

# Sistem Navigasi Robot *Quadruped* Pemadam Api Menggunakan LIDAR

Jafar, Muhammad Rivai

Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: muhammad\_rivai@ee.its.ac.id

**Abstrak** - Robot *quadruped* adalah robot yang memiliki empat buah kaki untuk berjalan. Pada setiap kaki robot terdapat tiga *Degree of Freedom* (DoF). Sistem navigasi robot *quadruped* pada umumnya menggunakan metode telusur dinding dengan menggunakan sensor ultrasonik dan sensor *infrared*. Namun kedua sensor tersebut memiliki kelemahan untuk sistem navigasi karena terlalu lebarnya daerah pembacaan sensor ultrasonik dan sensor *infrared* hanya fokus terhadap satu titik pembacaan sehingga terdapat titik buta ketika robot bernavigasi. Pada penelitian ini telah diimplementasikan sebuah *Light Detection and Ranging* (LIDAR) pada robot *quadruped* pemadam api yang mengikuti aturan dari Kontes Robot Pemadam Api. Robot ini memiliki dimensi 24 cm x 24 cm x 26 cm dan menggunakan Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>) untuk memadamkan api. Alat ini menggunakan mikrokontroler STM32F4 sebagai *main controller*. Kontrol PID digunakan untuk mengatur sistem navigasi pada robot. Pengujian alat ini dilakukan dengan robot bernavigasi dari satu ruang ke ruang lain yang terdapat api lilin dan kemudian memadamkannya. Hasil percobaan diperoleh 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** – LIDAR, Pemadam api, Robot *quadruped*

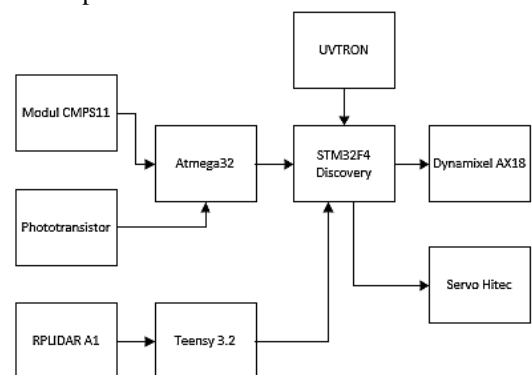
## I. PENDAHULUAN

Robot *quadruped* adalah robot yang memiliki empat buah kaki yang mampu berjalan dengan mengatur setiap pergerakan kakinya. Pada masing-masing kaki robot terdapat tiga *Degree of Freedom* (DoF) [1]. Saat ini, robot *quadruped* banyak digunakan dan dikembangkan pada bermacam kegiatan diantaranya yaitu Kontes Robot Pemadam Api Indonesia (KRPAI) yang merupakan kegiatan perlombaan robot pemadam api yang setiap tahunnya yang 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. 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 ini 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 penelitian ini disesuaikan dengan peraturan pada Kontes Robot Pemadam Api Indonesia (KRPAI) divisi berkaki dan mempunyai misi yaitu memadamkan api. Pada divisi robot KRPAI, ukuran 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 penelitian ini dilakukan penggunaan sensor *Light Detection and Ranging* (LIDAR) untuk navigasi robot. LIDAR adalah sistem radar yang bekerja di bawah spektrum inframerah ke spektrum ultraviolet. Alat ini 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*. Sebagai pemadam api digunakan gas Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>). Diharapkan robot dapat bernavigasi lebih optimal, cepat dan berkurangnya kuantitas tabrakan terhadap dinding dan *obstacle*. Untuk blok diagram sistem navigasi robot *quadruped* pemadam api menggunakan LIDAR dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram blok sistem navigasi robot *Quadruped* pemadam api menggunakan LIDAR.

## II. TEORI PENUNJANG

### A. 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 memakai empat paha atau lutut. *Quadruped* robot ini dibedakan menjadi dua jenis yaitu tipe *mammal* dan tipe *sprawling* [3]. 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.

### B. *Light Detection and Ranging*

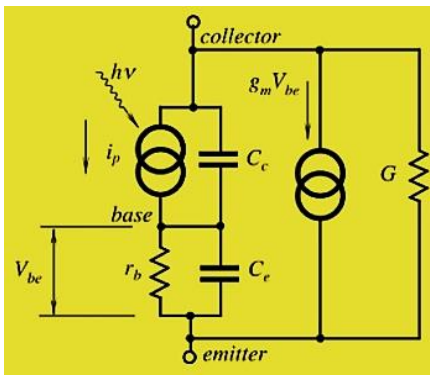
LIDAR merupakan sistem penginderaan jarak menggunakan sinar laser. Sinar laser tersebut termasuk dalam panjang gelombang *infrared*. Perangkat ini mengukur jarak dengan menghitung waktu tunda antara transmisi sinyal laser dan penerimanya setelah sinyal tersebut terpantul dari target, kemudian diterjemahkan ke dalam jarak menggunakan kecepatan cahaya [4].

### C. UVTRON *Flame Detector*

UVTRON *flame detector* adalah sensor yang digunakan untuk mendeteksi api yang memancarkan sinar ultraviolet [5]. UVTRON mendeteksi ada atau tidak adanya api menggunakan *photoelectric effect of metal* dan *gas multiplication effect* yang dapat mendeteksi keberadaan api lebih dari 5 meter.

### D. *Phototransistor*

*Phototransistor* adalah transistor yang dapat mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. Kaki basisnya terbuka dan terbuat dari komponen *photoconductive* sehingga fungsi kaki basisnya dapat diatur berdasarkan besarnya intensitas cahaya yang diterima pada bagian *photoconductive* tersebut. Rangkaian ekuivalensi *phototransistor* dapat dilihat pada Gambar 2. Perbedaan *phototransistor* dengan *photodiode* terletak pada penguatan arus (beta dc) [6]. Jika keduanya diberikan intensitas cahaya dengan jumlah yang sama, maka *phototransistor* akan menghasilkan arus (beta dc) lebih besar daripada *photodiode*.



Gambar 2. Rangkaian ekuivalensi *phototransistor* [6].

### D. STM32F4 Discovery

STM32F4 Discovery adalah sebuah modul mikrokontroler 32 bit [7], yang dilengkapi dengan beberapa fitur, seperti ARM cortex-M4 core dengan FPU dan *embedded Flash and SRAM*, *Nested vectored interrupt controller* (NVIC), *External interrupt/event controller* (EXTI), *Timer and watchdogs*, *Universal synchronous / asynchronous receiver transmitters* (USART), *General purpose input / output* (GPIO), *Analog to digital converters* (ADC) [8-9].

### E. Dynamixel

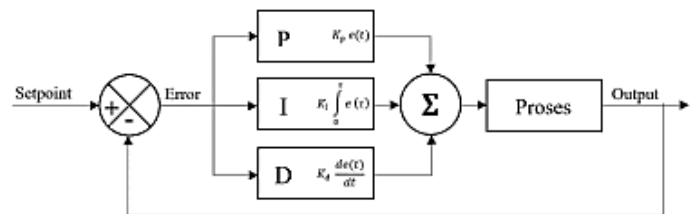
Dynamixel adalah servo yang dapat mengendalikan posisi dan kecepatan dengan resolusi 10 bit, serta dapat membaca posisi dan kecepatannya. Dynamixel berisi motor yang dapat dikontrol dengan TTL atau RS-485 [10]. Dynamixel dikomunikasikan dengan mikrokontroler, kemudian mikrokontroler memberikan satu paket 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.

### F. PID Controller

Kontrolir *Proportional-Integral-Derivative* (PID) adalah kontrolir mekanisme umpan balik yang biasa digunakan pada sistem kontrol industri. Kontrol PID terdiri dari term proporsional, integral dan derivative yang dijumlahkan [11]. Blok diagram kontrol PID dapat dilihat pada Gambar 3. Dengan mendefinisikan  $u(t)$  sebagai keluaran kontrolir, bentuk akhir dari algoritma PID dapat dinyatakan sebagai:

$$u(t) = P(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(T) dT + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

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  $t$  [12-13].



Gambar 3. Blok diagram PID.



Gambar 4. Desain peletakan LIDAR pada robot.

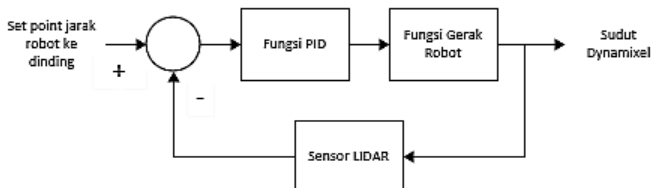
### III. DESAIN DAN ANALISIS DATA

#### A. Desain Sistem Robot

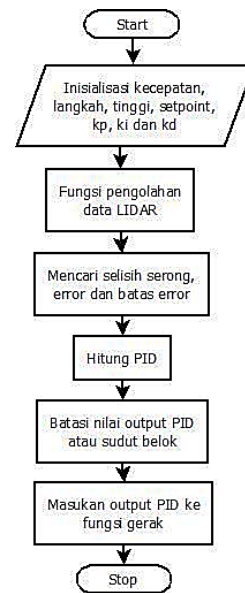
Bagian *body* robot merupakan tempat dari komponen elektronik seperti mikrokontroler, sensor dan juga baterai. Faktor utama dalam mendesain *body* robot adalah mengonsep peletakan posisi dari sensor terhadap titik pusat geometri *body* robot. Sistem elektronik robot ini terdiri dari komponen modul sensor, modul mikrokontroler dan aktuator servo. Modul sensor yang digunakan yaitu LIDAR, UVTRON, phototransistor dan CMPS11. Selanjutnya modul mikrokontroler yang digunakan adalah 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 memprosesnya ke dalam kontrol PID, hingga mengirimnya ke servo dynamixel. Gambar 4 menunjukkan desain peletakan LIDAR pada robot yang digunakan untuk eksperimen.

#### C. 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 studi ini digunakan sistem kontrol PID untuk dapat mengaplikasikan LIDAR pada sistem navigasi robot *quadruped* tersebut. 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 5. Diagram alir untuk perancangan PID dapat dilihat pada Gambar 6.



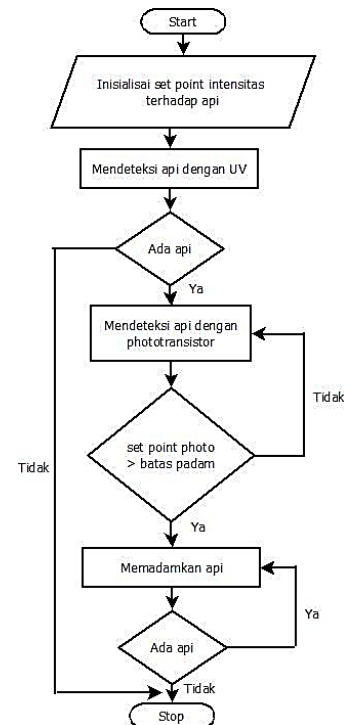
Gambar 5. Blok diagram kontrol PID.



Gambar 6. Flowchart perancangan PID.

#### D. Perancangan Sistem Memadamkan Api

Pada tahap ini dilakukan perancangan sistem memadamkan api pada robot. Robot memadamkan api menggunakan gas  $\text{CO}_2$ . 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. Diagram alir sistem untuk memadamkan api dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Flowchart perancangan sistem memadamkan api.

### E. Pengujian Sensor LIDAR

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat ketelitian hasil pembacaan sensor LIDAR. Karena LIDAR yang digunakan adalah 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 mengukur jarak dari robot hingga ke dinding lapangan yang digunakan pada Kontes Robot Pemadam Api dengan intensitas pencahayaan yang terukur adalah 46 lux. Grafik perbedaan pembacaan sensor LIDAR dengan jarak terukur dapat dilihat pada Gambar 8. Hasil perbandingan pengujian sensor LIDAR dengan jarak yang sebenarnya dapat dilihat pada Tabel 1. Dari data tersebut didapatkan bahwa rata-rata *error* perbandingan pembacaan LIDAR dengan jarak yang sebenarnya adalah 3,9cm atau 8,7%. LIDAR yang digunakan memiliki nilai pembacaan minimal sebesar 14 cm dengan nilai maksimal sebesar 254 cm.

### F. 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.

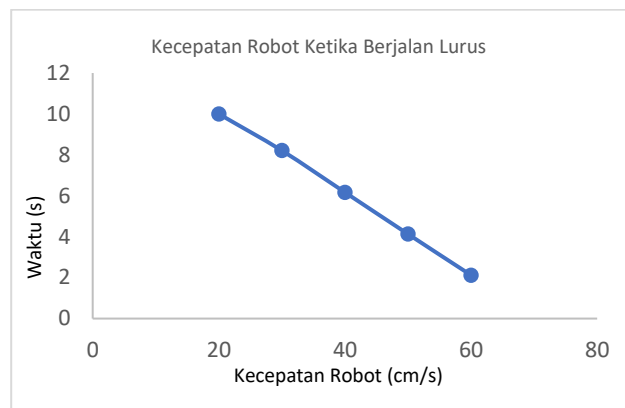


Gambar 8. Grafik perbandingan pembacaan LIDAR dengan jarak terukur.

Tabel 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 9. Grafik kecepatan robot ketika berjalan lurus.

Tabel 2.

Pengujian kecepatan robot ketika berjalan lurus.

Kecepatan robot (cm/s)	Waktu (s)	Kecepatan aktual (m/s)
20	10	0,1
30	8,21	0,12
40	6,17	0,16
50	4,13	0,24

Tabel 3.

Pengujian kontrol PID.

Jarak sebenarnya (cm)	Selisih serong (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

Grafik kecepatan robot ketika berjalan lurus dapat dilihat pada Gambar 9. Dan hasil pengujian kecepatan robot ketika berjalan lurus dapat dilihat pada Tabel 2. semakin tinggi nilai kecepatan robot maka semakin sedikit waktu yang dibutuhkan robot untuk berjalan lurus dalam jarak 100cm.

### G. Pengujian Kontrol PID

Perancangan kontrol PID menggunakan metode *manual tuning* dan *trial error*. Dari metode tersebut didapatkan nilai *kp* sebesar 2, *ki* sebesar 0 dan *kd* sebesar 0,1. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *set point* sebesar 4cm, kemudian memvariasikan jarak antara robot dengan dinding. Hasil pengujian kontrol PID dapat dilihat pada Tabel 3. Selisih serong 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.



Gambar 10. Pengujian keseluruhan sistem.

Tabel 4.

Pengujian keseluruhan sistem.

Kecepatan Robot (cm/s)	Waktu (s)	Kuantitas Menabrak Dinding	Kecepatan Aktual (m/s)
20	26.68	5	0.09
30	20.19	15	0.12
40	18.7	20	0.13
50	21.05	30	0.11

#### H. Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian keseluruhan sistem dilakukan untuk mengetahui berapa lama waktu yang dibutuhkan robot dalam bernavigasi sampai memadamkan api dengan parameter yang sudah didapatkan dari 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 10. Sedangkan hasil pengujian keseluruhan sistem dapat dilihat pada Tabel 4. 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 sehingga menjadi 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.

#### IV. KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah diimplementasikan sebuah LIDAR pada robot quadruped pemadam api yang mengikuti aturan dari Kontes Robot Pemadam Api. Robot ini menggunakan Karbon Dioksida untuk memadamkan api. Kontrol PID digunakan untuk mengatur sistem navigasi pada robot. Pengujian alat ini dilakukan dengan robot bernavigasi dari satu ruang ke ruang lain yang terdapat api lilin dan kemudian memadamkannya. Rata-rata *error* pembacaan LIDAR dengan jarak sebenarnya adalah 3,9 cm atau 8,7%. Nilai sudut belok yang dihasilkan dari kontrol PID rata-rata adalah 0,77. Kecepatan robot yang paling efektif adalah 20 cm/s. Rata-rata waktu yang dibutuhkan robot dalam memadamkan api adalah 21,65 s.

#### 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 25th International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE), 2018, pp. 39–44.
- [2] C. Dehong, Z. Liangqi, S. Pengpeng, T. Zaiyang, M. Yuhao, and W. Yong, "Design and implementation of LiDAR navigation system based on triangulation measurement," in 29th Chinese Control and Decision Conference (CCDC), 2017, pp. 6060–6063.
- [3] L. Zhou, W. Liu, H. Qian, and Y. Xu, "Gait Design and Comparison Study of a Quadruped Robot," 2017.
- [4] F. Haizmann et al., "Optimization of a feed-forward controller using a CW-lidar system on the CART3," in American Control Conference (ACC), 2015, pp. 3715–3720.
- [5] 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.
- [6] G R Sinha, "Optical Sensor: Photodiode, Phototransistor and Photo resistor," Unpublished, 2017.
- [7] Azhar Dwi Rizqi Aljabar, Muhammad Rivai, Suwito, "Rancang Bangun Robot Omni untuk Mencari Sumber Gas Menggunakan Kontrol Logika Fuzzy Berbasis Mikrokontroler ARM STM-32", Jurnal Teknik ITS, Vol. 7, No. 1, 2018, pp. B17-22
- [8] Rendy Setiawan, Muhammad Rivai, Suwito, "Implementasi Analog Front End Pada Sensor Kapasitif Untuk Pengaturan Kelembaban Menggunakan Mikrokontroler STM32", Jurnal Teknik ITS, Vol. 6, No. 1, 2017, pp. A81-87
- [9] Mohamad Asfari, Muhammad Rivai, Tasripan, "Penentuan Arah Sumber Suara dengan Metode Interaural Time Difference menggunakan Mikrokontroler STM32F4", Jurnal Teknik ITS, Vol. 6, No. 2, 2017, pp. A771-775
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] Agung Andri Kurniawan, Muhammad Rivai, Fajar Budiman, "Sistem Pemandu Pendaratan pada Balon Udara Berbasis Pengolahan Citra dan Kendali PID", Jurnal Teknik ITS, Vol. 5, No. 2, 2016, pp. A179-184
- [13] Muhammad Rivai, Suwito, Peter Chondro, Shanq-Jang Ruan, "Design and Implementation of a Submerged Capacitive Sensor in PID Controller to Regulate the Concentration of Non-Denatured Ethyl Alcohol", International Seminar on Intelligent Technology and Its Application (ISITIA), 2015, pp. 45-50