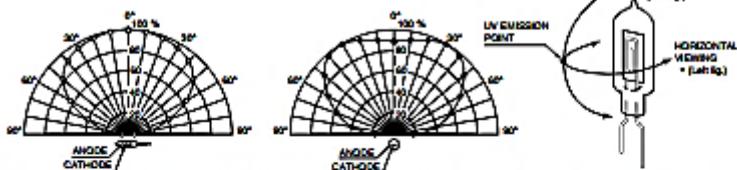


Figure 3: Dimensional Outline (Unit: mm)

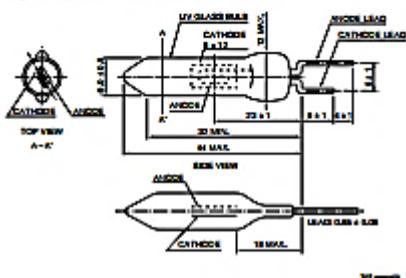
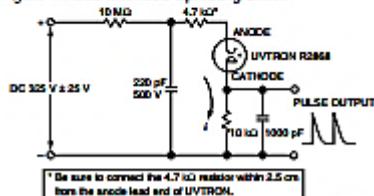


Figure 4: Recommended Operating Circuit



●UVTRON Driving circuit C10807 series (sold separately)



Hanamura also provide the driving circuit C10807 series for R2868 operation.  
 Since the high-voltage supply and signal processor are mounted on the same circuit board, the C10807 can be operated as a high-sensitivity flame sensor just by connecting a UVTRON and supplying a low DC voltage (5 V to 24 V).  
 For the details, please refer to the data sheet of C10807 series.

■PRECAUTIONS FOR USE

●Ultraviolet Radiation

The UVTRON itself emits ultraviolet radiation in operation. When using two or more UVTRONS at the same time in close position, care should be taken so that they do not optically interfere with each other.

●Vibration and shock

UVTRONS have passed vibration and shock tests in compliance with IEC 60068-2-6 (sinusoidal vibration test 1.5 mm peak to peak, 100 m/s<sup>2</sup>, 10 Hz to 500 Hz) and IEC 60068-2-27 (shock test 1000 m/s<sup>2</sup>, 11 ms). However if subjected to strong mechanical shocks such as drop impacts, the glass envelope may crack or internal electrodes may deform resulting in poor electrical characteristics. So use extreme caution when handling the UVTRON. If the leads are machined or cut with a wire cutter, the internal electrodes may be subjected to vibrations or shocks greater than the above tests, resulting in poor electrical characteristics as in the case where they are subjected to drop impacts.

●Polarity

Connect the UVTRON with correct polarity. Should it be connected with reverse polarity, operating errors may occur.

■WARRANTY

The UVTRON is covered by a warranty for a period of one year after delivery. The warranty is limited to replacement of any defective tube due to defects traceable to the manufacturer.

## Datasheet Driver UVTRON

**HAMAMATSU**  
PHOTON IS OUR BUSINESS

UVTRON® DRIVING CIRCUIT  
**C10807 SERIES**

Compact, Lightweight, Low Current Consumption  
Ideal for Fire and Arson Surveillance

### FEATURES

C10807 series was developed for UVTRON driving circuit as alternative to C3704, that is also used as signal processing circuits. By using a double-sided printed circuit board we cut the area size to half that of conventional drive circuits.

Since the high-voltage supply and signal processor are mounted on the same circuit board, the C10807 can be operated as a high-sensitivity UV sensor just by connecting a UVTRON and supplying a low DC voltage.

The signal processing circuit cancels out background discharges which may occur in the UVTRON due to natural excitation light (cosmic rays, solar UV rays, etc.). This minimizes erroneous detection so the C10807 output signal can be used without additional filtering.

Combining the C10807 with a high-sensitivity \*UVTRON R9533, R2888\* (sold separately) for use as a flame detector yields sensitivity capable of detecting the flame from a cigarette lighter (flame length 25 mm) even at distances up to 5 meters away.

### APPLICATIONS

- Flame detectors for gas and oil lighters
- Fire alarms
- Arson watch monitor
- Combustion monitors for burners
- Electric spark detector

### SPECIFICATIONS

Parameter	Description / Value	Unit
Output Signal	Open Collector Output (50 V, 80 mA) 10 ms with pulse output (A)	—
UVTRON Supply Voltage	350 (B)	V
Quenching Time	Approx. 25	ms
Suitable UVTRON	R9533, R2888 (sold separately)	—
Operating Ambient Temperature (C)	-10 to +50	°C
Input Voltage (DC)	C10807	1.2 to 24
	C10807-01	5 ± 0.25
	C10807-02	6 to 9
Current Consumption (Max.)	C10807	4
	C10807-01	0.3
	C10807-02	0.3
Weight	Approx. 1.2	g

NOTE: (A) The output pulse width can be extended up to about 10 s by adding a capacitor to the circuit board.

(B) Since the output impedance of this power supply is extremely high, an ordinary voltmeter cannot be used. Use a voltmeter that has an input impedance of 1000 Ω or 10 GΩ.

(C) No condensation



Figure 1: DIMENSIONAL OUTLINE (Unit: mm)

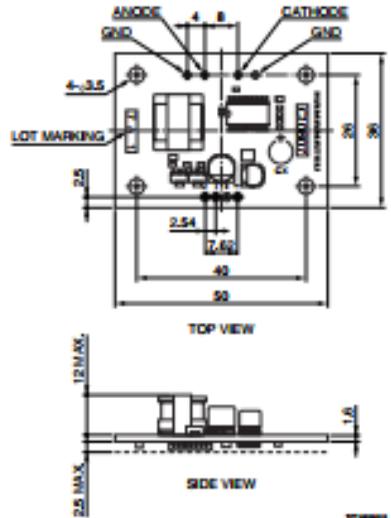
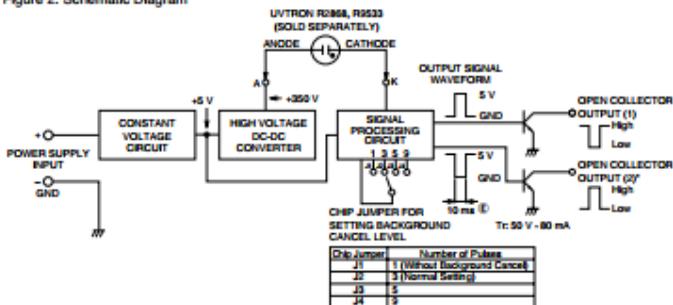
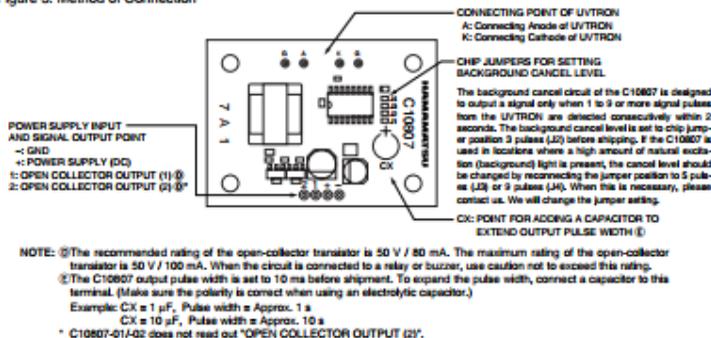


Figure 2: Schematic Diagram



HY-G00014

Figure 3: Method of Connection

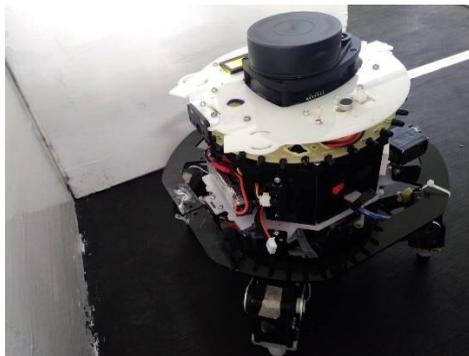
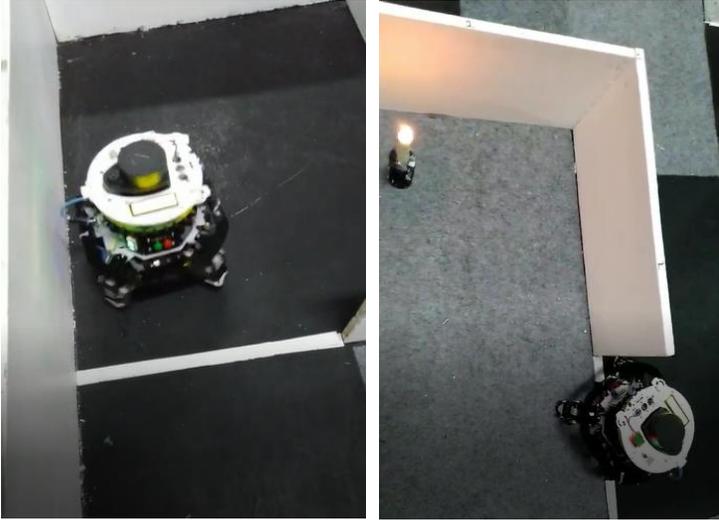


HY-G00014

### PRECAUTIONS FOR USE

- Since the operation impedance is extremely high, the UVTRON should be connected as close as possible to the circuit board within 5 cm.
- Take care to avoid external noise since a C-MOS IC is used in the circuit. It is recommended that the whole PC board be put in the shield box when it is used.
- The DC-DC converter type high-voltage supply for this unit has a very high impedance. If the ambient humidity is high, then electrical leakage on the printed circuit board surface might lead to a drop in the supply voltage to the UVTRON. This voltage drop might cause lower sensitivity or malfunctions. If using the unit in a high humid environment apply a silicon-based moisture-proof coating to the UVTRON connection terminals.

**LAMPIRAN C**  
**Dokumentasi Kegiatan Tugas Akhir**



.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

## BIODATA PENULIS



Ja'far lahir di Kota Tangerang pada tanggal 1 Juli 1996 merupakan anak kedua dari empat bersaudara. Penulis menyelesaikan pendidikan dasar di SD Negeri 8 Poris Pelawad Cipondoh, dilanjutkan pendidikan tingkat menengah di MTs Al-Husna Kota Tangerang dan sekolah tingkat kejuruan di SMK Negeri 4 Kota Tangerang dengan jurusan otomasi industri. Penulis memulai kehidupan perkuliahan pada tahun 2014 di D3 Teknik

Elektro, Fakultas Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada di Yogyakarta. Kemudian pada tahun 2017 melanjutkan perkuliahan di S1 Lintas Jalur Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember di Surabaya. Selama masa perkuliahan penulis aktif di tim robot. Selain itu, penulis juga menjadi asisten praktikum di bidang studi elektronika.

Email : jafarmc14@gmail.com  
Hp/WA : 089508783762  
Facebook : ja'far  
Line : jaf\_ran