



PERANCANGAN ROBOT PEMADAM API DENGAN PENGONTROLAN GERAK METODE *PROPORTIONAL INTEGRAL DERIVATIVE (PID)* MENGGUNAKAN SENSOR SONAR BERBASIS MIKROKONTROLLER

Sondang Sibuea^a, Agung Rahmaddoni^a, Yohanes Bowo Widodo^a

^a Fakultas Komputer / Program Studi Teknik Informatika, sondang.sibuea@gmail.com
Universitas Mohammad Husni Thamrin, ybowowidodo@gmail.com

ABSTRACT

This research designs and implements a control algorithm on a wheeled wall follower robot that uses a PID controller (Proportional, Integral, Differential) as a navigation system for a wall follower fire fighting robot. The task of this robot is to walk along the walls of the area. The PID controller aims to smooth the movement of the robot when tracing the track space. With the help of the PID controller, the wall follower robot is able to navigate safely, smoothly, responsively and quickly.

Fire fighting robots require a variety of sensors to run properly, one of which is using sonar sensors that are used for robot navigation. This sensor works based on the principle of wave reflection, where in this case the variable measured is the time of reflection since the wave was emitted. The sonar sensor detects an obstruction. The robot will turn and walk again without hitting obstacles or objects in the vicinity. To detect fire, fire sensor is used. This sensor also find hotspots by assessing the intensity of the light.

Arduino ATmega328 microcontroller functions as a robot control. The output of the microcontroller will produce logic 1 to activate the motor driver to activate the right and left wheel motors. The DC motor is used as a driving force for the robot, and the battery here functions as a power supply for the robot. The result is, this robot can detect the fire point of the candle and extinguish the candle flame.

Keywords: Robot, Sonar, wall follower, PID controller, fire extinguisher.

ABSTRAK

Penelitian ini merancang dan mengimplementasikan robot *wall follower* pemadam api, dengan algoritma kendali yang menggunakan kontroler PID (*Proporsional, Integral, Differential*) sebagai sistem navigasi robot. Robot ini mampu menyusuri dinding dan menghindari tabrakan dengan dinding. Untuk mengoptimalkan pergerakan robot saat menelusuri ruangan, digunakan kontroler. Robot dapat bernavigasi dengan responsif, cepat, halus dan aman.

Robot pemadam api menggunakan beberapa sensor, antara lain sensor sonar. Sensor sonar dapat membantu pergerakan dan navigasi robot, sehingga bisa bergerak dengan baik dan benar, tanpa menabrak dinding. Sensor sonar ini bekerja berdasarkan prinsip pemantulan gelombang, dimana dalam hal ini variabel yang diukur adalah waktu pemantulan sejak gelombang tersebut dipancarkan. Dengan cara tersebut, sensor sonar dapat mendeteksi penghalang, dan dapat menghindari penghalang tersebut dalam perjalanannya. Robot akan berbelok dan melanjutkan perjalanan tanpa menabrak benda dan penghalang yang berada di sekitarnya. Sensor api mengukur intensitas cahaya, sehingga dapat mendeteksi api dan mencari titik api.

Mikrokontroler Arduino ATmega328 berfungsi sebagai kendali robot. Mikrokontroler dapat mengatur pergerakan roda kanan dan roda kiri robot. Untuk pergerakan robot, digunakan motor DC sebagai penggerak. Power supply pada robot menggunakan baterai. Algoritma pergerakan robot dirancang sedemikian rupa sehingga robot dapat melaksanakan misi yaitu mendeteksi titik api lilin dan memadamkannya.

Kata Kunci: Robot, Sonar, *wall follower*, Kontroler PID, pemadam api.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi dan elektronika begitu pesat. Robotika merupakan kajian teknologi informasi dan elektronika yang semakin maju. Robot muncul dalam berbagai bentuk, ada robot yang menyerupai manusia (humanoid), ada robot yang menyerupai bentuk binatang (laba-laba, anjing, kuda, dan lain-lain). Bentuk robot juga menentukan cara robot bergerak, sehingga bentuk robot menentukan algoritma pergerakan robot.

Robot memiliki kemampuan yang spesifik tergantung misi yang akan dijalankannya. Untuk mengontrol gerak robot diperlukan sistem navigasi yang handal. Sistem navigasi tersebut sangat menunjang kinerja optimum robot dalam menjalankan misinya. Sistem kendali pergerakan robot dapat mengolah sinyal yang diterima menjadi perintah yang menggerakkan robot dalam melakukan tugas atau misi sesuai dengan yang dirancang. Sistem kontrol berguna untuk menentukan gerakan yang harus dilakukan. Sistem kontrol memberikan tanggapan yang sesuai dengan sinyal masukan yang diperoleh.

Pada penelitian ini akan dirancang robot *wall follower*. Sesuai dengan namanya, robot *wall follower* dapat bergerak sesuai dengan ruang lingkup dinding yang ada di sekitarnya. Dalam penelitian ini akan dirancang robot *wall follower* yang bergerak secara cepat dan responsive, dan tidak menabrak dinding. Dinding membatasi track atau lintasan yang berbentuk lurus maupun berbelok-belok. Jarak dinding kiri atau kanan tetap dijaga walaupun kecepatan robot meningkat. Untuk mencapai kondisi tersebut, digunakan metode kontrol PID (*Proportional Integral Differential*).

Untuk mengatur gerakan robot *wall follower* secara baik dan akurat, digunakan kontroler PID yang dapat memproses pembacaan jarak antara dinding kiri dan kanan. Mikrokontroler Arduino Uno digunakan untuk mengaplikasikan kontroler PID. Kecepatan linier roda-roda robot dapat ditentukan dari kecepatan angular roda-roda robot *wall follower*. Besarnya kekuatan pergerakan masing-masing motor penggerak roda ditentukan berdasarkan kecepatan linier roda-roda robot yang diinginkan. Dinding kiri dan dinding kanan dapat dianggap sebagai koridor yang membatasi pergerakan robot.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Dalam melakukan penelitian ini, dilakukan review terhadap beberapa penelitian terdahulu yang telah dipublikasi baik dalam bentuk skripsi maupun jurnal. Penelitian-penelitian tersebut digunakan sebagai acuan dan tolok ukur baik dari sisi konsep, rancang bangun dan kerangka teori, dan pengulangan masalah atau kekurangan yang timbul pada rancangan dari penelitian-penelitian terdahulu. Penelitian terdahulu yang digunakan penulis adalah sebagai berikut:

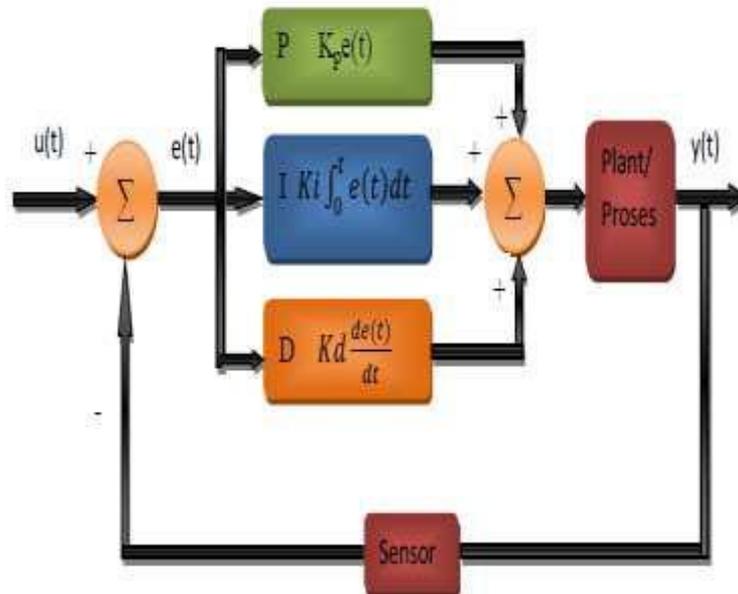
Perancangan robot pemadam api menggunakan kontrol PID pernah diteliti oleh Anto Oktavianto pada tahun 2014. Mobilitas yang baik dari robot pemadam api bisa didapatkan dari kerja kontrol PID, sehingga robot dapat menyusuri ruangan dan dapat menemukan titik api yang harus dipadamkannya. Metode ini merupakan metode yang digunakan dalam pembuatan prototype robot pemadam api.

Penelitian berikutnya oleh Yandi Cahyadi pada tahun 2017 menciptakan Robot Pemadam Api dengan Sistem Deteksi Dini. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan bahwa robot pemadam api ini dapat bekerja dengan baik. Bergerak maju menggunakan motor DC dan memadamkan api lilin menggunakan kipas angin yang dikendalikan oleh motor DC. Sensor Ultrasonik yang terpasang pada depan robot berfungsi sebagai penentu jarak.

Penelitian lainnya dilakukan oleh Yudha Adi Permana pada tahun 2016 menciptakan Sistem Pemadam Kebakaran Berbasis Android. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan bahwa robot pemadam api ini dapat bekerja dengan baik. Sistem deteksi dini pemadam kebakaran otomatis dengan pengendali aplikasi Android merupakan suatu sistem yang dirancang untuk mengatasi permasalahan kebakaran yang sering terjadi pada bangunan dan hal tersebut tergolong masih langka namun keberadaannya diperlukan.

2.2. Kontroler PID

Pengendali Proporsional Integral dan Derivative atau differential adalah bagian dari kontroler PID. Masing-masing pengendali dapat berdiri sendiri-sendiri atau dapat melakukan kombinasi. Perlu diatur parameter P, I, dan D agar respon yang diberikan sesuai dengan masukan dan respon aktuator yang diinginkan.



Gambar 1. Diagram Blok Kontroler PID

2.3. Mikrokontroler

Bentuk fisik dari chip mikrokontroler adalah berupa IC (Integrated Circuit). Mikrokontroler banyak digunakan pada peralatan sehari-hari seperti televisi digital, ovenmicrowave, radio, remote control dan pada umumnya digunakan pada sistem yang kecil, murah, tidak membutuhkan perhitungan yang kompleks seperti pada komputer.

Sebuah mikrokontroler terdiri dari berbagai macam bagian utama yaitu CPU (Central Processing Unit), RAM (Random Access Memory), ROM (Read Only Memory), dan port IO (Input - Output). Selain bagian utama tersebut, beberapa jenis mikrokontroler juga memiliki beberapa perangkat keras yang dapat digunakan untuk melakukan beberapa hal lainnya seperti pencacahan, komunikasi serial dan interrupt. Beberapa mikrokontroler bahkan menyematkan fitur ADC (Analog to Digital Converter), USB Controller, bahkan termasuk fitur kontrol jaringan.

Untuk membuat mikrokontroler bekerja sesuai fungsi dan kebutuhan, diperlukan program yang dibangun dari algoritma yang sesuai. Biasanya mikrokontroler telah diisi dengan program yang dibutuhkan tersebut. Program tersebut dapat mengontrol perangkat aktuator seperti motor servo, motor stepper, saklar atau modul relay berdasarkan sensor-sensor masukan yang ada. Sensor-sensor masukan terkait dengan pembacaan kondisi diluar mikrokontroler (kondisi dari lingkungan). Kaki-kaki dari mikrokontroler merupakan penghubung perangkat masukan (sensor) dan perangkat keluaran (aktuator) dan berfungsi sebagai IO port. Port masukan berfungsi sebagai jalur untuk memasukkan data dari luar kedalam. Data atau informasi dari mikrokontroler dihubungkan dengan perangkat luaran melalui port keluaran.

Contoh penggunaan jalur masukan (input port), adalah untuk mendeteksi kondisi saklar apakah dalam keadaan terbuka atau tertutup. Jalur masukan umumnya hanya mengenal on atau off saja. Ada beberapa mikrokontroler yang memiliki fitur ADC (Analog to Digital Converter) pada sebagian kaki-kakinya. Fitur ini berfungsi untuk mengubah sinyal analog yang masuk pada jalur masukan menjadi bernilai digital. Hal tersebut membuat mikrokontroler mampu mengolah data dari sensor analog maupun sensor digital.

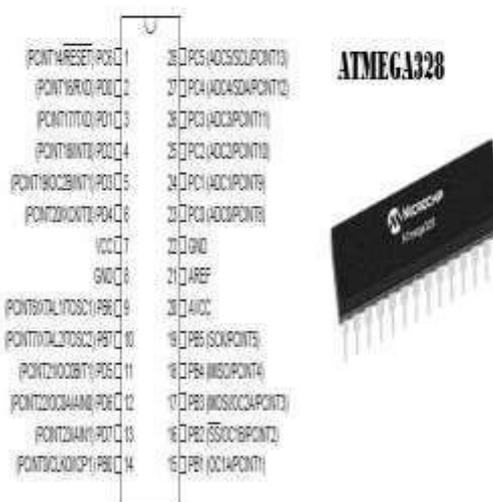
Misalnya besarnya tegangan listrik atau temperatur dapat dideteksi oleh sensor yang bersifat analog, yang dapat dikonversi menjadi data digital yang bisa diolah oleh mikrokontroler.

Mikrokontroler juga memiliki jalur keluaran yang dapat digunakan untuk mengendalikan perangkat-perangkat sebagai keluarannya seperti relay, motor, dan LED (*Light emitting diodes*). Jalur ini juga bisa digunakan untuk mengontrol beberapa perangkat yang informatif seperti LCD (*Liquid Crystal Display*) tujuh segmen. Pada umumnya mikrokontroler bekerja pada tegangan 5 volt namun pada beberapa varian mikrokontroler dapat dioperasikan dengan tegangan 3 volt.

Selain input dan output, sebuah mikrokontroler juga bisa dibekali dengan jalur komunikasi serial. Jalur ini dapat digunakan sebagai jalur komunikasi dari mikrokontroler ke komputer atau ke perangkat lain. Pada umumnya jalur serial ini digunakan untuk mengkomunikasikan mikrokontroler dengan programmer atau modul perangkat lain seperti Ethernet shield, WiFi Module, Bluetooth dan perangkat sejenisnya.

2.4. Mikrokontroler Arduino Atmega 328

ATMega328 adalah sebuah mikrokontroler berbasis RISC (*Reduced Instruction Set Computing*). ATMega328 merupakan AVR (Alf and Vegard's RISC processor) 8 bit dari atmel dengan performansi tinggi. Perangkat ini mampu mengeluarkan *throughputs* mencapai 1 MIPS (Million Instruction per Second) dengan mengeksekusi sejumlah instruksi dalam satu siklus tunggal. Dengan performa seperti itu mikrokontroler ini memiliki konsumsi daya dengan kecepatan pemrosesan yang seimbang. Himpunan instruksi dikombinasikan dalam AVR ke semua register, yaitu 32 buah, dan langsung dihubungkan ke ALU (Arithmetic and Logic Unit). AVR menyediakan dua register bebas untuk diakses dalam sekali instruksi dalam satu siklus tunggal.



Gambar 2. Mikrokontroler Atmega328

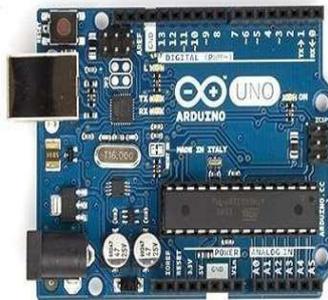
2.5. Arduino

Arduino merupakan sebuah platform yang bersifat open source. Disebut sebagai platform karena, arduino selain sebagai alat pengembangan, ia juga merupakan kombinasi yang canggih dari hardware, bahasa pemrograman dan *Integrated Development Environment* (IDE). Arduino banyak digunakan oleh akademisi dan profesional untuk membuat proyek-proyek dan alat-alat. Arduino memiliki banyak modul pendukung (sensor, tampilan, penggerak dan sebagainya). Modul pendukung tersebut dibuat oleh pihak lain untuk bisa disambungkan dengan arduino. Karena arduino menjadi pilihan dan acuan bagi banyak praktisi maka arduino berevolusi menjadi sebuah platform.

Mikrokontroler Atmega 328 disematkan pada board Arduino uno. Ada 14 pin digital pada Arduino uno. Dari 14 pin tersebut, 6 pin dapat digunakan sebagai output, 6 pin sebagai input analog, sebuah koneksi USB, 16 MHz oksilator kristal, sebuah header ICSP, sebuah konektor sumber tegangan dan sebuah tombol reset. Arduino uno memiliki segala hal yang dibutuhkan untuk menjadikannya sebagai sebuah mikrokontoller yang banyak digunakan. Dengan menghubungkan Arduino uno ke sebuah komputer melalui USB sudah dapat membuatnya bekerja. Arduino uno juga bisa bekerja dengan memberikan tegangan DC dari baterai atau adaptor AC ke DC.

Salah satu jenis papan arduino yang banyak digunakan adalah Arduino Uno R3 (Revision 3). Papan ini menggunakan mikro pengendali ATmega328 sebagai pemroses utama dan ATmega16U untuk komunikasi serial. Catu daya rangkaian diperoleh dari konektor DC atau kabel USB yang juga berfungsi sebagai konektor terhadap PC untuk pengunduhan program ke mikrokontroler. Lingkungan pemrograman Arduino menggunakan perangkat lunak arduino IDE (*Integrated Development Environment*) yang dibuat berbasiskan antar muka Processing.

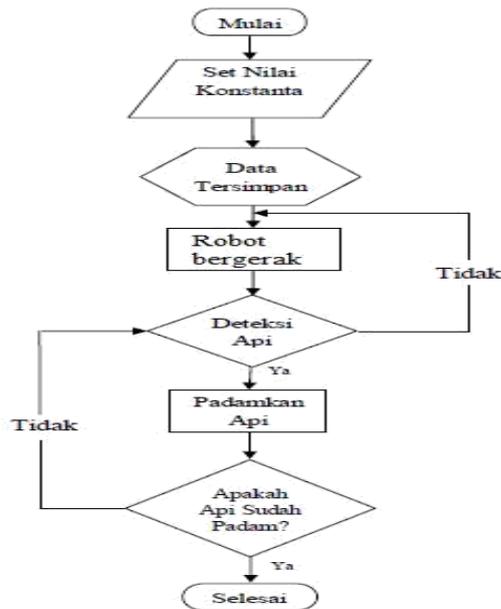
Bahasa pemrograman Arduino yang digunakan mengambil sintaks dasar dari C++. Program yang ditulis menggunakan perangkat lunak tersebut dinamakan sketsa atau sketch, berekstensi PDE atau INO (untuk versi Arduino IDE yang lebih baru).



Gambar 3. Arduino Uno R3

3. METODOLOGI PENELITIAN

Langkah pertama penelitian adalah melakukan analisa kebutuhan. Analisa dilakukan untuk mengidentifikasi kebutuhan program kontrol yang akan digunakan untuk menggerakkan robot pemadam api. Hasil dari analisa kebutuhan digunakan untuk menentukan semua hal yang harus disediakan agar sistem robot pemadam api dapat dibuat sesuai keinginan. Untuk membuat robot pemadam api tersebut agar sesuai dengan target, maka konsep yang digunakan adalah sensor sonar. Bahasa pemrograman berbasis arduino digunakan untuk mendukung pengembangan robot pemadam api tersebut.



Gambar 4. Flow Chart

Dari flowchart diatas dapat diuraikan langkah-langkah yang harus dikerjakan robot pemadam api, yaitu: Pertama-tama dimulai dengan menghidupkan tombol switch On / Off. Sesudah itu dilakukan inisialisasi program yang diperlukan untuk menjalankan robot. Nilai error yang sudah ditetapkan digunakan untuk inisialisasi sistem. Berikutnya robot sudah bisa bergerak menyusuri dinding sesuai jalur yang ada. Jika api terdeteksi oleh sensor api, robot akan berhenti, kemudian mulai memadamkan api lilin dengan mengaktifkan kipas sampai api lilin benar-benar mati. Setelah sumber api padam, proses selesai.

Robot minimal memiliki motor untuk berjalan, sensor untuk mendeteksi suatu objek dinding, sensor untuk mendeteksi api, sehingga terlihat seperti pada gambar dibawah ini:



Gambar 5. Desain Robot

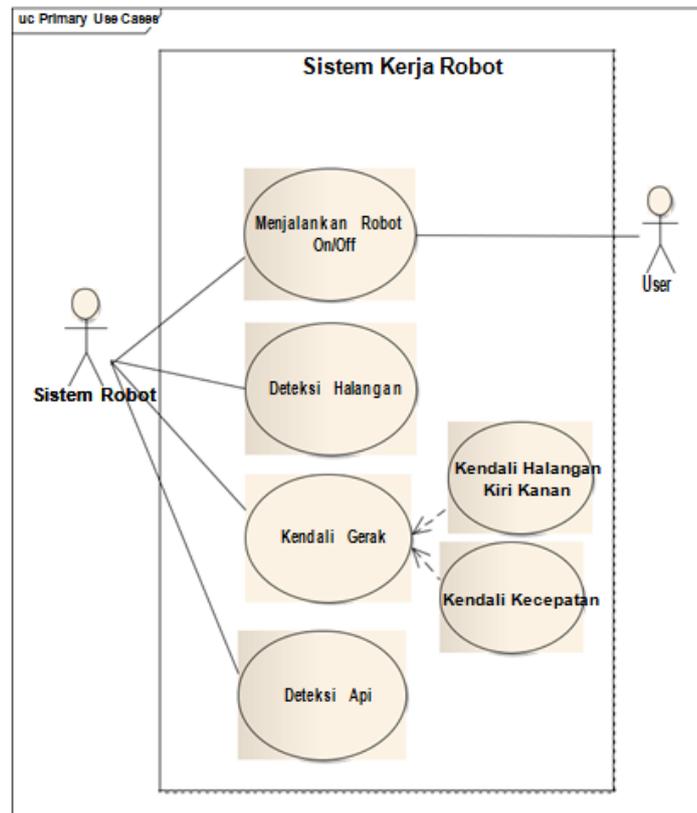
Seperti yang terlihat pada Gambar diatas, menunjukkan bagian-bagian robot pemadam api secara garis besar. Tidak seluruh bagian ada pada setiap robot pemadam api, hal ini dibedakan berdasarkan fungsinya saja.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengembangan pada perangkat lunak yang diterapkan melalui mikrokontroler pada robot menggunakan bahasa pemrograman C. Pengembangan ini mulai dilakukan dari tahapan awal, kemudian dilanjutkan

dengan membuat desain pada robot, tujuan pembuatan robot ini adalah untuk menentukan dan meningkatkan kemampuan serta pengontrolan gerak pada robot sesuai dengan target yang diinginkan.

Perancangan sistem pada penelitian ini menggunakan Use Case Diagram, di sini dijabarkan secara grafis dengan menggambarkan proses gerak pada robot. Use Case Diagram dirancang untuk menggambarkan sistem informasi pengontrolan gerak berbasis perangkat sensor untuk implementasi robot pemadam api, dan bagaimana cara berinteraksi dengan sistem yang dibuat.



Gambar 6. Use case Sistem Kerja Robot

Use Case Diagram diatas menunjukkan hubungan antara aktor, dengan proses-proses fungsional dari proses kerja robot. Aktor memulai dengan menjalankan robot dengan menekan tombol On /Off. Kemudian dilanjutkan ke sistem deteksi halangan. Robot bergerak dibatasi dengan kendali gerak. Bergeraknya robot diterapkan berdasarkan kendali kecepatan dan kendali halangan kiri dan kanan yang diterima sebagai sensor. Motor bergerak maju, jika ada halangan bergerak mundur, kemudian berbelok kekiri atau arah kekanan disesuaikan dengan derajat kemiringan dari posisi robot. Dilanjutkan dengan pendeteksian api. Bergeraknya robot berdasarkan sensor yang diterima yang semuanya sudah diprogram kedalam mikrokontroler yang ada pada robot.

Proses implementasi dilakukan setelah perangkat keras dibuat. Proses ini merupakan bagian terpenting pada pembuatan alat ini. Program mikrokontroler dirancang untuk melakukan proses algoritma pada sistem robot pemadam api lilin. Pemrograman dilakukan dengan menggunakan bahasa C dengan menggunakan software Arduino AVR C yang didownload pada mikrokontroler dan sebagai pengendali pada sistem robot pemadam api lilin.

Pengujian dilakukan untuk mengetahui dan mengukur fungsionalitas, kehandalan dan keberhasilan suatu sistem yang telah dibuat, hal tersebut dapat diketahui dengan melakukan pengujian terhadap alat tersebut. Setelah dilakukan pengujian, dapat diketahui kelebihan dan kelemahan atau kekurangan yang masih terdapat pada robot. Informasi tersebut digunakan untuk menyempurnakan rancangan perangkat keras (hardware) maupun perangkat lunak (software). Apabila sudah didapatkan robot yang memenuhi fungsionalitas yang dibutuhkan, robot dapat digunakan secara nyata.

Catu daya berfungsi meregulasi tegangan output dari listrik yang bertegangan 220 V dan memberikan supply daya ke berbagai blok sistem rangkaian sesuai kebutuhan. Pengujian dilakukan dengan mengukur output pada IC regulator menggunakan alat ukur multimeter. Adapun data hasil pengujian catu daya dapat dilihat pada tabel 1 sebagai berikut :

Tabel 1. Hasil Pengukuran Catu Daya

IC REGULATOR	INPUT (V)	OUTPUT (V)	KONDISI
7805	12,4	5,02	Baik
	11,1	5,02	Baik
	9,0	5,02	Baik

Hasil pengujian menunjukkan perbedaan pada besar tegangan masukan. Perbedaan pada besarnya tegangan masukan tersebut disebabkan beberapa faktor. Pertama, kualitas dari tiap-tiap komponen yang digunakan berbeda. Kedua, disebabkan karena tegangan listrik yang digunakan kurang stabil. Ketiga, dari data sheet dapat diketahui bahwa arus dan tegangan yang dikeluarkan oleh IC Regulator berbeda berdasarkan serinya. IC Regulator 7805 memiliki spesifikasi sebagaimana ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik tegangan regulator 7805

TIPE	V _{Out} (V)	
	Min	Max
7805	4.75	5.25

Mikrokontroler mengatur pergerakan motor DC pada robot melalui driver motor. Dengan driver motor juga mikrokontroler bisa mengatur kecepatan pergerakan dari motor DC. Pengujian bertujuan untuk melihat kinerja minimum sistem robot untuk dapat mengatur pergerakan dan kecepatan dari roda melalui input yang diberikan pada driver motor.

Tabel 3. Hasil Pengujian Pergerakan Driver Motor

NO	MOTOR	PORT	OUTPUT	KETERANGAN
1	Motor Kanan	Dir 0	0	Motor Maju
		Dir 1	1	
		Dir 0	1	Motor Mundur
		Dir 1	0	
2	Motor Kiri	Dir 0	0	Motor Maju
		Dir 1	1	
		Dir 0	1	Motor Mundur
		Dir 1	0	
3	Motor Kanan	Dir 0	0	Motor Berhenti
		Dir 1	0	
4	Motor Kiri	Dir 0	0	Motor Berhenti
		Dir 1	0	

Sensor adalah peralatan mekanik yang memetakan suatu keadaan ke dalam bentuk besaran pengukuran. Masing-masing sensor didasarkan pada prinsip perpindahan, mengkonversi dari energi satu ke energi yang lain. Prosedur untuk membaca sensor dapat terdiri dari berbagai teknik yang harus diatur dalam pemrograman. Teknik yang digunakan kontroler dalam menghubungi sensor ada dua macam, yaitu polling dan interrupt. Teknik polling adalah cara membaca data sensor berdasarkan pengalamatan langsung. Pengamatan ini dapat dilakukan kapan saja sesuai kebutuhan kontroler. Pada teknik interrupt, pembacaan data sensor oleh kontroler dilakukan jika sistem sensor melakukan interupsi. Interupsi dilakukan dengan memberikan sinyal interrupt ke kontroler. Sinyal interrupt ini mengaktifkan kontroler untuk melakukan proses pembacaan. Jadi pada teknik interrupt, kontroler tidak akan mengakses sensor tersebut jika tidak ada interrupt. Dalam program kontroler, Bagian yang berfungsi untuk memproses data sensor merupakan bagian yang penting dalam program kontroler .

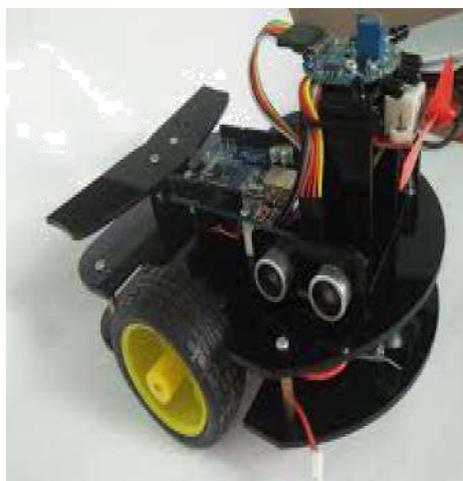
Kontrol adalah bagian yang tak terpisahkan dalam sistem robotik. Sistem kontrol bertugas mengkolaborasikan sistem elektronik dan mekanik dengan baik agar mencapai fungsi seperti yang dikehendaki. Tanda dalam interseksi adalah posisi atau bagian dimana terjadi interaksi antara ketiga bagian itu. Sistem kontroler sendiri memiliki mekanisme kerja seperti yang diilustrasikan berikut ini. Tiga prosedur utama, yaitu baca sensor, memproses data sensor, dan mengirim sinyal aktuasi ke aktuator adalah tugas utama kontroler. Dengan membaginya menjadi tiga bagian maka seorang engineer akan lebih mudah dalam melakukan analisa tentang bagaimana kontroler yang didesainnya bekerja.

Bagian utama dari perangkat keras robot terdiri dari tiga bagian yaitu motor DC, motor stepper, dan rangkaian mikrokontroler. Untuk menggerakkan roda agar robot dapat bergerak maju dan mundur, digunakan motor DC. Motor stepper berfungsi untuk mengatur pergerakan robot ke arah kiri dan kanan. Mikrokontroler digunakan untuk menerima data dari sensor dan memberikan instruksi yang mengatur pergerakan kedua motor sesuai input dari sensor.

Robot pemadam api didesain untuk melakukan perjalanan mengikuti rute (maze) yang dibatasi oleh dinding. Pergerakan robot meliputi tiga macam pergerakan, yaitu:

- 1) *Tracking* merupakan gerakan mengikuti trayektori atau rute yang ada.
- 2) *Docking* merupakan gerakan pada untuk menuju suatu orientasi dan posisi tertentu. Jadi pada saat melakukan tracking, robot akan menangani sistem kendali trayektori, sedangkan saat melakukan docking, robot akan menangani sistem kendali posisi.
- 3) *Obstacle avoidance* merupakan gerakan robot untuk menghindari halangan yang muncul sewaktu-waktu. Karena halangan tersebut dapat muncul sewaktu-waktu, maka robot harus mengoptimalkan kombinasi gerakan *tracking* maupun *docking*.

Perancangan hardware yang dibangun adalah seperti gambar berikut :



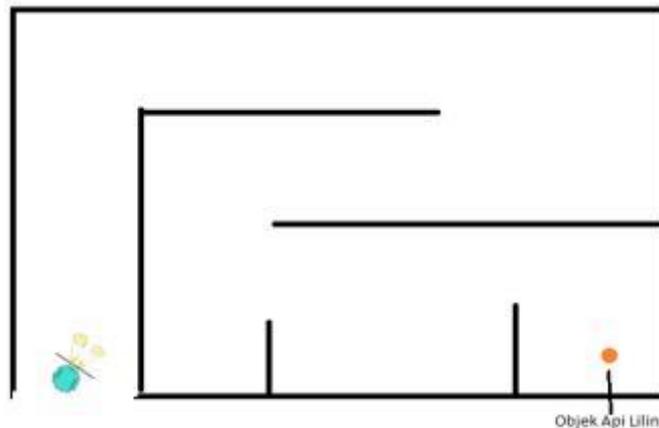
Gambar 7. Implementasi Robot Pemadam Api

Pemasangan perangkat lunak (software) dilakukan apabila perangkat keras robot telah dibuat dan sudah siap untuk diuji. Untuk membangun perangkat lunak digunakan bahasa pemrograman Arduino IDE C. Setelah perangkat lunak siap, maka perangkat lunak tersebut ditanamkan (embedded) pada mikrokontroler yang ada pada robot, sehingga robot dapat bekerja sesuai dengan program yang dimasukkan. Pada pembahasan ini akan dijelaskan cara pengujian yang diterapkan. Pengujian tersebut menghasilkan data pengujian yang akan dianalisis. Analisis dilakukan terhadap data uji yang diperoleh. Dari analisis data tersebut dapat ditentukan kesalahan (error) yang terjadi pada saat pengujian, baik kesalahan dari tiap modul maupun kesalahan sistem secara keseluruhan.

Dari hasil pengujian sistem, dapat dilihat adanya pergerakan robot yang terjadi sesuai dengan penerapan sensor dalam pengontrolan gerak pada robot, terutama pada sensor api. Dalam pengujian digunakan objek api lilin sebagai input. Hasil analisis terhadap data pengujian diperoleh kesimpulan bahwa secara keseluruhan, penerapan sensor dan pengaktifan aktuator dapat digunakan dengan baik untuk pengontrolan gerak robot. Panas api lilin dapat dideteksi karena memiliki range panas yang dapat ditangkap oleh sensor, sehingga sistem ini dianggap sebagai objek yang harus dipadamkan.

Pada pengukuran gerak robot yang sudah terintegrasi ini, diuji menggunakan halangan berupa tembok yang dipasang disebelah kanan dan kiri yang membatasi lintasan. Data yang dianalisa adalah berapa jarak yang ditempuh robot dimulai dari titik awal sampai pada titik akhir lokasi (maze). Pengukuran kecepatan robot dan waktu tempuh pada robot diuji dengan cara menghadapkan robot secara tegak lurus, kemudian robot dilepas dengan kecepatan yang diatur. Diuji dengan cara merubah variabel kecepatan pada setiap kali pengukuran. Pada pengujian pergerakan robot, dilakukan percobaan sebanyak 10 kali. Pengukuran jarak posisi awal robot terhadap dinding tidak boleh terlalu jauh, ditentukan maksimal 30 cm. Hal tersebut dikarenakan gerakan robot yang cenderung berusaha mendekati dinding, sehingga harus ada jarak yang cukup untuk bisa menentukan pergerakan sesuai dinding yang ada. Ada juga batasan bahwa posisi awal robot sebelum bergerak dalam keadaan tegak lurus dari dinding.

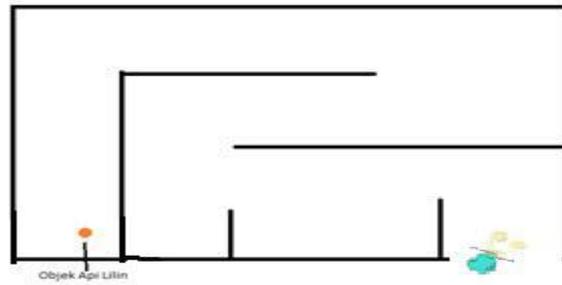
Berikut ini denah lokasi jalur (maze) untuk pengukuran gerak pada robot dari aspek jarak tempuh serta waktu tempuh yang dicapai oleh robot.



Gambar 8. Denah jalur pengujian gerak robot

Diatas adalah peta (maze) perjalanan yang dibuat tanpa memperhitungkan adanya halangan yang muncul ditengah jalan. Bila tidak ada halangan, maka robot hanya akan berada pada kondisi *tracking* dan *docking*. Bila ditengah jalan ada halangan, maka robot akan berada pada kondisi *obstacle avoidance*, untuk menghindari adanya halangan.

Pengujian juga dilakukan untuk mengetahui performa sistem kontroler PID. Dalam pengujian ini parameter-parameter Kp, Ki dan Kd dilakukan proses tuning yang diimplementasikan pada robot dalam mengikuti sisi dinding lintasan sebelah kanan. Arena pengujian dan jalur pergerakan robot ditunjukkan pada Gambar 9.

Gambar 9. Ilustrasi Pergerakan Robot (*Follow Kanan*)

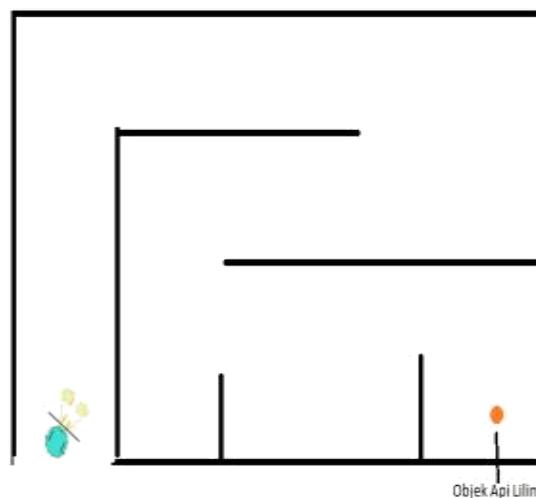
Pada pengujian dengan jalur diatas, Robot diletakan pada posisi awal (S). Dari pengujian didapatkan data sebagaimana pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Robot Mengikuti Dinding Kanan

PENGUJIAN	JUMLAH	LAMA	HASIL
1	2	38	Robot Berhasil Mengikuti Dinding, Memotong Satu Ruang
2	0	33	Robot Berhasil Mengikuti Dinding
3	1	36	Robot Berhasil Mengikuti Dinding, Memotong Satu Ruang
4	0	34	Robot Berhasil Mengikuti Dinding
5	0	30	Robot Berhasil Mengikuti Dinding

Dari aktifitas pengujian disimpulkan bahwa robot *wall follower* berhasil membuat keputusan pergerakan yang diinginkan (berhasil) dengan menggunakan kontroler PID. Robot berhasil mengikuti jalur yang ditentukan dengan mengikuti dinding sebelah kanan tanpa benturan.

Pengujian robot mengikuti dinding kiri, dilakukan pada arena pengujian dan ilustrasi jalur pergerakan seperti ditunjukkan pada Gambar 10.

Gambar 10. Ilustrasi Pergerakan Robot (*Follow Kiri*)

Tabel 5. Hasil Pengujian Robot Mengikuti Dinding Kiri

PENGUJIAN	JUMLAH	LAMA	HASIL
1	0	30	Robot Berhasil Mengikuti Dinding
2	1	34	Robot Berhasil Mengikuti Dinding, Memotong Satu Ruang
3	1	33	Robot Berhasil Mengikuti Dinding, Memotong Satu Ruang
4	0	26	Robot Berhasil Mengikuti Dinding
5	0	28	Robot Berhasil Mengikuti Dinding

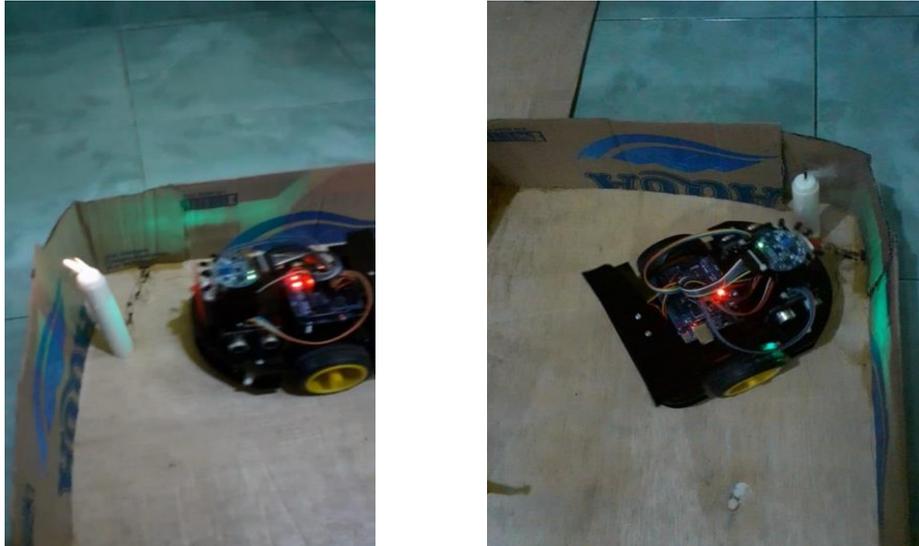
Pengujian memberikan hasil bahwa robot *wall follower* dapat membuat keputusan pergerakan yang dibutuhkan untuk mengikuti dinding sebelah kiri. Performa sistem kontroler PID untuk mengikuti sisi dinding kanan maupun kiri berfungsi dengan baik. Pengujian keseluruhan yang dilakukan baik pengujian mengikuti dinding kanan dan pengujian mengikuti dinding kiri mendapatkan kemiripan hasil. Hal tersebut bisa terjadi karena pada perancangan algoritma dan program pengontrolan gerak robot menggunakan aturan aturan dan fungsi keanggotaan yang sama.

Dari data yang didapat dari pengujian terlihat bahwa respon dari robot tidak terlalu lambat. Terbukti dari pengukuran waktu tempuh dibandingkan jarak tempuh tidak terlalu jauh dari batas perubahan kecepatan normal. Hasil analisa data pengukuran diatas menyimpulkan bahwa penerapan sensor pada robot pemadam api lilin, lebih efektif dalam mengukur jarak tempuh.

Foto ilustrasi robot dapat dilihat pada gambar 11 di bawah ini.



Gambar 11. Photo Ilustrasi Robot



Gambar 12. Foto Ilustrasi Robot

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Ada beberapa kesimpulan yang didapatkan dari pengujian sistem serta pengamatan gerakan robot, yaitu:

- 1) Robot cerdas pemadam api telah berhasil dirancang dan dibuat dengan menggunakan mikrokontroler Arduino dengan sistem penggerak berupa roda dan kipas yang menggunakan motor DC dan dilengkapi dengan beberapa sensor seperti sensor Sonar sebanyak 3 buah dan flame sensor sebanyak 5 buah. Keseluruhan sistem ini saling terintegrasi sehingga salah satu terganggu/error maka robot tidak akan berfungsi dengan baik.
- 2) Hasil pengujian sensor Sonar memiliki nilai yang tetap sehingga pada saat percobaan robot dapat berjalan dengan normal dan memiliki kecepatan yang baik. Robot *wall follower* dapat bermanuver dengan responseive, aman dan halus, antara lain karena kontroler PID pada robot *wall follower* telah mendukung pergerakan robot.
- 3) Hasil pengujian flame sensor menunjukkan bahwa keberadaan api dapat dideteksi apabila suhu telah mencapai 50°C keatas.
- 4) Pengujian dan pengukuran unjuk kerja robot cerdas menghasilkan kesimpulan bahwa misi mendeteksi api dengan flame sensor dan sonar, kemudian memadamkan api menggunakan kipas yang digerakkan oleh motor DC, membutuhkan waktu rata-rata 8,8 detik.

Saran yang dapat diberikan untuk mendapatkan nilai yang efektif dari alat ini, antara lain:

- 1) Sebaiknya sensor sonar dipasang pada tempat yang sesuai dengan besarnya body robot, dengan memperhatikan jarak sensor.
- 2) Untuk meningkatkan performansi robot, akan lebih baik jika digunakan sensor sonar yang lebih tinggi kualitasnya, yaitu sensor yang dapat membaca suhu sampai diatas 100°C.
- 3) Bagian depan robot sebaiknya didesain lebih berat, sehingga jika kecepatan ditingkatkan robot tidak terangkat, sehingga penyelesaian misi lebih cepat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. A. Dharmawan, *Mikrokontroler Konsep Dasar dan Praktis*, Malang: UB Press, 2017.
- [2] P. Hidayatullah and K. J. K., *Pemrograman Web Edisi Revisi*, Bandung: Informatika, 2017.
- [3] A. Kadir, *Pemrograman Arduino & Android Menggunakan App Inventor*, Jakarta: PT Elex Media Komputindo, 2017.
- [4] M. F. Wicaksono and Hidayat, *Mudah Belajar Mikrokontroler Arduino*, Bandung: Informatika, 2017.
- [5] Yohandri and Asrizal, *Elektronika Dasar 1: Komponen, Rangkaian, dan Aplikasi*, Jakarta: Kencana, 2016.
- [6] E. Yudaningsy, *Belajar Sistem Kontrol SOAL & PEMBAHASAN*, Malang: UB Press, 2017.
- [7] D. Aribowo and Desmira, "Implementasi Prototype Pembuatan Alat Pemanas Air Berbasis Mikrokontroler," *Jurnal PROSISKO*, vol. 3, no. 2, 2016.
- [8] M. Chanif and I. S. Sarwito, "Analisa Pengaruh Penambahan Kapasitor Terhadap Proses Pengisian Baterai Wahana Bawah Laut," *Jurnal Teknik POMITS*, vol. 3, no. 1, 2014.