

## SISTEM KENDALI KECEPATAN ROBOT MOBIL DENGAN DUA PENGGERAK MOTOR DC BERBASIS ARDUINO

Zuly Budiarmo<sup>1</sup>, Eddy Nurraharjo,<sup>2</sup> Hersatoto Listiyono<sup>3</sup>

Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Stikubank

e-mail: <sup>1</sup>zulybudiarmo@edu.unisbank.ac.id, <sup>2</sup>eddynurraharjo@edu.unisbank.ac.id,

<sup>3</sup>hersatotolistiyono@edu.unisbank.ac.id

### ABSTRAK

*Motor merupakan komponen utama dalam sistem gerak robot. Salah satu komponen dalam kecerdasan robot adalah kemampuan melakukan berbagai jenis pergerakan. Beberapa jenis gerakan robot memerlukan sebuah motor yang mampu melakukan gerakan tersebut dengan cepat dan akurat.*

*Motor dc adalah sebuah pelatan elektrik yang bekerja karena adanya arus listrik. Arus listrik akan mengalir melalui sebuah kumparan yang berfungsi membangkitkan gaya gerak listrik induksi. Dengan adanya GGL induksi akan menggerakkan rotor. Catu daya yang digunakan juga akan mempengaruhi kinerja sebuah motor.*

*Sebuah mikrokontroler mampu mengatur kecepatan motor menggunakan sebuah program. Arduino merupakan jenis mikrokontroler yang dilengkapi dengan fitur-fitur yang dapat digunakan sebagai sistem kendali. Salah satu syarat sistem kendali adalah adanya modul yang berfungsi sebagai media komunikasi antar muka suatu peralatan dengan peralatan lain.*

*Sinyal yang dihasilkan arduino akan diterima oleh modul elektronik sebagai isyarat untuk memberikan daya ke motor dengan polaritas tergantung pada nilai keluaran pin digital Arduino. Terdapat empat titik masukan pada modul driver motor yang bertugas mengatur arah putaran motor. Sedangkan kecepatan motor dc diatur dengan memberikan nilai delay time pada program. Delay time adalah sebuah nilai yang berfungsi mengatur waktu pin digital dalam menghasilkan kondisi HIGH atau LOW.*

**Kata Kunci :** *Arduino, motor DC, sistem kendali*

### 1. PENDAHULUAN

Motor DC merupakan komponen utama dalam sistem gerak robot. Salah satu komponen dalam kecerdasan robot adalah kemampuan melakukan berbagai jenis pergerakan. Beberapa jenis gerakan robot seperti maju, mundur gerak melingkar, membelok, berputar dan lainnya memerlukan sebuah motor yang mampu melakukan gerakan tersebut dengan cepat dan akurat.

Agar sebuah motor DC dapat bekerja dengan kecepatan tertentu, diperlukan sebuah peralatan yang mampu mengatur kecepatan dengan baik. Sebuah rangkaian elektronika modern telah dikembangkan dengan menggunakan operasi sistem digital, yang menggunakan sinyal dan besaran digital dalam memberikan *trigger* maupun menghasilkan sinyal yang dapat digunakan sebagai masukan untuk mengendalikan peralatan yang bekerja secara digital maupun analog.

Catu daya dari motor DC adalah berupa arus searah dengan tegangan dan arus tertentu. Terdapat berbagai macam jenis struktur motor DC yang disesuaikan dengan penggunaannya. Secara umum cara kerja motor DC adalah mengubah energi listrik menjadi gaya gerak listrik melalui kumparan dan magnet. Dengan demikian besaran yang diperlukan untuk menggerakkan motor DC adalah besaran analog.

Dalam robotika motor DC digunakan untuk menggerakkan robot sedemikian rupa sehingga robot dapat bergerak sesuai dengan yang diinginkan. Selain bergerak secara lurus, robot mobil juga dituntut dapat bergerak melingkar, berputar ataupun berkelok. Kecepatan adalah salah satu parameter yang harus diperhatikan dalam melakukan gerakan-gerakan tersebut. Pada sebuah robot mobil minimal terdapat dua buah motor DC yang digunakan sebagai penggerak roda. Sedangkan roda yang lain sebagai roda statis yang dapat bergerak mengikuti roda yang lain.

Dengan mengatur kecepatan roda sisi kiri dan sisi kanan, maka akan dihasilkan gerakan membelok, berputar atau gerakan melingkar yang lain. Jika kecepatan roda sisi kiri lebih cepat daripada kecepatan roda sebelah kanan, maka robot akan berbelok ke kanan. Sebaliknya jika kecepatan roda sisi kanan lebih cepat daripada roda sisi kiri maka robot akan berbelok ke arah kiri. Perbandingan kecepatan antara roda kiri dan roda kanan akan menghasilkan sudut putar yang berbeda-beda.

Mikrokontroler yang mewakili suatu figur sistem kendali modern telah dikemas hanya dengan mengimplementasikan sebuah *chip* / rangkaian terpadu, yang kemudian berkembang hingga penggunaan memori dan processor beserta elemen pendukungnya seperti register, *AT command*, *I/O system*, dan lain sebagainya. Bahkan hingga pada saat ini, mikrokontroler telah dikemas dalam sebuah modul aktif kit yang

sangat kecil. Dengan semakin kecilnya ukuran mikrokontroler akan semakin mudah untuk diterapkan pada perangkat lain dengan ukuran yang kecil pula, karena bisa menghemat tempat pada modul.

Perancang sebuah sistem kendali menjadi lebih tertantang dengan hadirnya kemampuan untuk *programming*, sehingga perancang dapat dengan lebih leluasa membuat bentuk maupun model sistem kendali. Kemampuan modul yang bervariasi dengan berbagai aksesorisnya yang siap pakaipun telah meningkatkan keinginan lebih lanjut dalam keberagaman modul berbasis Arduino.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Menurut Eddy Nuraharjo [1] Penggunaan dasar sistem terpadu aplikasi dalam sistem robotika dengan menggunakan IC mikrokontroler AT89S52 yang memiliki kapasitas 8 kilobyte memori mampu memberikan beberapa tempat memori untuk program-program yang berisi ‘kecerdasan dasar buatan’, bisa menggunakan bahasa C atau bahasa *assembler*, bagi ‘robot’ untuk menentukan pergerakan arah dan manuver cerdas sebagai bentuk eksekusi terhadap kejadian yang ditentukan pada kondisi jalur yang ada dengan bantuan rangkaian sensor *infra red*. Sebuah simulasi robot dalam penelitian ini menggunakan mobil konvensional yang diharapkan dapat memiliki ‘kecerdasan buatan’ dengan memantau kondisi jalur yang akan dilaluinya, dan mampu melakukan ‘manuver cerdas’ sesuai dengan keadaan jalur tersebut.

Sensor tersebut akan memberikan informasi kepada sistem robot, kemudian oleh perangkat prosesor atau controll informasi tersebut diolah, yang nantinya dijadikan sebagai acuan dalam melakukan pergerakan selanjutnya. *Self Running* dapat dikategorikan lagi menjadi dua jika dilihat dari tingkat kecerdasan robot tersebut, yakni robot dengan kecerdasan buatan dan tanpa kecerdasan buatan. Robot dengan kecerdasan buatan memiliki maksud bahwa robot tersebut berkemampuan secara sendiri untuk merespon atau bereaksi didalam kondisi yang tidak ditentukan sebelumnya. Selanjutnya robot dengan tanpa kecerdasan buatan secara keseluruhan tergantung kepada instruksi yang diberikan.

Menurut Zuly Budiarmo, [5] Sensor merupakan sebuah peralatan yang diperlukan untuk mendukung penerapan teknologi digital di berbagai bidang. Karakteristik sensor yang hanya menghasilkan besaran-besaran analog menjadi tantangan tersendiri dalam menerapkan teknologi digital dengan menggunakan sensor. Perubahan Sistem Analog menjadi sistem digital merupakan salah satu hal yang menjadi awal berkembangnya sistem digital. Dengan berubahnya sistem analog menjadi sistem kendali digital maka jenis perangkat yang digunakan juga berubah.

Gerak melingkar[2] adalah sebuah gerakan benda yang bergeak mengelilingi sebuah titik sebagai pusat lingkaran. Kecepatan sebuah benda yang bergerak secara melingkar digambarkan sebagai kecepatan benda menempuh sudut tertentu dalam lingkaran. Terdapat dua jenis gaya yang bekerja pada gerak melingkar terdiri dari gaya sentripetal dan gaya sentripugal. Gaya sentripetal adalah resultan gaya yang bekerja pada benda yang bergerak dengan arah menuju titik pusat, sedangkan gaya sentripugal adalah resultan gaya dengan arah keluar lingkaran.

Salah satu contoh gerak melingkar adalah gerakan mobil yang membelok di sebuah tikungan. Perbandingan kecepatan sentripetal dan sentripugal akan menentukan keseimbangan dari mobil tersebut. Jika gaya sentripetal lebih besar dari gaya sentripugal maka mobil akan terguling. Pada umumnya sebuah jalan pada sebuah tikungan akan dibuat miring untuk menjaga keseimbangan. Kecepatan sebuah benda yang bergerak melingkar merupakan perbandingan antara besarnya sudut yang ditempuh per satuan waktu.

Motor DC adalah sebuah peralatan elektrik yang bekerja karena adanya arus listrik. Arus listrik akan mengalir melalui sebuah kumparan yang berfungsi membangkitkan gaya gerak listrik (GGL) induksi. Dengan adanya GGL induksi akan menggerakkan rotor. Kecepatan putaran motor dc tergantung besarnya diameter magnet dan kumparan.[3] Catu daya yang digunakan juga akan mempengaruhi kinerja sebuah motor DC.

## 3. METODE PENELITIAN

### 3.1 Cara Kerja Sistem Kendali

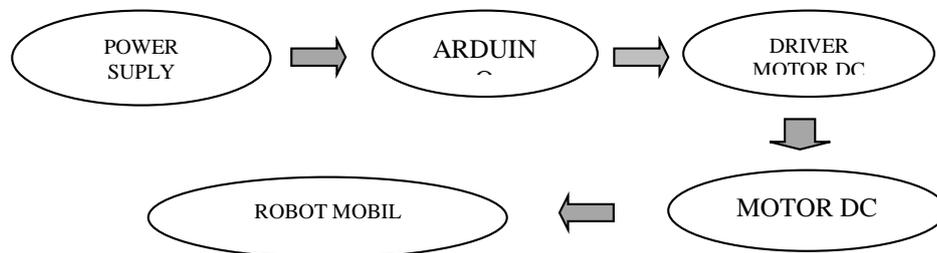
Sistem kendali mobil robot dengan 2 penggerak motor DC adalah sebuah sistem kendali yang dapat mengendalikan arah dan kecepatan gerakan sebuah robot mobil. Fungsi utama sistem kendali adalah untuk mengatur kecepatan putaran motor DC. Dengan menggunakan mikrokontroler yang sudah diprogram sedemikian rupa sehingga dapat mengatur kecepatan putaran motor DC sesuai dengan nilai yang dikehendaki. Besarnya kecepatan putar akan mempengaruhi kecepatan roda penggerak, dan kecepatan roda penggerak akan mempengaruhi arah gerakan mobil robot.

Sistem kendali motor DC merupakan bagian utama dalam rancangan sistem yang dibuat pada penelitian ini. Motor DC adalah sebuah peralatan elektrik yang bekerja karena adanya arus listrik. Arus listrik akan mengalir melalui sebuah kumparan yang berfungsi membangkitkan gaya gerak listrik (GGL)

induksi. Dengan adanya GGL induksi akan menggerakkan rotor. Kecepatan putaran motor dc tergantung besarnya diameter magnet dan kumparan. Catu daya yang digunakan juga akan mempengaruhi kinerja sebuah motor DC.

Dengan menggunakan sebuah mikrokontroler kecepatan motor DC dapat diatur dengan menggunakan sebuah program yang diupload ke dalam mikrokontroler. Salah satu mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino. Bahasa pemrograman yang digunakan dalam Arduino adalah bahasa C. Arduino dilengkapi dengan fitur-fitur yang dapat digunakan sebagai sistem kendali. Salah satu syarat sistem kendali adalah adanya modul I/O yang berfungsi sebagai media komunikasi antar muka suatu peralatan dengan peralatan lain. Modul I/O berisi A/D converter dan D/A converter yang berfungsi sebagai pengubah sinyal analog menjadi sinyal digital. Sinyal yang berasal dari piranti yang menghasilkan besaran analog seperti tegangan dan arus tidak dapat diolah oleh mikrokontroler Untuk mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital atau sebaliknya Arduino dilengkapi dengan A/D converter dan D/A converter.

Motor DC merupakan peralatan yang bekerja secara analog, sedangkan Arduino merupakan perangkat yang bekerja dengan sistem digital. Sinyal yang dihasilkan oleh Arduino sebagai isyarat untuk putaran motor DC berupa sinyal digital. Agar sinyal dari arduino dapat digunakan untuk mengendalikan putaran motor DC digunakan peralatan elektronik lain yang disebut driver motor DC. Blok diagram sistem kendali motor DC dapat dilihat pada gambar 1



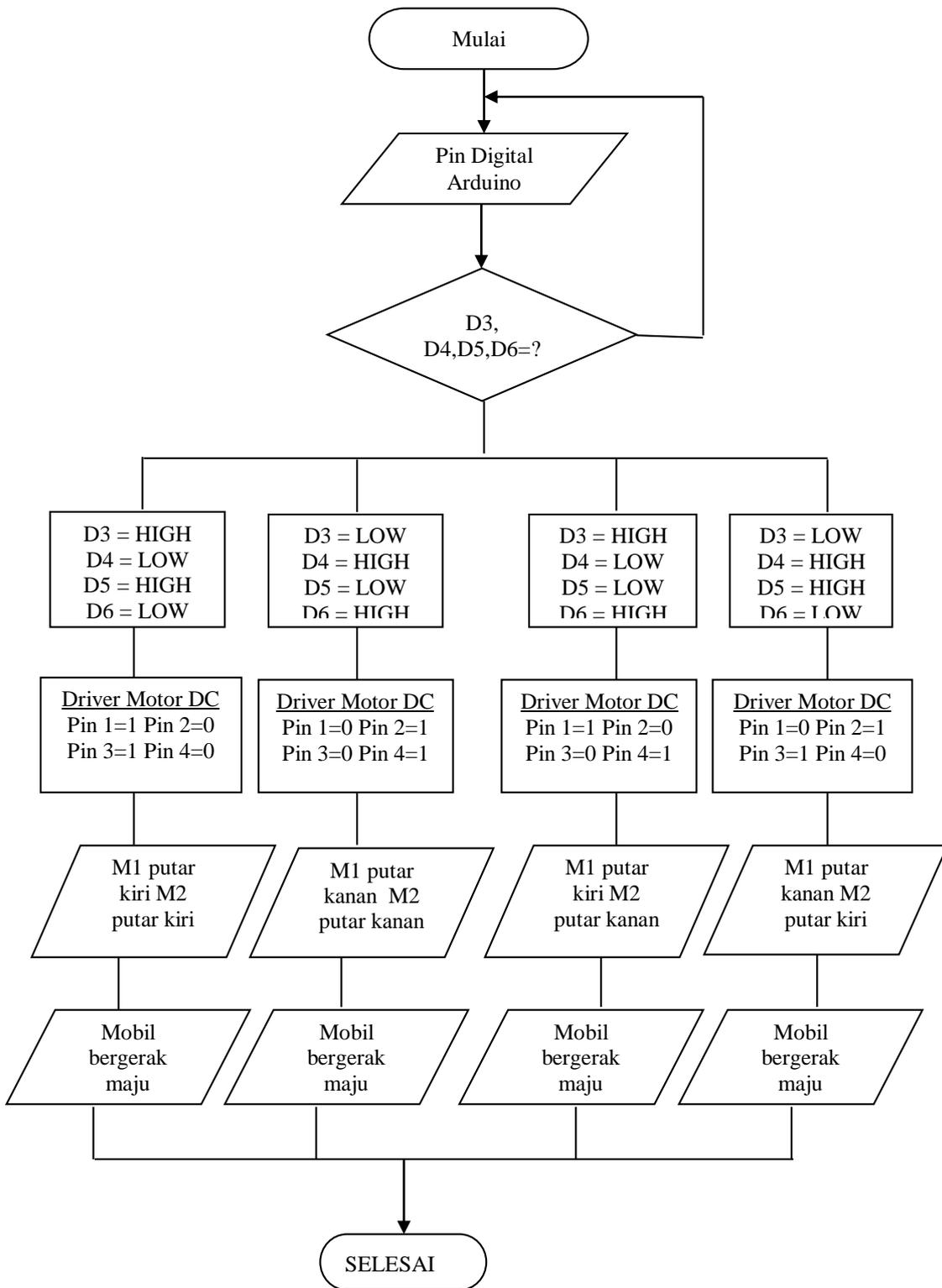
Gambar 1. Blok Diagram Sistem Kendali

Cara kerja sistem kendali gerakan robot mobil dengan 2 penggerak motor DC dapat dilihat pada diagram alir pada gambar 2. Program utama yang dimasukkan pada arduino adalah berupa sinyal yang digunakan sebagai triger untuk menggerakkan motor DC.

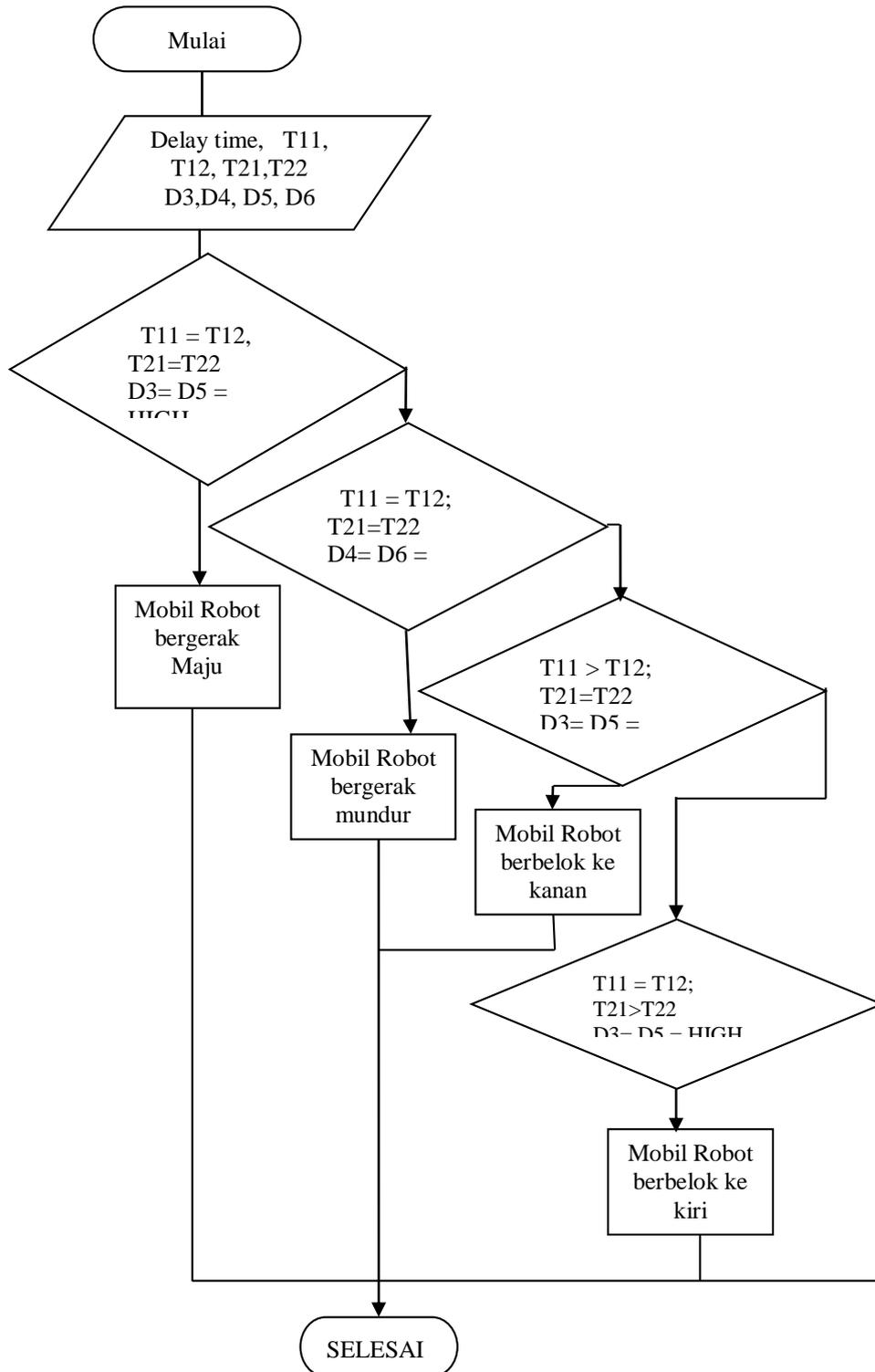
Proses utama yang terjadi dalam sistem kendali adalah mengatur kondisi pin-pin digital yang akan dijadikan sebagai triger untuk memicu motor DC. Pada penelitian ini yang digunakan sebagai triger adalah pin Digital 3,4,5 dan 6 ( D3, D4, D5, D6) pada Arduino. Karena yang digunakan adalah pin digital maka nilai yang dihasilkan sebagai hasil dari proses adalah berupa besaran digital, yaitu "HIGH" dan "LOW". Dalam keadaan HIGH tegangan pada titik pin adalah  $\pm 5$  volt, sedangkan pada keadaan LOW tegangan  $\pm 2$  volt.

Sinyal yang berasal dari pin digital arduino masuk ke driver motor DC untuk diproses menjadi daya yang dapat menggerakkan motor DC. Driver motor DC adalah sebuah rangkaian elektronik yang berfungsi mengubah besaran digital menjadi besaran analog. Sinyal yang berasal dari pin digital arduino dijadikan sebagai triger untuk menggerakkan motor DC. Driver motor DC mempunyai 4 (empat) buah pin sebagai masukan dan empat buah keluaran. Pin-pin masukan digunakan untuk mengatur gerakan 2 buah motor DC. Sepasang motor DC dihubungkan dengan 2 buah keluaran pada driver motor DC yang berfungsi sebagai catu daya positif dan negatif. Polaritas catu daya tergantung pada sinyal masukan dari arduino.

Dengan mengatur polaritas motor DC akan dihasilkan dua arah putaran yaitu putaran searah jarum jam dan berlawanan arah jarum jam. Akibat dari perubahan arah putaran adalah perubahan arah gerakan mobil, yaitu maju, mundur, putar kiri dan putar kanan.



Gambar 2. Diagram Alir Sistem Kendali Arah Putaran Motor DC



Gambar 3. Diagram Alir Sistem Kendali Kecepatan Robot Mobil

Proses yang digambarkan diagram alir pada gambar 3. hanya mengendalikan arah putaran saja. Kecepatan motor DC yang menggerakkan robot mobil adalah konstan. Untuk gerakan maju dan mundur dengan kecepatan tetap tidak terlalu berpengaruh terhadap keseimbangan robot mobil. Tetapi untuk gerakan

memutar faktor keseimbangan harus diperhitungkan. Bila kecepatan terlalu besar akan menyebabkan robot mobil tergelincir atau terbalik. Karena gaya sentripetal lebih besar daripada gaya sentripugal. Dengan kecepatan putaran motor DC standar yaitu  $\pm 200$  rpm maka robot mobil akan sulit dikendalikan pada saat membelok.

Robot mobil yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan dua buah motor DC sebagai penggerak roda, dan satu buah roda sebagai *follower*. Dengan menggunakan program pada Arduino kecepatan motor DC dapat dikendalikan. Proses kendali kecepatan motor DC digambarkan pada diagram alir gambar 5.5.

Pengaturan kecepatan motor DC sebagai penggerak robot mobil dilakukan dengan mengatur *delay time* pada program yang dibuat dengan arduino. Sebuah motor DC akan berputar bila ada catu daya yang bekerja pada kumparnya. Catu daya yang diberikan pada motor DC diatur oleh sinyal yang berasal dari pin digital arduino. Frekuensi sinyal yang dihasilkan oleh arduino diatur melalui nilai *delay time*. Semakin tinggi nilai *delay time* frekuensi semakin kecil demikian sebaliknya dan semakin kecil frekuensi sinyal. Akibatnya respon yang diterima oleh driver motor DC semakin cepat, dan motor DC akan berputar lebih cepat. Sehingga dapat dikatakan bahwa motor DC akan berputar berdasarkan frekuensi pulsa-pulsa digital yang dihasilkan oleh arduino, dan frekuensi pulsa diatur melalui program.

Sistem kendali yang dirancang menggunakan 2 buah motor DC sebagai penggerak roda robot mobil yang dipasang pada sisi kiri dan sisi kanan. Sedangkan sebuah roda dipasang di bagian belakang mobil robot yang berfungsi menjaga keseimbangan. Bila nilai *delay time* kondisi HIGH (T1) dan LOW (T2) berbeda, maka kecepatan motor DC akan berubah. Jika selisih antara T1 dan T2 akan mempengaruhi kecepatan motor DC.

Sistem kendali yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat utama yang digunakan di dalam sistem kendali terdiri dari Arduino UNO R3, robot mobil 3 roda dengan menggunakan 2 motor DC sebagai penggerak roda, dan Driver motor DC. Rangkaian perangkat keras yang digunakan dalam sistem kendali secara keseluruhan digambarkan pada gambar 5.6.

Arduino berfungsi sebagai prosesor, modul driver motor DC yang mampu mengendalikan beban induktif seperti relay dan motor DC. Motor DC yang digunakan adalah motor DC standar yang sering digunakan pada *smart car* robot. Kemampuan motor DC jenis ini bisa berputar dua arah, searah jarum jam dan berlawanan jarum jam tergantung polaritas sumber daya yang dimasukkan.

Perangkat utama sistem kendali adalah arduino uno yang berfungsi sebagai pengendali kecepatan dan arah putaran motor DC melalui sebuah program. Keluaran dari arduino adalah berupa pulsa-pulsa digital yang menjadi masukan pada modul driver motor DC.

Keluaran yang dihasilkan oleh pin digital adalah besaran digital, yaitu HIGH (1) atau LOW(0) yang dihasilkan secara terus menerus dengan periode tertentu sehingga membentuk rangkaian kombinasi bit-bit 0 dan 1 seperti sinyal-sinyal digital yang berkelompok dengan periode tertentu membentuk sebuah pulsa digital.

Modul driver motor DC yang digunakan adalah modul dengan IC L298, merupakan sebuah IC tipe H-bridge yang mampu mengendalikan beban-beban induktif seperti relay, solenoid, motor DC dan motor stepper. Pada IC L298 terdiri dari transistor-transistor logic (TTL) dengan gerbang nand yang berfungsi untuk memudahkan dalam menentukan arah putaran suatu motor dc maupun motor stepper. Kelebihan akan modul driver motor L298N ini yaitu dalam hal kepresisian dalam mengontrol motor DC.

Sinyal yang dihasilkan arduino akan diterima oleh modul driver motor DC sebagai isyarat untuk memberikan daya ke motor DC dengan polaritas tergantung pada nilai keluaran pin digital Arduino. Terdapat empat titik masukan pada modul driver motor DC yang bertugas mengatur putaran 2 buah motor DC. Dua titik masukan digunakan untuk mengatur polaritas putaran sebuah motor DC, sehingga 4 buah titik masukan modul motor DC dibedakan menjadi 2 tugas yang berbeda. Dalam penelitian ini pin D3 dan D4 untuk motor dc kiri dan pin D5 dan D6 untuk mengatur motor DC sebelah kanan. Syarat nilai masukan pada sepasang modul motor DC tidak boleh bernilai sama. Nilai dari 2 titik masukan harus berbeda, karena motor DC hanya bisa bergerak karena adanya perbedaan polaritas, sehingga keluaran dari arduino yang menjadi masukan sepasang titik modul driver motor DC harus berbeda nilainya. Misal, jika D3 = HIGH, maka D4=LOW atau sebaliknya. Demikian juga jika D5 = HIGH, maka nilai D6 = LOW atau sebaliknya.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Pengukuran Tegangan

Hasil pengukuran tegangan pada beberapa titik pengukuran dapat dilihat pada tabel 1.

**Tabel 1. Hasil Pengukuran Tegangan**

No	Titik Pengukuran	Tegangan Saat HIGH ( Volt)	Tegangan Saat LOW ( Volt)
1	Battery ( VCC)	7,59	7,59
2	D3	4,93	1,89
3	D4	4,93	1,91
4	D5	4,92	1,92
5	D6	4,93	1,91
6	Motor kanan	3,41	0
7	Motor kiri	3,41	0

Dari data hasil pengukuran terlihat bahwa tegangan pada pin D3, D4, D5 dan D6 yang terukur sebesar  $\pm 5$  volt dapat digunakan sebagai sinyal masukan pada driver motor DC untuk menggerakkan motor DC. Sedangkan tegangan pada motor DC merupakan tegangan yang dihasilkan oleh rangkaian driver motor DC.

Arduino sebagai mikrokontroler akan berfungsi sebagai pusat kendali gerakan. Program utama yang diupload pada arduino berisi perintah untuk menggerakkan motor DC melalui sinyal digital yang dikeluarkan melalui pin D3, D4, D5 dan D6. Dengan kombinasi nilai-nilai pin D3, D4, D5 dan D6 akan dihasilkan gerakan robot mobil sesuai dengan rancangan.

Parameter yang mempengaruhi kecepatan motor DC adalah nilai *delay time*. Dalam program terdapat 3(tiga) nilai *delay time* yang berfungsi mengatur kecepatan motor DC yang berakibat berubahnya kecepatan robot mobil. Fungsi dari *delay time* adalah mengatur waktu kondisi HIGH dan LOW pin D3, D2, D5 dan D6. Kemungkinan yang terjadi dengan berubahnya nilai *delay time* adalah sebagai berikut :

1. Jika *delay time* untuk kondisi HIGH pin D3 dan D5 sama dengan *delay time* kondisi LOW maka mobil robot akan bergerak lurus maju
2. Jika *delay time* untuk kondisi HIGH pin D4 dan D6 sama dengan *delay time* kondisi LOW maka mobil robot akan bergerak lurus mundur
3. Jika *delay time* untuk kondisi HIGH pin D3 dan D5 tidak sama dengan *delay time* kondisi LOW pada pin D3 maka mobil robot akan maju berbelok ke kiri
4. Jika *delay time* untuk kondisi HIGH pin D3 dan D5 tidak sama dengan *delay time* kondisi LOW pin D5 maka mobil robot akan maju berbelok kanan
5. Jika *delay time* untuk kondisi HIGH pin D4 dan D6 tidak sama dengan *delay time* kondisi LOW pada pin D3 maka mobil robot akan mundur berbelok ke kiri
6. Jika *delay time* untuk kondisi HIGH pin D3 dan D5 tidak sama dengan *delay time* kondisi LOW pin D5 maka mobil robot akan mundur berbelok kanan

Program utama sistem kendali terdiri merupakan program yang implementasi dari rancangan program yang digambarkan dengan diagram alir pada gambar 3.2 dan gambar 3.3. Pada tahap implementasi, dibuat sebuah program yang terdiri dari dua bagian. Bagian pertama merupakan program untuk mengatur arah putaran motor DC, dan bagian kedua berfungsi mengatur kecepatan motor DC.

Arah putaran motor DC dilakukan dengan memberikan sebuah nilai *delay time* di dalam program yang berpengaruh pada waktu berputar dan berhenti pada dua motor DC dengan nilai yang sama. Dalam penelitian ini digunakan *delay time* 1000 untuk waktu berputar dan *delay time* 100 untuk berhenti. Dengan program tersebut motor akan berputar sebesar 1000 satuan dan berhenti sebesar 500 satuan. Sedangkan untuk mengatur kecepatan dilakukan dengan memberikan nilai *delay time* untuk berputar motor kiri dan motor kanan dengan nilai yang sama, dan nilai *delay time* berhenti yang berbeda antara motor kiri dengan motor kanan. Semakin besar selisih *delay time* LOW motor kiri dengan motor kanan semakin besar, maka kecepatan akan semakin lambat dan jari-jari lingkaran akan semakin besar.

## 5 KESIMPULAN

1. Sistem Kendali Kecepatan robot mobil untuk gerakan melingkar dapat dilakukan dengan mengatur selisih *delay time* waktu berputar dan waktu berhenti berputar motor dc.
2. Dengan mengatur perbedaan kecepatan motor DC sisi kiri dan motor DC sisi kanan pada robot mobil dengan dua penggerak akan menyebabkan robot mobil bergerak melingkar.

3. Semakin besar silisih perbedaan delay time motor DC sebelah kiri dan motor DC maka kecepatan berputar motor DC semakin lambat, dan jari-jari lingkaran yang dibentuk akan semakin besar.

Keterbatasan kualitas peralatan yang digunakan menyebabkan hasil yang diperoleh kurang akurat. Sehingga untuk memperoleh hasil yang optimal dilakukan dengan menggunakan peralatan yang tingkat akurasiya lebih tinggi. Diantara peralatan yang perlu dilakukan perbaikan adalah alat ukur kecepatan dan sensor kecepatan yang lebih baik.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Eddy Nuraharjo, 2013, "Sistem Kendali Mobil Robot dengan Menggunakan Mikrokontroler ATMEGA 89S52",
- [2] Francis W. Sears, Mark W. Zemansky, Hugh D. Young ; alih bahasa Sri Jatno Wirjosoedirdjo, Soegeng, 2008, Fisika Untuk Universitas Jilid I, Erlangga Jakarta
- [3] K. Venkateswarlu & Dr. Ch. Chengaiah, 2013, Comparative Study on DC Motor Speed Control using Various Controllers, Global Journals Inc. (USA) Online ISSN: 2249-4596 & Print ISSN: 0975-5861
- [4] T.K. Sethuramalingam and M. Karthighairasan, Automatic Gas Valve Control System using Arduino Hardware, Bonfring International Journal of Power Systems and Integrated Circuits, Vol. 2, No. 3, September 2012
- [5] Zuly Budiarmo, 2015, "Rancang Bangun Sistem Kendali Digital Electrical Stimulator Berbasis Arduino UNO R3".
- [6] Zuly Budiarmo, 2016, "Sistem Kendali Generator Sinyal XR-2206 Berbasis Arduino UNO R3
- [7] <https://www.arduino.cc/>
- [8] <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/HomePage?from=Main.Tutorials>