

LEMBAR PERSETUJUAN

**PERANCANGAN ROBOT TROLI PENGIKUT MANUSIA
OTOMATIS DENGAN METODE KENDALI PID (*PROPORTIONAL
INTEGRAL DERIVATIVE*)**

SKRIPSI

Disusun dan Diajukan Untuk Melengkapi dan Memenuhi Persyaratan
Guna Mencapai Gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

**RADIMAS PUTRA MUHAMMAD DAVI LABIB
NIM. 1212213**

Diperiksa dan Disetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Eng. Aryanto Soetedjo, ST, MT
NIP.P. 1030800417

Ir. Eko Nurcahyo, MT
NIP. Y. 1028700172

**Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1**

M. Ibrahim Ashari, ST, MT
NIP.P. 1030100358

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ELEKTRONIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2016**

ABSTRAK
PERANCANGAN ROBOT TROLI PENGIKUT MANUSIA
OTOMATIS DENGAN METODE KENDALI PID
(*PROPORTIONAL INTEGRAL DERIVATIVE*)

Radimas Putra Muhammad Davi Labib, NIM 1212213
Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Aryuanto Soetedjo. ST, MT dan
Ir. Eko Nurcahyo. MT

Konsentrasi Teknik Elektronika, Jurusan Teknik Elektro S-1
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Nasional Malang
Jl. Raya Karanglo Km.2 Malang
E-mail : radimas21@gmail.com

ABSTRAK

Proses pemindahan barang terjadi setiap harinya. Untuk barang yang tidak berat dan berjumlah sedikit dapat dipindahkan dengan cara diangkat menggunakan tangan, namun bila barang yang dipindahkan itu berjumlah banyak atau berat maka manusia memerlukan alat yang dapat membantu manusia untuk memindahkan barang tersebut. Alat bantu yang biasanya digunakan manusia untuk memindahkan barang adalah troli. Troli merupakan sebuah kereta dorong yang terdiri dari bagian penampung barang dan roda untuk mempermudah proses pemindahan barang.

Pada makalah ini telah direalisasikan suatu robot troli yang dapat bergerak secara otomatis mengikuti manusia. Dalam perancangan sistem menggunakan menggunakan board mikrokontroler Arduino UNO R3 sebagai kontroler, tiga buah sensor jarak ultrasonik untuk mengetahui jarak dan posisi dari pengguna troli, dan dua buah motor DC sebagai penggerak robot troli. Robot troli ini bergerak secara otomatis menggunakan metode kendali PID (Proportional Integral Derivative).

Dari hasil pengujian alat secara keseluruhan, robot troli ini dapat berkerja dengan baik yaitu robot troli ini dapat mengikuti penggunanya secara otomatis.

Kata Kunci : *Robot Troli, Arduno UNO R3, PID, Otomatis.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya sehingga laporan penelitian dengan judul “PERANCANGAN ROBOT TROLI PENGIKUT MANUSIA OTOMATIS DENGAN METODE KENDALI PID (*PROPORTIONAL INTEGRAL DERIVATIVE*)” dapat terselesaikan.

Adapun maksud dan tujuan dari penyusunan laporan penelitian ini sebagai syarat untuk menyelesaikan studi dan mendapatkan gelar Sarjana Jurusan Teknik Elektro, Konsentrasi Teknik Elektronika di Institut Teknologi Nasional Malang.

Penulis menyadari tanpa adanya kemauan dan usaha serta bantuan dari berbagai pihak, maka laporan ini tidak dapat diselesaikan dengan baik. Maka dari itu, penyusun mengucapkan terimakasih kepada yang terhormat:

1. Dr. Ir. Lalu Mulyadi. MT selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Ir. Anang Subardi. MT selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang.
3. M. Ibrahim Ashari. ST, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1 Institut Teknologi Nasional Malang.
4. Dr. Eng. Aryuanto Soetedjo. ST, MT selaku Dosen Pembimbing Satu Skripsi.
5. Ir. Eko Nurcahyo. MT selaku Dosen Pembimbing Dua Skripsi.
6. Sahabat – sahabat dan rekan – rekan yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah membantu baik dari segi teknis maupun dukungan moral dalam menyusun penelitian ini.

Usaha telah penulis lakukan semaksimal mungkin, namun jika ada kekurangan dan kesalahan dalam penyusunan, kami mohon saran dan kritikan yang bersifat membangun untuk menambah kesempurnaan laporan penelitian ini.

Malang, Juli 2016

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	i
ABSTRAK.....	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GRAFIK.....	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan	2
1.4. Batasan Masalah.....	2
1.5. Metodologi	3
1.6. Sistematika Penulisan.....	3
BAB II LANDASAN TEORI.....	5
2.1. Troli.....	5
2.2. Arduino UNO R3	6
2.3. <i>Intergrated Circuit Motor Driver L298</i>	8
2.3.1. Konsep <i>H-Bridge</i>	9
2.3.2. PWM (<i>Pulse Width Modulation</i>)	10
2.3.3. Rangkaian driver motor L298.....	11
2.4. Motor DC	13
2.5. Modul sensor jarak ultrasonik SRF04.....	15
2.6. Kontroler PID (Proportional Integral Derivative).....	16
2.6.1. <i>Proportional</i> (elemen P)	17
2.6.2. <i>Integral</i> (elemen I)	17
2.6.3. <i>Derivative</i> (elemen D)	17
2.7. Robot pengikut manusia.....	18
BAB III PERANCANGAN SISTEM.....	19
3.1. Pendahuluan	19
3.2. Perancangan Sistem	19

3.3.	Prinsip Kerja.....	20
3.4.	Perancangan Mekanik	21
3.5.	Perancangan Perangkat Keras	22
3.5.1.	Perancangan Rangkaian Motor Driver	22
3.5.2.	Pengkabelan	23
3.6.	Perancangan Perangkat Lunak	23
3.6.1.	Pembacaan Data Jarak SRF04	24
3.6.2.	Perancangan Algoritma Sistem Kontrol PID	26
BAB IV PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN SISTEM.....		29
4.1.	Pendahuluan	29
4.2.	Pengujian Sensor Jarak Ultrasonik SRF04	29
4.2.1.	Peralatan yang Diperlukan.....	29
4.2.2.	Langkah – Langkah Pengujian	29
4.2.3.	Hasil Pengujian	30
4.2.4.	Analisa Pengujian	31
4.3.	Pengujian Driver Motor L298.....	34
4.3.1.	Peralatan yang Digunakan	34
4.3.2.	Langkah – Langkah Pengujian	34
4.3.3.	Hasil Pengujian	35
4.3.4.	Analisa Pengujian	37
4.4.	Pengujian Daya Muat Troli.....	46
4.4.1.	Peralatan yang Digunakan	46
4.4.2.	Langkah – Langkah Pengujian	46
4.4.3.	Hasil Pengujian.....	46
4.4.4.	Analisa Pengujian	47
4.5.	Pengujian Kontroler PID.....	48
4.5.1.	Peralatan yang Digunakan	48
4.5.2.	Langkah – Langkah Pengujian	48
4.5.3.	Hasil Pengujian	48
4.5.4.	Analisa Pengujian	52
4.6.	Pengujian Keseluruhan Sistem.....	52
4.6.1.	Peralatan yang Digunakan	52
4.6.2.	Langkah – Langkah Pengujian	52
4.6.3.	Hasil Pengujian	52

4.6.4. Analisa Pengujian	53
4.7 Spesifikasi Alat	54
BAB V_PENUTUP	55
5.1. Kesimpulan	55
5.2. Saran.....	55
DAFTAR PUSTAKA	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 <i>Flatbed Trolley</i>	5
Gambar 2. 2 <i>Stroller</i>	5
Gambar 2. 3 <i>Shopping Cart</i>	6
Gambar 2. 4 Arduino UNO R3 <i>special purpose pinout</i>	7
Gambar 2. 5 Arduino UNO R3 <i>pinout</i>	7
Gambar 2. 6 L298 <i>pinout</i>	8
Gambar 2. 7 Blok diagram L298	9
Gambar 2. 8 Konfigurasi <i>H-Bridge</i>	9
Gambar 2. 9 Variasi presentase Duty Cycle	10
Gambar 2. 10 Gelombang Kotak dengan nilai y_{min} dan y_{max} serta nilai Duty Cycle	10
Gambar 2. 11 Rangkaian Skematik Driver Motor L298	11
Gambar 2. 12 Rangkaian Ekuivalen Motor DC Magnet permanen.....	13
Gambar 2. 13 Penggunaan Transmisi <i>Gear</i> Hubungan Langsung	14
Gambar 2. 14 Modul SRF04 <i>pinout</i>	16
Gambar 3. 1 Diagram Blok Sistem.....	19
Gambar 3. 2 Ilustrasi prinsip kerja bagian 1	20
Gambar 3. 3 Ilustrasi prinsip kerja bagian 2	21
Gambar 3. 4 Desain mekanik bagian atas.....	21
Gambar 3. 5 Desain mekanik bagian bawah.....	22
Gambar 3. 6 Rangkaian driver motor L298.....	22
Gambar 3. 7 Pengkabelan	23
Gambar 3. 8 Flowchart robot troli	24
Gambar 3. 9 Diagram waktu SRF04.....	25
Gambar 3. 10 Flowchart pembacaan data SRF04.....	26
Gambar 3. 11 Flowchart PID	28
Gambar 4. 1 Pengujian Sensor pada Jarak 10 cm.....	30
Gambar 4. 2 Pengujian Sensor pada Jarak 20 cm.....	31
Gambar 4. 3 Pengujian Sensor pada Jarak 30 cm.....	31
Gambar 4. 4 Bentuk Gelombang PWM.....	36
Gambar 4. 5 Tegangan Keluaran Maksimal pada Chanel A	37
Gambar 4. 6 Tegangan Keluaran Maksimal pada Chanel B.....	37
Gambar 4. 7 Berat Robot Troli	47

Gambar 4. 8 Robot Troli..... 54

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Fungsi Pin Kontrol IC L298	12
Tabel 2. 2 Tabel Kebenaran Input 1 dan Input 2 L298.....	12
Tabel 2. 3 Tabel Kebenaran Input 3 dan Input 4 L298.....	13
Tabel 2. 4 Spesifikasi modul sensor jarak ultrasonic HC-SR04.....	16
Tabel 2. 5 karakteristik pengendali PID	18
Tabel 4. 1 Konfigurasi Pin SRF04.....	29
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Sensor Jarak SRF04	30
Tabel 4. 3 Nilai Error Pengujian SRF04 Kiri	32
Tabel 4. 4 Nilai Error Pengujian SRF04 Tengah.....	33
Tabel 4. 5 Nilai Error Pengujian SRF04 Kanan	34
Tabel 4. 6 Konfigurasi Pin driver motor L298	35
Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Arah Putaran Motor.....	35
Tabel 4. 8 Hasil Pengujian PWM pada Motor 1	36
Tabel 4. 9 Hasil Pengujian PWM pada Motor 2.....	36
Tabel 4. 10 Nilai Error Pengujian Duty Cycle pada Chanel A.....	42
Tabel 4. 11 Nilai Error Pengujian Duty Cycle pada Chanel B	42
Tabel 4. 12 Nilai Error Pengujian Tegangan Output pada Chanel A	45
Tabel 4. 13 Nilai Error Pengujian Tegangan Output pada Chanel B	46
Tabel 4. 14 Hasil Pengujian Daya Muat Robot Troli	47
Tabel 4. 15 Hasil Pengujian Keseluruhan Sistem.....	53

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4. 1 $kp = 10$, $ki = 0$, dan $kd = 0$	49
Grafik 4. 2 $kp = 20$, $ki = 0$, dan $kd = 0$	49
Grafik 4. 3 $kp = 100$, $ki = 0$, dan $kd = 0$	49
Grafik 4. 4 $kp = 20$, $ki = 1$, dan $kd = 0$	50
Grafik 4. 5 $kp = 20$, $ki = 2$, dan $kd = 0$	50
Grafik 4. 6 $kp = 20$, $ki = 10$, dan $kd = 0$	50
Grafik 4. 7 $kp = 20$, $ki = 2$, dan $kd = 2$	51
Grafik 4. 8 $kp = 20$, $ki = 2$, dan $kd = 2.5$	51
Grafik 4. 9 $kp = 20$, $ki = 2$, dan $kd = 10$	51

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Proses pemindahan barang terjadi setiap harinya. Untuk barang yang tidak berat dan berjumlah sedikit dapat dipindahkan dengan cara diangkat menggunakan tangan, namun bila barang yang dipindahkan itu berjumlah banyak atau berat maka manusia memerlukan alat yang dapat membantu manusia untuk memindahkan barang tersebut. Alat bantu yang biasanya digunakan manusia untuk memindahkan barang adalah troli. Troli merupakan sebuah kereta dorong yang terdiri dari bagian penampung barang dan roda untuk mempermudah proses pemindahan barang.

Troli memiliki banyak jenis antara lain *flatbed trolley*, *stroller*, dan *shopping cart*. *Flatbed trolley* merupakan troli yang digunakan untuk mengangkut barang dalam sistem pergudangan. *Stroller* merupakan troli yang digunakan untuk mengangkut bayi. *Shopping cart* merupakan troli yang digunakan untuk mengangkut barang belanjaan pada *supermarket* dan *hypermarket*.

Troli umumnya digerakan dengan cara didorong atau ditarik yang berarti masih menggunakan kekuatan manusia. Sebenarnya manusia dapat memanfaatkan troli secara maksimal, yaitu dengan menerapkan sistem robotika terhadap troli agar dapat bergerak tanpa menggunakan kekuatan manusia. Dengan menerapkan sistem robotika maka troli dapat berjalan sendiri dengan cara membuntuti manusia yang berjalan di depannya. Untuk mengkombinasikan sistem robotika terhadap troli maka diperlukan beberapa sensor, sebuah pengontrol, dan beberapa aktuator. Sensor yang digunakan adalah sensor yang dapat mengetahui jarak dan posisi dari manusia yang diikuti oleh troli. Aktuator yang digunakan adalah dua buah motor untuk menggerakkan roda pada troli. Pengontrol yang digunakan adalah sebuah board mikrokontroler Arduino UNO R3 untuk mengendalikan sensor dan aktuator.

Robot troli memerlukan sistem kendali PID (*Proportional Integral Derivative*) untuk menjaga kestabilan navigasi pada robot troli. PID merupakan suatu metode pengontrol yang digunakan untuk menstabilkan suatu sistem^[1].

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diutarakan di atas, maka dapat disimpulkan permasalahan yang diutarakan dalam penulisan skripsi ini, yaitu :

1. Bagaimana merancang sebuah robot troli yang dapat berjalan mengikuti manusia menggunakan beberapa sensor dan aktuator yang dikendalikan oleh board mikrokontroler Arduino UNO R3?
2. Bagaimana menerapkan sistem kontrol PID (*Proportional Integral Derivative*) ke dalam program ARDUINO?

1.3. Tujuan

Tujuan dari perancangan dan pembuatan robot troli ini adalah membuat robot troli yang dapat bergerak mengikuti manusia secara otomatis menggunakan metode PID untuk memudahkan proses pemindahan barang yang dilakukan oleh manusia.

1.4. Batasan Masalah

Agar tidak terjadi penyimpangan, maksud dan tujuan utama penyusunan skripsi ini maka perlu diberikan batasan masalah, antara lain:

1. Desain dari troli yang dirancang dalam skripsi merupakan jenis *flatbed trolley*;
2. Saat pengujian hanya ada satu buah robot troli dan satu orang yang diikuti;
3. Lokasi Pengujian berada di tempat yang luas;
4. Berat total robot troli dan beban tidak melebihi nilai maksimum torsi dari motor gearbox;
5. Kecepatan jalan manusia tidak melebihi kecepatan maksimum robot troli;
6. Robot tidak dilengkapi dengan sensor kecepatan, sehingga kecepatan pasti dari robot tidak diketahui;
7. Medan yang dilalui oleh robot merupakan medan yang datar;
8. Pemodelan matematis dari sistem tidak diketahui sehingga proses tuning parameter dari kontrol PID dilakukan secara *trial and error* tanpa menggunakan simulasi perhitungan.

1.5. Metodologi

Metode yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini adalah:

1. Studi literatur

Mencari referensi–referensi yang berhubungan dengan perencanaan dan pembuatan alat yang akan dibuat.

2. Perancangan alat

Sebelum melaksanakan pembuatan terhadap alat, dilakukan perancangan terhadap alat yang meliputi merancang rangkaian setiap blok, serta penalaran metode yang digunakan.

3. Pembuatan alat

Pada tahap ini realisasi alat yang dibuat, dilakukan perakitan sistem terhadap seluruh hasil rancangan yang telah dibuat.

4. Pengujian alat

Untuk mengetahui cara kerja alat, maka dilakukan pengujian secara keseluruhan, dan menganalisa hasil pengujian alat untuk membuat kesimpulan.

1.6. Sistematika Penulisan

Untuk mendapatkan arah yang tepat mengenai hal-hal yang akan dibahas maka dalam skripsi ini disusun sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Memuat tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, metodologi, dan sistematika penulisan.

BAB II : KAJIAN PUSTAKA

Membahas tentang dasar teori mengenai permasalahan yang berhubungan dengan penelitian.

BAB III : PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Membahas tentang perencanaan dan proses pembuatan meliputi perencanaan, pembuatan alat, cara kerja dan penggunaan alat.

BAB IV : PENGUJIAN DAN ANALISA

Menjelaskan hasil analisa dari proses pengujian pada alat yang telah dibuat.

BAB V: PENUTUP

Berisi tentang semua kesimpulan yang berhubungan dengan penulisan skripsi, dan saran yang digunakan sebagai pertimbangan dalam pengembangan program selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Troli

Menurut KBBI (Kamus Besar Bahasa Indonesia), troli memiliki arti kereta dorong^[2]. Pada penelitian ini, troli merupakan sebuah alat bantu berupa kereta dorong yang berfungsi untuk membantu manusia dalam proses pemindahan satu barang atau lebih.

Troli memiliki banyak jenis yaitu *flatbed trolley*, *stroller*, dan *shopping cart*. *Flatbed trolley* merupakan troli yang digunakan untuk mengangkut barang dalam sistem pergudangan. *Stroller* merupakan troli yang digunakan untuk mengangkut balita. *Shopping cart* merupakan troli yang digunakan untuk mengangkut barang belanjaan pada *supermarket* dan *hypermarket*.



Gambar 2. 1 *Flatbed Trolley*



Gambar 2. 2 *Stroller*



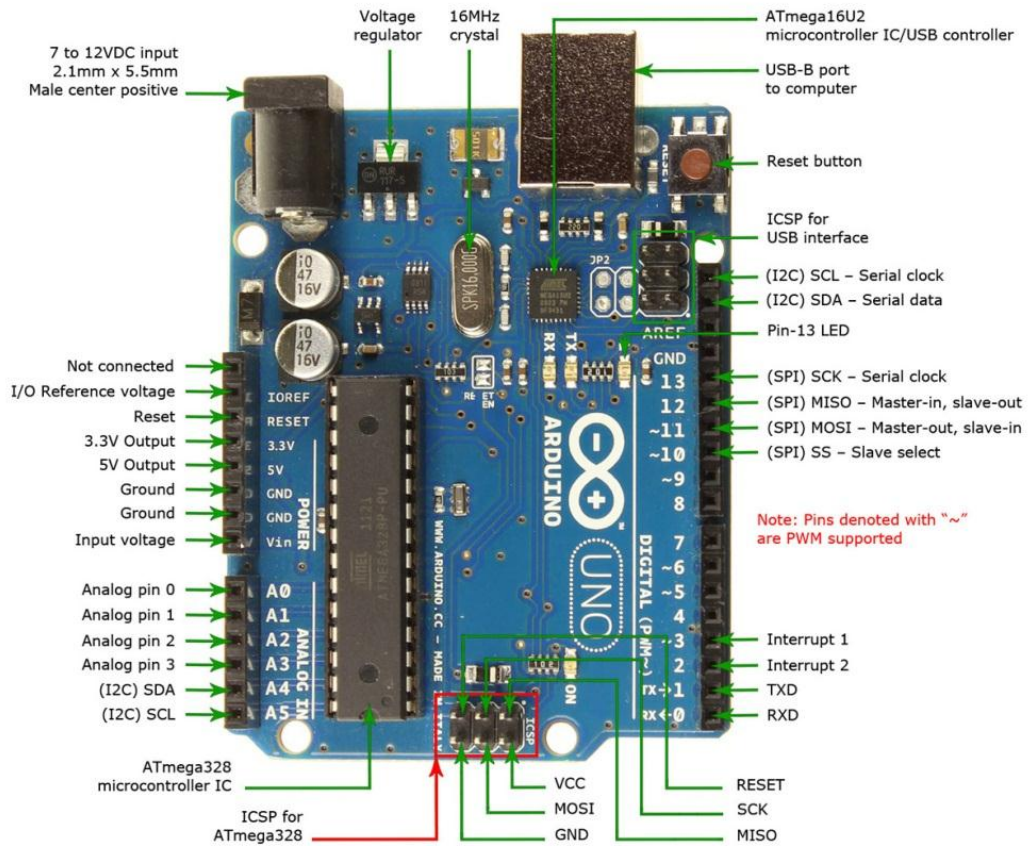
Gambar 2. 3 *Shopping Cart*

2.2. **Arduino UNO R3**^[3]

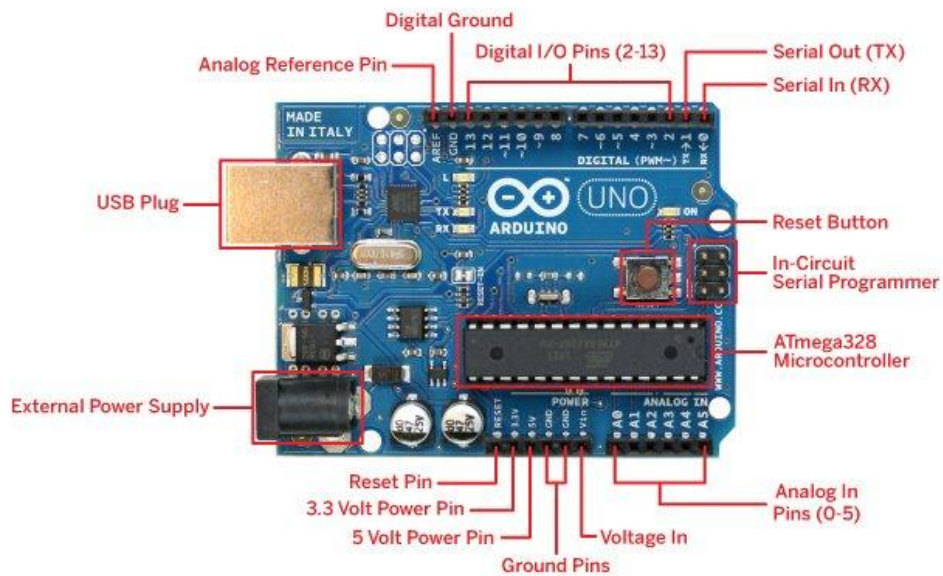
Arduino UNO R3 merupakan sebuah papan modul mikrokontroler ATmega328. Arduino UNO R3 mempunyai 14 pin *digital input/output* (6 di antaranya dapat digunakan sebagai *output Pulse Width Modulation*), 6 *input analog*, sebuah osilator Kristal 16 MHz, sebuah koneksi USB, sebuah power jack, sebuah ICSP header, dan sebuah tombol reset. Arduino UNO R3 dapat dihubungkan dengan PC (*Personal Computer*) melalui kabel USB^[2].

Spesifikasi Arduino UNO R3 :

- Mikrokontroler : ATmega328
- Tegangan kerja : 5 Volt
- Tegangan *Supply* : 7 – 12 Volt
- Jumlah pin *I/O digital* : 14 pin (6 pin di antaranya menyediakan keluaran *Pulse Width Modulation*)
- Jumlah pin *input analog* : 6 pin
- Arus *DC* tiap pin *I/O* : 40 mA (maksimal)
- Memori *Flash* : 32 KB (0,5 KB *bootloader*)
- *SRAM* : 2 KB
- *EEPROM* : 1 KB
- *Clock Speed* : 16 MHz



Gambar 2. 4 Arduino UNO R3 *special purpose pinout*



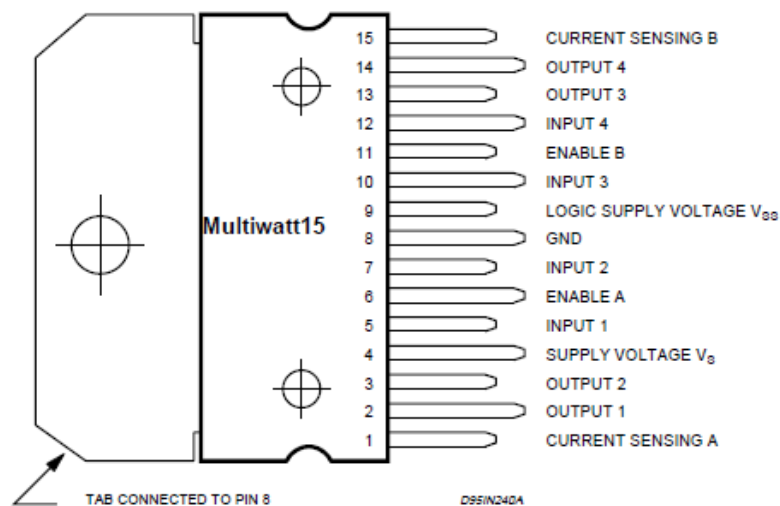
Gambar 2. 5 Arduino UNO R3 *pinout*

2.3. *Intergrated Circuit Motor Driver L298*^[4]

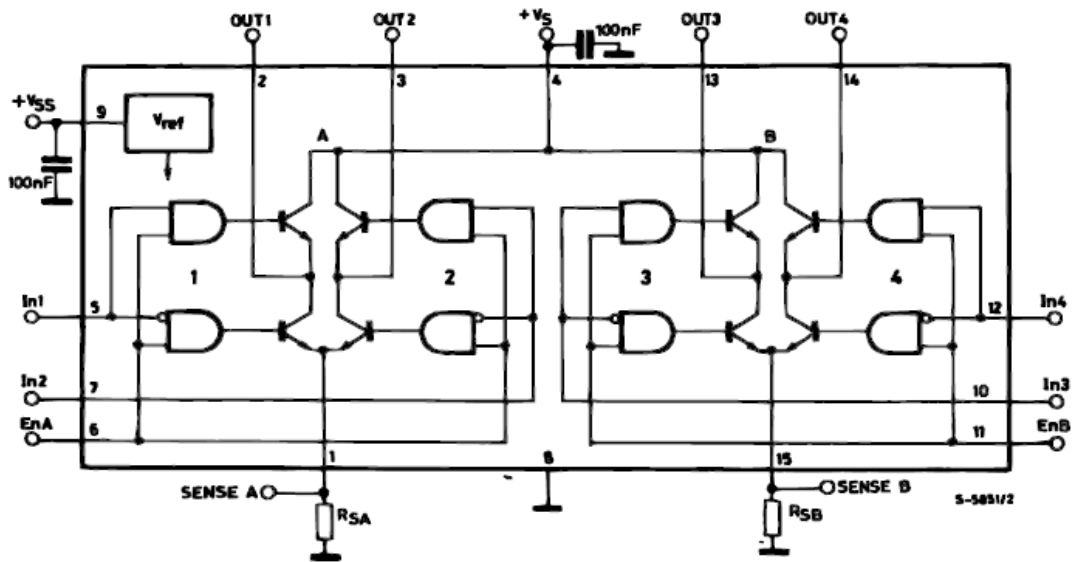
Penggunaan driver motor diperlukan sebagai penguat arus yang keluar dari mikrokontroler hal itu dikarenakan arus yang keluar dari port mikrokontroler saat kondisi high IOH = 20 mA sehingga dengan adanya Driver motor L298 maka arus kecil yang keluar dari mikrokontroler dapat menggerakkan motor DC. IC L298 merupakan driver H-Bridge yang didesain untuk menghasilkan drive 2 arah dengan arus kontinyu sampai dengan 2 A pada level tegangan 4.8 Volt sampai dengan 46 Volt. Tiap H-Bridge dilengkapi dengan sensor arus beban yang dapat digunakan sebagai umpan balik ke pengendali (kontroler). IC Driver L298 Ini mampu men-drive beban-beban induktif seperti misalnya relay, selenoida, motor DC, motor Stepper, dan berbagai macam beban yang lain. Pada IC driver L298 telah dilengkapi dengan fitur PWM yang digunakan untuk pengendali kecepatan.

Rating maksimum IC L298:

- Tegangan *supply* : 50 Volt
- Tegangan *logic supply* : 7 Volt
- *Logic high input* dan *enable* : 7 Volt
- *Logic low input* dan *enable* : -0.3 Volt
- Arus output setiap *channel* : 2 Ampere
- Total daya yang dikonsumsi : 25 Watt



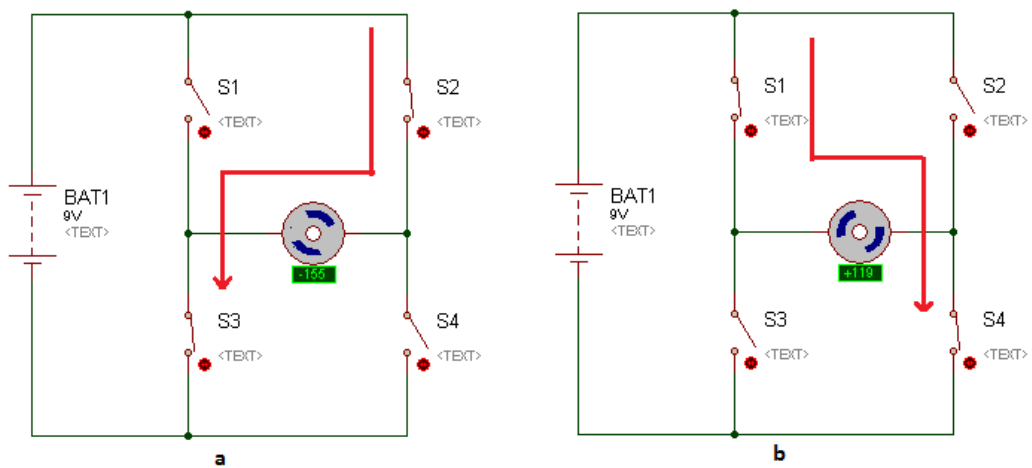
Gambar 2. 6 L298 *pinout*



Gambar 2. 7 Blok diagram L298

2.3.1. Konsep H-Bridge

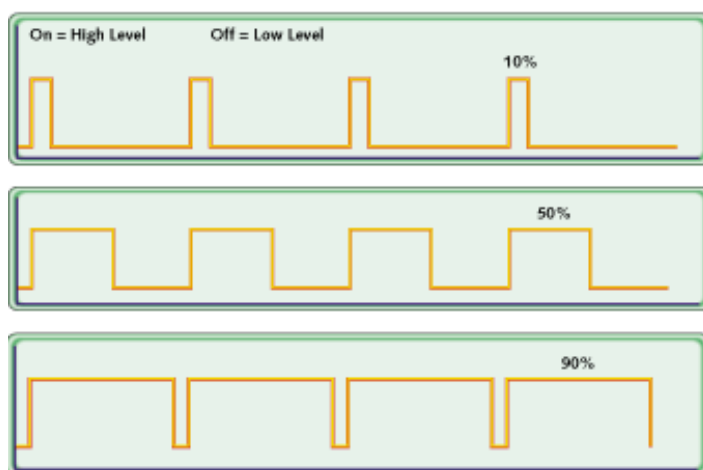
Arah Putaran motor pada prinsipnya terdiri dari dua macam arah gerakan yaitu CW (*Counter Wise*) atau CCW (*Counter Clock Wise*). CW Adalah gerakan motor searah dengan jarum jam sedangkan CCW adalah gerakan motor berlawanan arah dengan putaran jarum jam. Untuk itulah agar kontroler dapat menggerakakkan motor ini secara searah dan berlawanan arah maka dibutuhkan konsep *H-bridge*. Konsep *H-bridge* pada dasarnya adalah menggunakan teknik *switch* yang bekerja bergantian untuk mengganti polaritas dari motor.



Gambar 2. 8 Konfigurasi H-Bridge

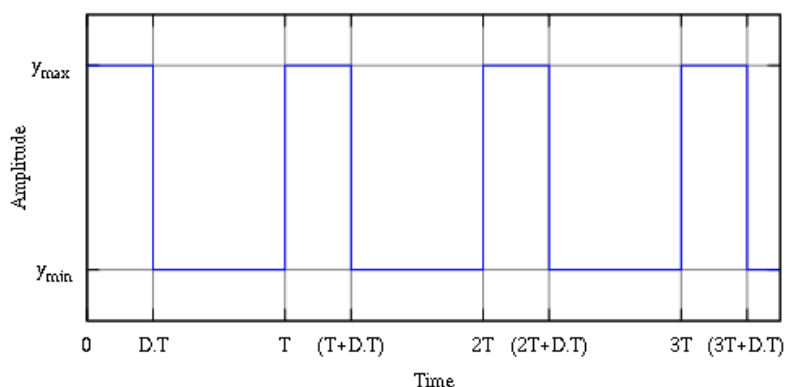
2.3.2. PWM (*Pulse Width Modulation*)^[5]

Pulse Width Modulation adalah suatu modulasi lebar pulsa yang merupakan rasio antara pulsa *high* dan pulsa *low*. Dari perbandingan tersebut dapat dinyatakan dalam nilai *Duty Cycle*. Nilai *Duty Cycle* dinyatakan dalam nilai presentase keadaan logika high (pulsa) dalam suatu periode sinyal. Satu siklus diawali dengan transisi *low* ke *high* dari sinyal dan berakhir pada transisi berikutnya. Selama satu siklus, jika waktu sinyal pada keadaan *high* sama dengan *low* maka dapat dikatakan bahwa sinyal memiliki *duty cycle* sebesar 50 %.



Gambar 2. 9 Variasi presentase Duty Cycle

Jika kita menganggap bentuk gelombang kotak $f(t)$ dengan nilai batas bawah y_{\min} dan batas atas y_{\max} dan duty Cycle D seperti dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2. 10 Gelombang Kotak dengan nilai y_{\min} dan y_{\max} serta nilai Duty Cycle

Nilai rata-rata dari bentuk gelombang di atas dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut :

$$y = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt$$

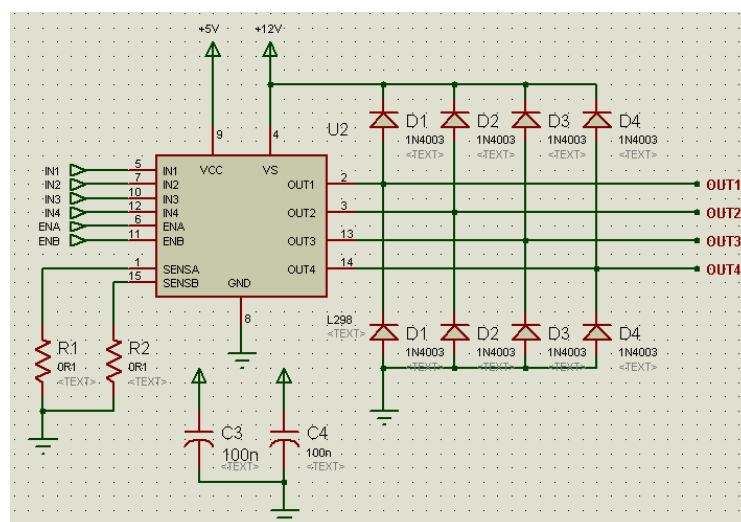
Jika $f(t)$ adalah gelombang kotak, maka nilai y_{\max} adalah dari $0 < t < D \cdot T$ dan nilai y_{\min} dari $D \cdot T < t < T$. dari persamaan di atas didapat :

$$y = \frac{1}{T} \left(\int_0^T y_{\max} dt + \int_0^T y_{\min} dt \right) = D T_{\max} + T(1-D)y_{\min} = D \cdot y_{\max} + (1-D) y_{\min}$$

Persamaan di atas dapat disederhanakan dalam berbagai kasus di mana $y_{\min} = 0$ sehingga kita mendapat bentuk persamaan akhir $y = D \cdot y_{\max}$. Dari persamaan ini jelas bahwa nilai rata-rata dari sinyal (y) secara langsung bergantung kepada *duty cycle* D .

2.3.3. Rangkaian driver motor L298

IC driver yang berada di pasaran ada dua jenis yaitu seri L298 dan L298D. Huruf D menandakan bahwa di dalam IC tersebut telah terdapat dioda proteksi sehingga tidak perlu menambahkan komponen dioda dalam rangkaianannya. Rangkaian driver L298 tanpa dioda proteksi internal ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 2. 11 Rangkaian Skematik Driver Motor L298

Pada gambar rangkaian diatas terdapat dua supply tegangan yaitu tegangan *logic* dan tegangan motor. Tegangan *logic* berkisar antara (4.5 – 5 Volt DC) sedangkan untuk supply motor berkisar antara 2,5 Volt s/d 46 Volt. Karena IC yang digunakan adalah seri

L298 tanpa dioda proteksi maka pada rangkaian Gambar 2.11 harus diberi dioda proteksi eksternal. Tujuan dari pemasangan dioda ini adalah untuk menahan arus balik yang keluar dari motor. Pada IC L298 terdapat 6 pin kontrol seperti ditunjukkan pada table berikut :

Tabel 2. 1 Fungsi Pin Kontrol IC L298

Nama	I/O	Fungsi
Input 1	I	Pin <i>Direction</i> untuk menentukan polaritas Out 1
Input 2	I	Pin <i>Direction</i> untuk menentukan polaritas Out 2
Input 3	I	Pin <i>Direction</i> untuk menentukan polaritas Out 3
Input 4	I	Pin <i>Direction</i> untuk menentukan polaritas Out 4
Enable A	I	Pin PWM untuk pasangan Out 1 dan Out 2
Enable B	I	Pin PWM untuk pasangan Out 3 dan Out 4

Masukan *Enable A* dan *Enable B* merupakan input PWM dimana semakin besar nilai presentase *duty cycle* maka kecepatan motor akan semakin cepat. Tabel kebenaran untuk pin kontrol ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel 2. 2 Tabel Kebenaran Input 1 dan Input 2 L298

INPUT			OUTPUT		Fungsi
Enable A	Input 1	Input 2	Out 1	Out 2	
H	H	L	V Motor	GND	Maju
H	L	H	GND	V Motor	Mundur
H	L	L	GND	GND	Stop/Brake
H	H	H	V Motor	V Motor	Stop/Brake
L	X	X	Z	Z	Free Running Motor Stop

Tabel 2. 3 Tabel Kebenaran Input 3 dan Input 4 L298

INPUT			OUTPUT		Fungsi
Enable B	Input 3	Input 4	Out 3	Out 4	
H	H	L	V Motor	GND	Maju
H	L	H	GND	V Motor	Mundur
H	L	L	GND	GND	Stop/Brake
H	H	H	V Motor	V Motor	Stop/Brake
L	X	X	Z	Z	Free Running Motor Stop

Keterangan:

H = *High*

L = *Low*

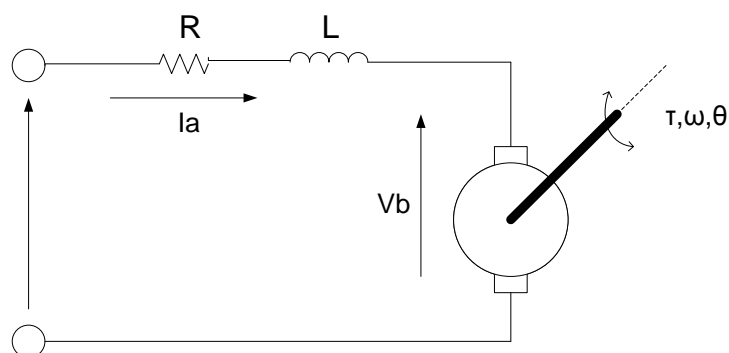
Z = *High Impedance*

X = *Don't care*

2.4. Motor DC^[6]

Motor DC (*Direct Current*) adalah suatu peralatan elektromekanik dasar yang berfungsi sebagai pengubah tenaga listrik menjadi tenaga mekanik yang desain awalnya diperkenalkan oleh Michael Faraday lebih dari seabad yang lalu.

Rangkaian Ekuivalen dari sebuah Motor DC magnet permanen dapat ditunjukkan dalam gambar berikut :



Gambar 2. 12 Rangkaian Ekuivalen Motor DC Magnet permanen

Keterangan :

V_a = Tegangan armatur

I_a = Arus Motor

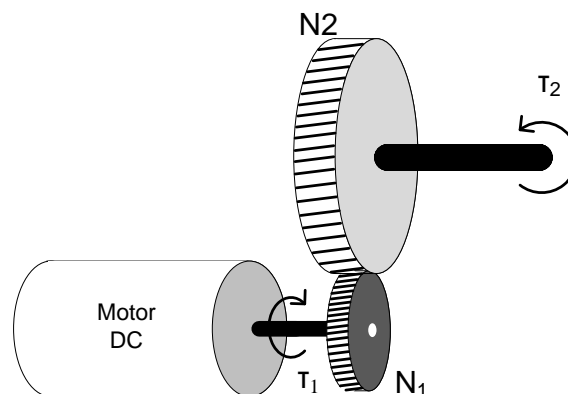
- R = Resistansi armatur
 L = Induktansi lilitan armatur
 V_b = tegangan induksi balik, emf (*elektro motor force*)
 τ = torsi motor
 ω = kecepatan putar motor
 θ = sudut putaran poros motor

persamaan tegangan V_a adalah ,

$$V_a = L \frac{di_a}{dt} + Ri_a + K_b \omega$$

Dengan K_b adalah konstanta yang diukur dari tegangan yang dihasilkan oleh motor ketika berputar setiap satuan kecepatan (Volt.det/rad). *Magnitude* dan polaritas K_b adalah fungsi dari kecepatan angular, ω dan arah putaran poros motor.

Hal mendasar yang perlu diperhatikan dalam desain mekanik robot adalah perhitungan kebutuhan torsi untuk menggerakkan sendi atau roda. Motor sebagai penggerak utama (*prime-mover*) yang paling sering dipakai umumnya akan bekerja optimal (torsi dan kecepatan putar paling ideal) pada putaran yang relatif tinggi yang hal ini tidak sesuai bila porosnya dihubungkan langsung ke sendi gerak atau roda. Sebab kebanyakan gerak yang diperlukan pada sisi anggota badan robot adalah relatif pelan namun bertenaga. Untuk itu diperlukan cara-cara transmisi daya motor (atau aktuator secara umum) secara tepat. Salah satu metoda yang paling umum adalah menggunakan sistem *gear*.



Gambar 2. 13 Penggunaan Transmisi *Gear* Hubungan Langsung

Pada gambar tersebut, N_1 adalah jumlah gigi pada gear poros motor, N_2 adalah jumlah gigi pada poros output, τ_1 adalah torsi pada poros motor, dan τ_2 adalah torsi pada poros output. Torsi output dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\tau_2 = \frac{N_2}{N_1} \tau_1$$

Sedangkan putaran output dapat dihitung sebagai :

$$Putaran_{OUT} = \frac{N_1}{N_2} Putaran_{Motor}$$

Arah putaran poros pada transmisi gear hubungan langsung seperti pada Gambar 2.16 adalah selalu berlawanan untuk tiap sambungan serial. Untuk mendapatkan arah putaran yang sama seperti pada poros motor maka *gear* harus disusun dengan jumlah yang ganjil.

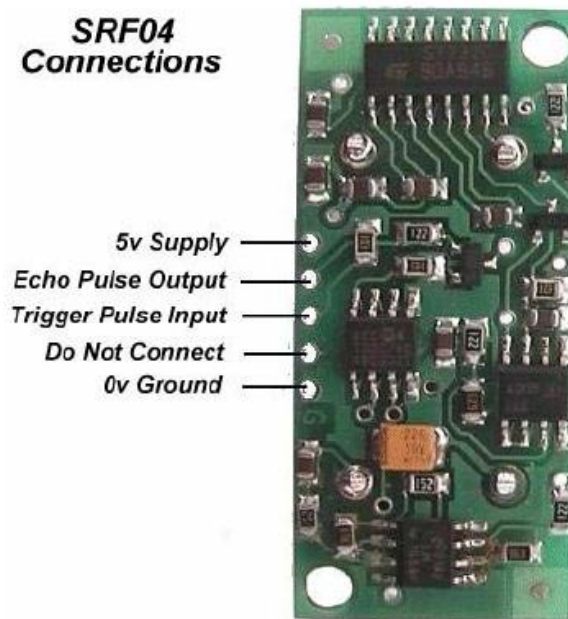
Transmisi *gear* hubungan langsung ini terkenal mudah instalasinya, namun memiliki kelemahan utama yaitu jeda gerakan ketika dikemudikan dalam arah yang berlawanan. Hal ini dikenal sebagai *backlash*. Kelemahan lain yang sering muncul adalah masalah friksi antar gir dan friksi poros. Namun demikian, tipe gir ini adalah yang paling banyak dipakai karena untuk mendapatkan rasio gir yang bear (transmisi dicapai dengan susunan gir yang relatif banyak) arsitekturnya dapat dibuat ringkas dalam satu rumah.

2.5. Modul sensor jarak ultrasonik SRF04^[7]

Modul sensor jarak ultrasonik SRF04 dapat digunakan untuk mengukur jarak antara 3cm sampai dengan 300cm. Modul ini terdiri dari pengirim dan penerima gelombang ultrasonik serta rangkaian kontrol.

Tabel 2. 4 Spesifikasi modul sensor jarak ultrasonic HC-SR04

Tegangan kerja	DC 5 V
Arus kerja	30 mA – 50mA
Frekuensi kerja	40 kHz
Jarak maksimal	3 m
Jarak minimal	3 cm
Sinyal input trigger	10 uS pulsa TTL
Sinyal output echo	Sinyal input tuas TTL
Dimensi	43 x 20 x 17 mm



Gambar 2. 14 Modul SRF04 pinout

2.6. Kontroler PID (Proportional Integral Derivative)^[8]

Kontroler PID (*Proportional Integral Derivative*) merupakan kontroler yang banyak digunakan dalam sistem kontrol industri. Sinyal keluaran dari PID didefinisikan sebagai berikut :

$$m(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

Dimana :

$m(t)$ = Keluaran PID

K_p = Konstanta *proportional*

K_i	= Konstanta <i>integral</i>
K_d	= Konstanta <i>derivative</i>
$e(t)$	= Nilai <i>error</i> sekarang
$de(t)$	= Nilai <i>error</i> sebelumnya – nilai <i>error</i> sekarang
dt	= <i>Time sampling</i>

2.6.1. *Proportional* (elemen P)

Proportional menangani kesalahan (*error*) dengan segera, yang mana kesalahan tersebut dikalikan dengan suatu nilai konstanta K_p . Jika nilai kesalahan sama dengan nol, maka keluaran dari kontroler *proportional* juga sama dengan nol. Akan tetapi, kontroler *proportional* tidak akan mencapai nilai *setpoint*-nya jika nilai keluarannya yang dibutuhkan bukan nol untuk menjaga *setpoint*-nya.

2.6.2. *Integral* (elemen I)

Integral mempelajari nilai yang telah lalu (lampau), kesalahan diintegrasikan dan dikalikan dengan konstanta K_i . Bentuk integrasi memungkinkan kontroler untuk menghilangkan kondisi kesalahan tetap (*steady-state error*) jika proses membutuhkan nilai masukan bukan nol untuk mendapatkan *setpoint* yang diinginkan.

Suatu *integral* kontroler akan bereaksi terhadap kesalahan (*error*) oleh peningkatan nilai yang ditambahkan ke nilai keluarannya. Sehingga hal ini akan memaksa kontroler untuk mencapai nilai *setpoint*-nya lebih cepat dibandingkan dengan hanya kontroler *proportional* dan menekan atau menghilangkan kondisi kesalahan tetap, hal ini juga menjamin bahwa proses *overshoot* di *setpoint* diawali dari nilai *integral* yang secara berkelanjutan ditambahkan ke nilai keluarannya.

2.6.3. *Derivative* (elemen D)

Derivative untuk mengantisipasi nilai yang akan datang, *derivative* yang pertama dari kesalahan yang terjadi (*error*) dikalikan dengan suatu konstanta K_d . Hal ini dapat dipakai untuk mengurangi besarnya *overshoot* yang dihasilkan oleh komponen *proportional* dan *integral*, tetapi kontroler akan sedikit lebih lambat untuk mencapai *setpoint*.

Tabel 2. 5 karakteristik pengendali PID

Respon	<i>Overshoot</i>	<i>Rise Time</i>	<i>Settling Time</i>	<i>Steady-state error</i>
Kp	<i>Increase</i>	<i>Decrease</i>	<i>Small Change</i>	<i>Decrease</i>
Ki	<i>Increase</i>	<i>Decrease</i>	<i>Increase</i>	<i>Eliminate</i>
Kd	<i>Decrease</i>	<i>Small Change</i>	<i>Decrease</i>	<i>Small Change</i>

2.7. Robot pengikut manusia

Robot pengikut manusia merupakan robot yang dapat berjalan mengikuti atau membuntuti manusia yang ada di depannya, agar robot dapat mengikuti manusia yang ada di depannya maka robot harus mengetahui jarak antara manusia dengan robot dan juga posisi dari manusia yang diikuti. Pada penyusunan skripsi ini, peneliti menggunakan 3 buah sensor jarak ultrasonic, 1 buah sensor diletakkan di tengah bagian depan robot untuk mengetahui jarak antara manusia dengan robot dan 2 buah sensor diletakkan di sebelah kanan dan kiri dari sensor yang ada di tengah untuk mengetahui posisi dari manusia.

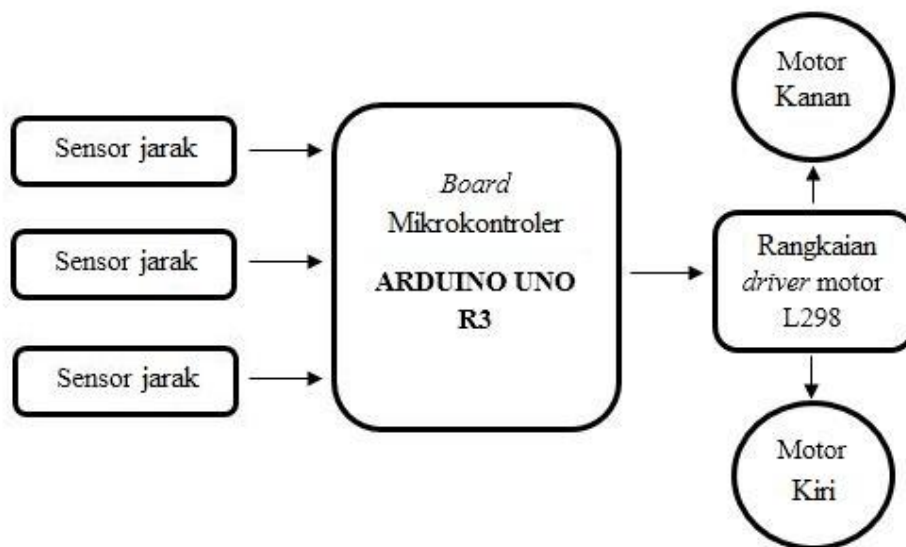
BAB III PERANCANGAN SISTEM

3.1. Pendahuluan

Pada bab ini akan membahas mengenai perancangan sistem, prinsip kerja, perancangan mekanik, perancangan perangkat keras, dan perancangan perangkat lunak. Pada perancangan ini akan diimplementasikan konsep dan teori dasar yang telah dibahas sebelumnya, sehingga tujuan dari perencanaan dapat tercapai dengan baik. Untuk itu pembahasan difokuskan pada desain yang direncanakan pada diagram blok sistem.

3.2. Perancangan Sistem

Sistem yang akan dirancang harus mengacu pada diagram blok yang telah dibuat oleh penulis. Diagram blok sistem dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 3. 1 Diagram Blok Sistem

Sistem pada penelitian ini dibagi menjadi tiga bagian antara lain sistem input yang terdiri dari tiga buah sensor jarak. Sistem kontrol yang berupa *board minimum system* Arduino UNO R3. Dan sistem output yang berupa driver motor L298 sebagai penggerak motor dc.

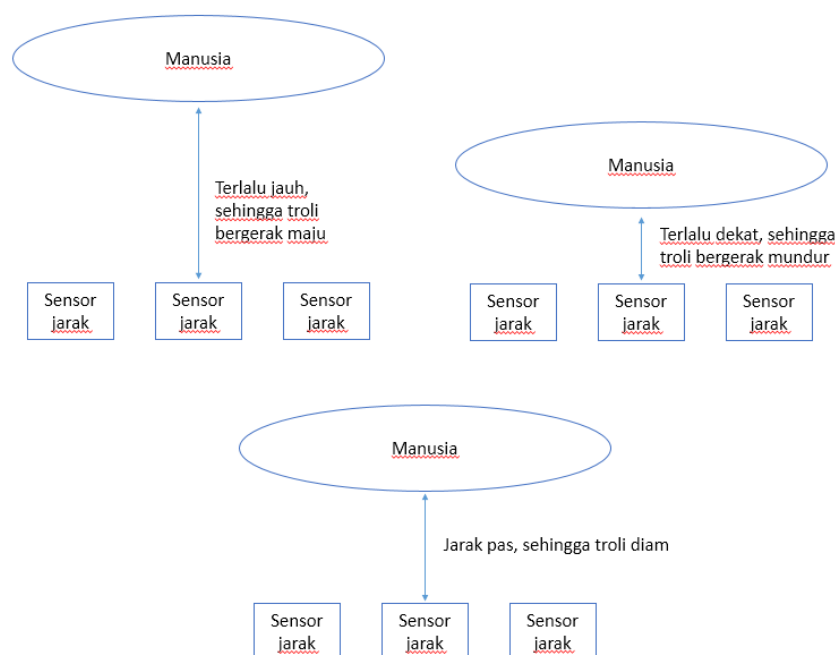
Berikut adalah penjelasan diagram blok :

- 1) Sensor jarak berfungsi untuk mengetahui jarak antara troli dengan pengguna, serta untuk mengetahui posisi dari pengguna.

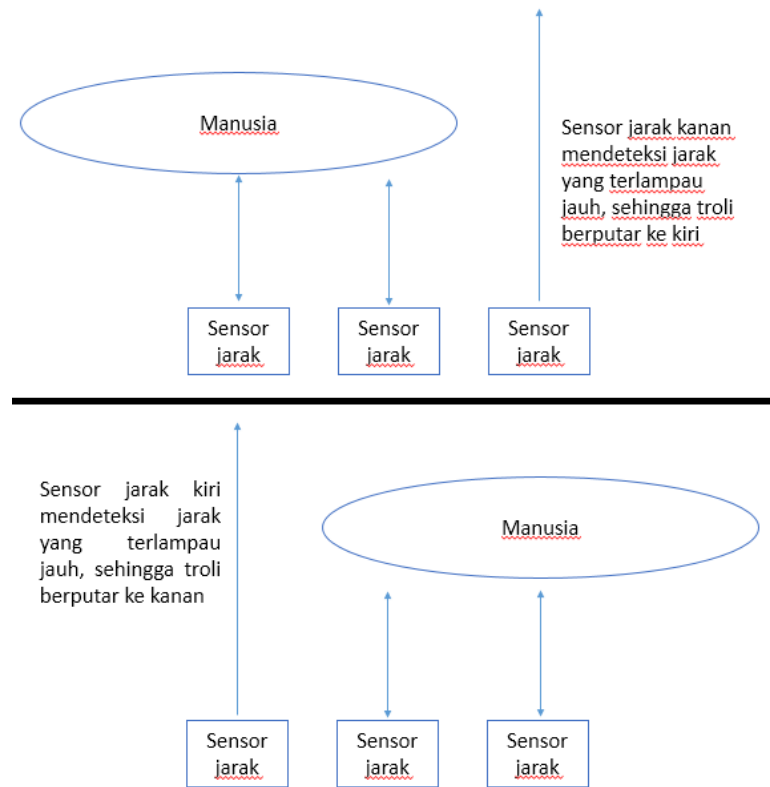
- 2) Sistem kontrol merupakan bagian pengolah data yang dibaca oleh sensor dan memberikan nilai outputan yang berupa PWM (*Pulse Width Modulation*) kepada motor *driver* L298. Kontroler pada perancangan ini menggunakan *board minimum system Arduino UNO R3*.
- 3) Motor *driver* L298 berfungsi sebagai pengontrol motor dc, sehingga motor dapat bergerak searah jarum jam atau berlawanan arah jarum jam dengan kecepatan yang bisa diatur dengan menggunakan sistem PWM.

3.3. Prinsip Kerja

Prinsip kerja dari robot troli pengikut manusia adalah robot akan berjalan mengikuti manusia yang ada di depan robot. Robot troli ini memiliki 3 buah sensor, yaitu sebuah sensor jarak yang diletakkan di tengah bagian depan troli untuk mengetahui jarak antara robot troli dengan manusia yang diikutinya dan dua buah sensor jarak yang diletakkan sedikit ke kanan dan ke kiri di tengah bagian depan troli untuk mengetahui ke arah mana manusia akan bergerak. Data yang dibaca ketiga sensor tersebut merupakan data masukan dari sistem. Mikrokontroler ATmega 328 berfungsi sebagai pengolah data masukkan sistem dan menghasilkan data keluaran dari sistem. Data keluaran sistem akan diterima oleh motor *driver* L298, motor *driver* akan menggerakkan dua buah motor dc berdasarkan data keluaran sistem.



Gambar 3. 2 Ilustrasi prinsip kerja bagian 1



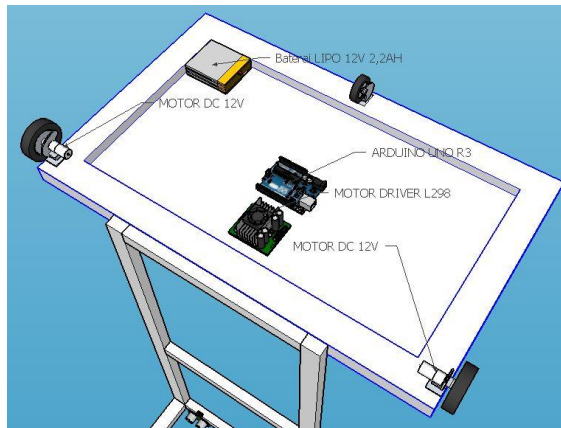
Gambar 3. 3 Ilustrasi prinsip kerja bagian 2

3.4. Perancangan Mekanik

Desain mekanik dari robot trolly ini merupakan *flatbed trolley* dengan menggunakan konsep mobile robot dengan dua roda penggerak utama yang mampu bergerak secara independen dan satu penggerak roda bebas. Desain mekanik robot dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 3. 4 Desain mekanik bagian atas



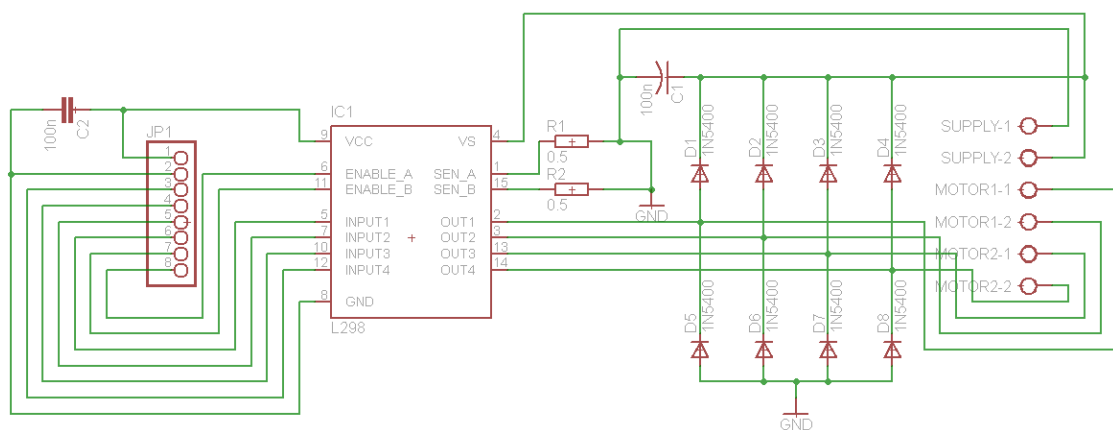
Gambar 3. 5 Desain mekanik bagian bawah

3.5. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras dibagi menjadi dua bagian yaitu perancangan rangkaian motor driver dan pengkabelan.

3.5.1. Perancangan Rangkaian Motor Driver

Rangkaian motor driver berfungsi sebagai penguat arus yang keluar dari port mikrokontroler sehingga mampu menggerakkan motor DC. Rangkaian motor driver ini juga berfungsi sebagai pengatur kecepatan dari motor DC dengan menggunakan fungsi PWM (*Pulse Width Modulation*). Rangkaian motor driver ini menggunakan IC L298 dengan konsep H-bridge yang dapat menggerakkan motor searah jarum jam dan berlawanan arah jarum jam. IC L298 tidak dilengkapi dengan dioda internal, sehingga diperlukan rangkaian dioda eksternal. Rangkaian dioda berfungsi sebagai proteksi terjadinya impuls tegangan induksi motor DC.

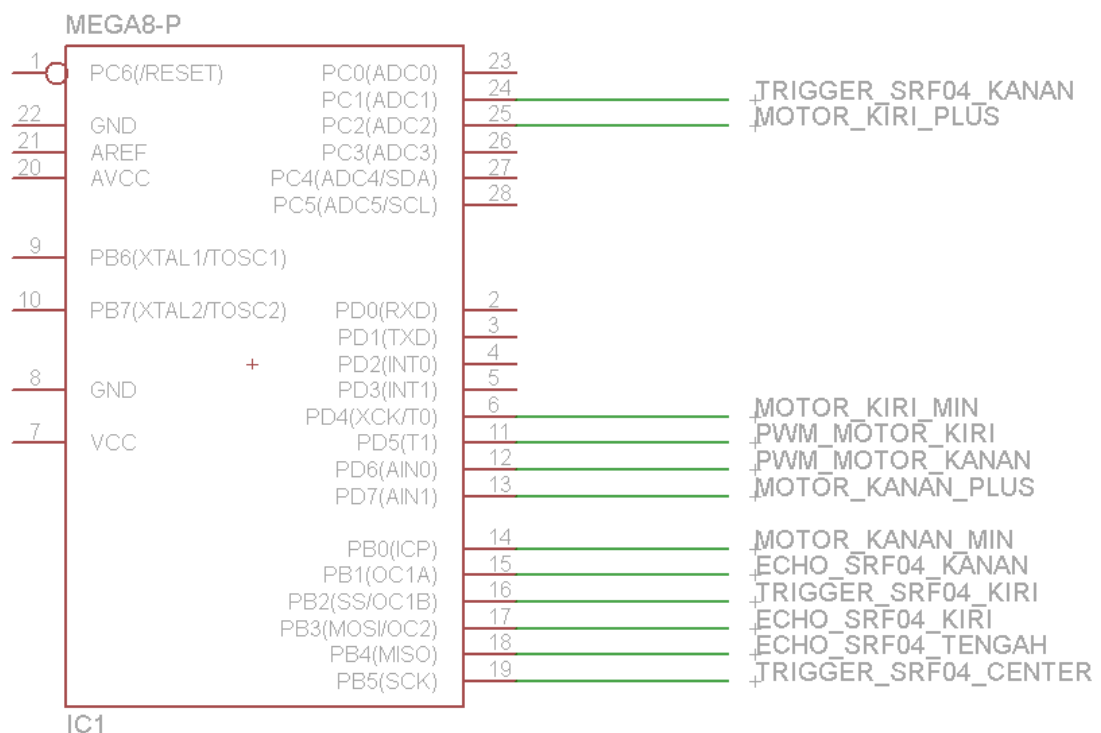


Gambar 3. 6 Rangkaian driver motor L298

Pemberian resistor pada pin SEN_A dan SEN_B, serta kapasitor C1 dan C2 merupakan rekomendasi dari datasheet IC L298. Rekomendasi nilai yang digunakan adalah 100nF pada kapasitor C1 dan C2, sedangkan R pada pin SEN_A dan SEN_B bernilai 0,5Ω. Dioda proteksi yang digunakan harus mampu melewatkan arus sebesar 2A. IC L298 memerlukan catudaya sebesar 5V yang dihubungkan pada pin VCC, sedangkan motor DC memerlukan catudaya sebesar 11,1V (tegangan baterai) yang dihubungkan pada pin VS.

3.5.2. Pengkabelan

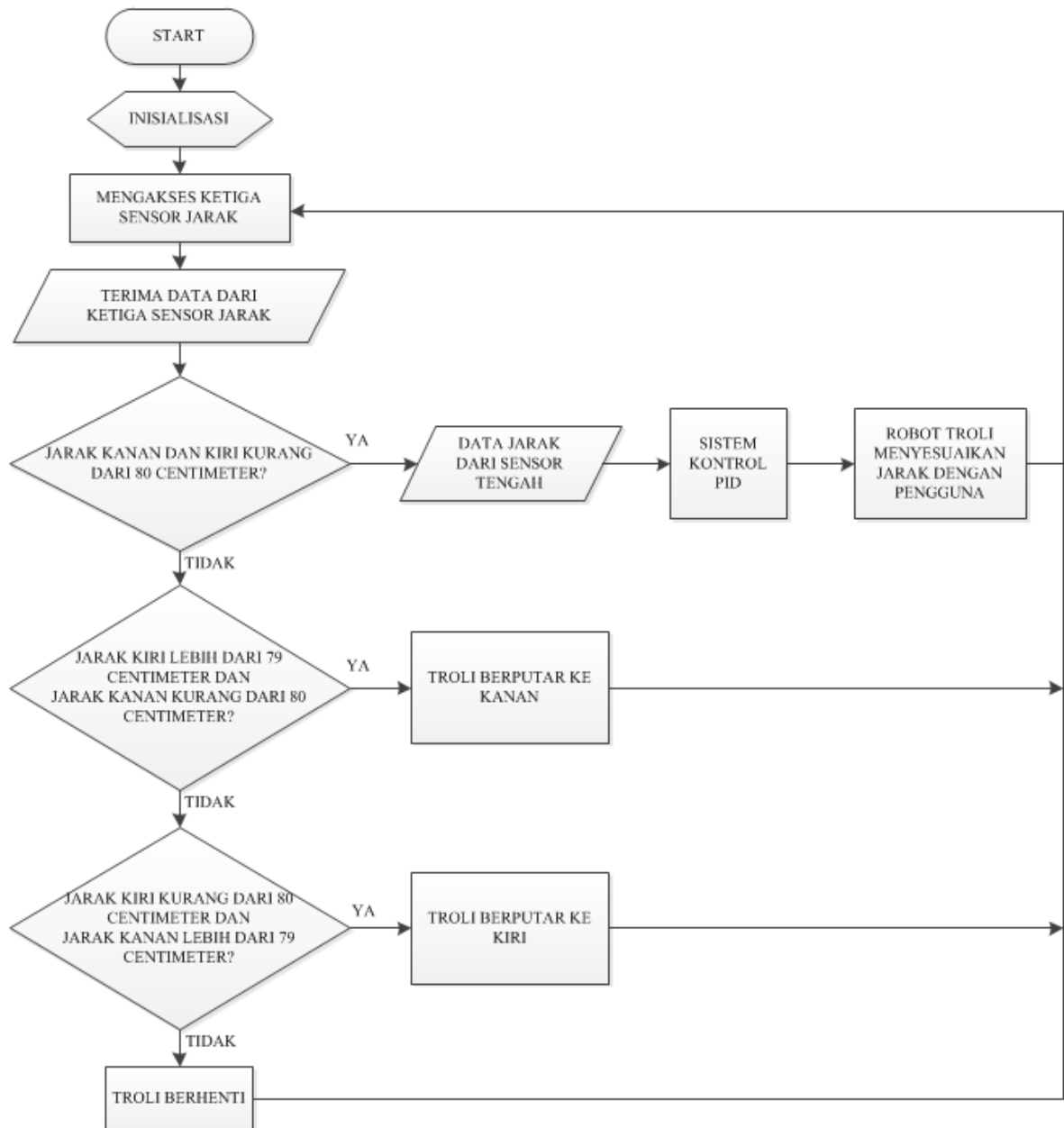
Seluruh sistem elektronika dihubungkan menggunakan kabel atau *jumper* karena tidak berada dalam satu PCB (*Printed Circuit Board*). Berikut gambar rancangan untuk proses pengkabelan seluruh sistem elektronika :



Gambar 3. 7 Pengkabelan

3.6. Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak dari robot troli dirancang berdasarkan diagram blok sistem dan flowchart yang telah disusun oleh penulis. Diagram blok sistem yang telah disusun oleh penulis dapat dilihat pada Gambar 15. Berikut gambar flowchart yang telah disusun oleh penulis :



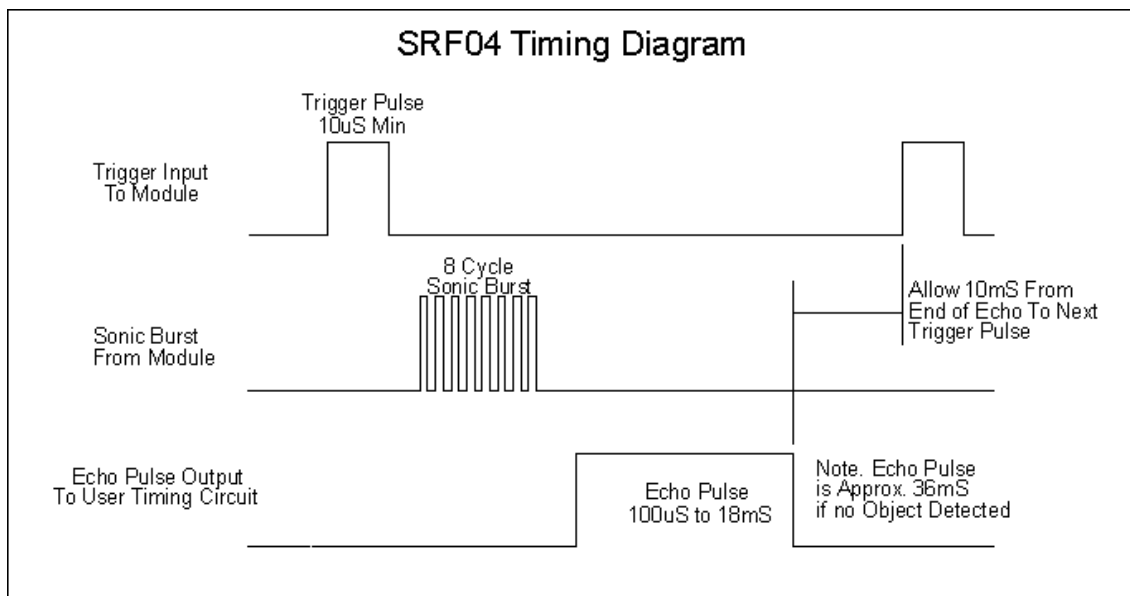
Gambar 3. 8 Flowchart robot trolI

3.6.1. Pembacaan Data Jarak SRF04

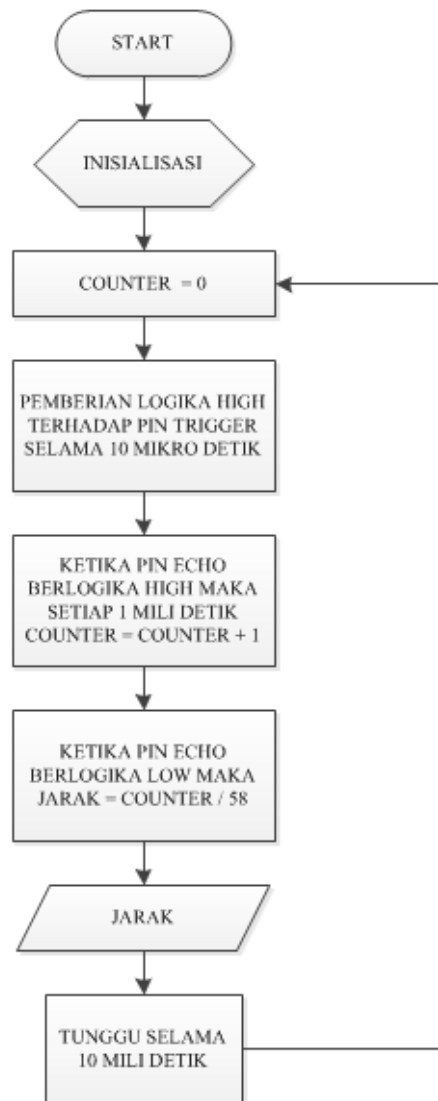
Prinsip kerja sensor jarak ultrasonik adalah divais bagian *transmitter* akan mengirimkan gelombang suara ultrasonik dan divais bagian *receiver* akan menerima pantulannya, sehingga jarak dapat diketahui dengan menghitung lama waktu pantulan gelombang suara yang diterima oleh *receiver*. Divais ini akan mengirimkan gelombang suara ultrasonik jika pin trigger menerima logika high selama 10 mikro detik. Divais akan memancarkan gelombang suara ultrasonik dengan frekuensi sebesar 40 Khz dan periode 8 putaran. Gelombang suara ini dapat merambat di udara dengan kecepatan 344.424 meter

per detik. Selama divais ini belum menerima pantulan gelombang suara maka pin echo akan mengeluarkan logika high dan ketika divais menerima pantulan gelombang suara maka pin echo akan mengeluarkan logika low. Untuk mengetahui jarak yang dibaca oleh sensor maka diperlukan rumus konversi dari waktu tunggu divais menerima pantulan gelombang suara menjadi jarak dalam centimeter. Rumus konversinya sebagai berikut :

$$\text{Jarak}(cm) = \frac{\text{Lama waktu tunggu}(ms)}{58}$$



Gambar 3. 9 Diagram waktu SRF04



Gambar 3. 10 Flowchart pembacaan data SRF04

3.6.2. Perancangan Algoritma Sistem Kontrol PID

Sistem kontrol PID pada umumnya hanya berbentuk suatu rumus matematika dan bukan berbentuk algoritma pemrograman, sehingga memerlukan proses konversi dari rumus tersebut menjadi suatu algoritma pemrograman. Berikut merupakan rumus dari PID :

$$m(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

Dimana :

$m(t)$ = Keluaran PID

K_p = Konstanta *proportional*

K_i = Konstanta *integral*

K_d = Konstanta *derivative*
 $e(t)$ = Nilai *error* sekarang
 $de(t)$ = Nilai *error* sebelumnya – nilai *error* sekarang
 dt = *Time sampling*

jika dikonversikan menjadi suatu algoritma pemrograman maka akan menjadi :

$$Mv = (k_p \times error) + (k_i \times integral\ error) + (k_d \times delta\ error \div ts)$$

Dimana :

Mv = Keluaran PID
 K_p = Konstanta *proportional*
 K_i = Konstanta *integral*
 K_d = Konstanta *derivative*
 $error$ = Nilai *error* sekarang
 $delta\ error$ = Nilai *error* sebelumnya – nilai *error* sekarang
 $integral\ error$ = Nilai *error* sebelumnya + (nilai *error* sekarang \times *time sampling*)
 ts = *time sampling*

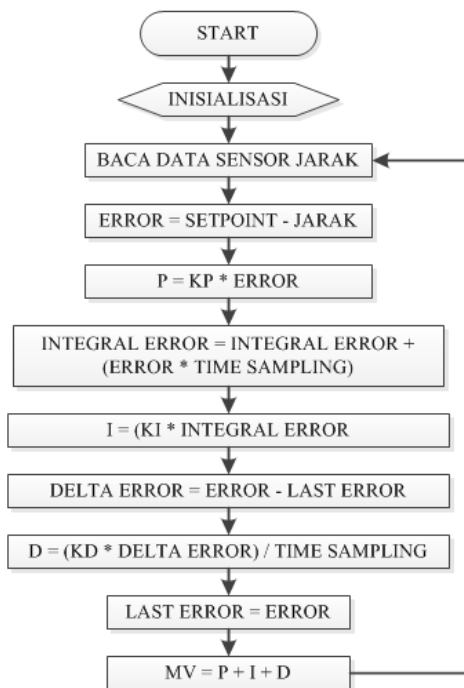
Berikut adalah *pseudocode* dari algoritma PID (*Proportional Integral Derivative*).

```

previous_error = 0
integral = 0
start:
    error = setpoint - measured_value
    integral = integral + (error*dt)
    derivative = (error - previous_error)/dt
    output = (Kp*error) + (Ki*integral) + (Kd*derivative)
    previous_error = error
    wait(dt)
    goto start

```

Di bawah ini merupakan flowchart dari algoritma PID (*Proportional Integral Derivative*) berdasarkan *pseudocode*.



Gambar 3. 11 Flowchart PID

BAB IV

PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN SISTEM

4.1. Pendahuluan

Pada bab ini ditunjukkan untuk melakukan pengujian dan pembahasan dari sistem yang telah dirancang sebelumnya agar dapat diketahui bagaimana kinerja dari keseluruhan sistem maupun kinerja masing-masing bagian. Dari hasil pengujian tersebut akan dijadikan dasar untuk menentukan kesimpulan serta point-point kekurangan yang harus segera diperbaiki agar kinerja keseluruhan sistem dapat sesuai dengan perencanaan dan perancangan yang telah dibuat.

4.2. Pengujian Sensor Jarak Ultrasonik SRF04

Pengujian sensor jarak ultrasonik SRF04 bertujuan untuk mengetahui kinerja dari sensor tersebut.

4.2.1. Peralatan yang Diperlukan

1. Tiga buah sensor jarak ultrasonik SRF04;
2. Penggaris;
3. Board Arduino UNO R3;
4. Kabel data USB tanpa Vcc;
5. *Personal Computer*;
6. Baterai Li-po 11.1V.

4.2.2. Langkah – Langkah Pengujian

1. Hubungkan ketiga sensor dengan board arduino UNO R3. Pasang dengan konfigurasi pada tabel berikut:

Tabel 4. 1 Konfigurasi Pin SRF04

Pin	SRF04 Kiri	SRF04 Tengah	SRF04 Kanan
1	5V	5V	5V
2	D11	D12	D9
3	D10	D13	A1
5	GND	GND	GND

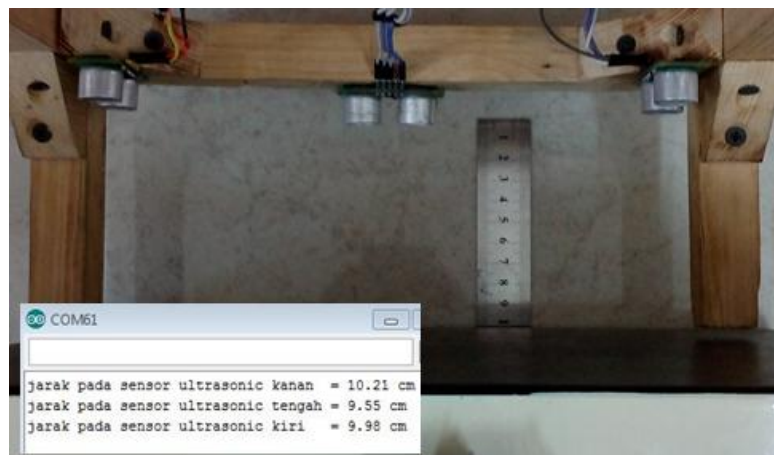
2. Hubungkan baterai Li-po 11.1V ke colokan catu daya pada board arduino UNO R3;
3. Hubungkan board arduino UNO R3 dengan *Personal Computer* menggunakan kabel data USB tanpa Vcc;
4. Upload program untuk membaca data jarak dari SRF04;
5. Pilih menu “Serial Monitor” pada IDE Arduino;
6. Amati dan bandingkan data jarak pada serial monitor dengan pengukuran jarak menggunakan penggaris.

4.2.3. Hasil Pengujian

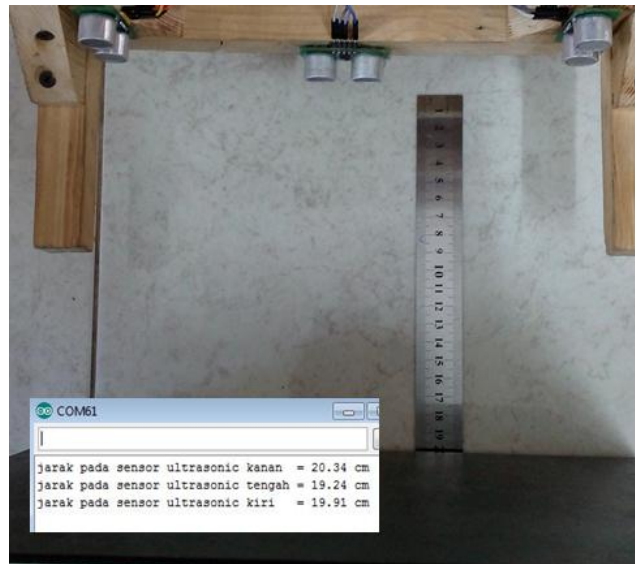
Penulis melakukan tiga kali pengujian terhadap sensor jarak SRF04. Pertama, penulis meletakkan suatu objek berjarak 10 cm di depan sensor jarak SRF04. Kedua, penulis meletakkan suatu objek berjarak 20 cm di depan sensor jarak SRF04. Ketiga, penulis meletakkan suatu objek berjarak 30 cm di depan sensor jarak SRF04. Berikut hasil dari pengujian sensor jarak SRF04:

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Sensor Jarak SRF04

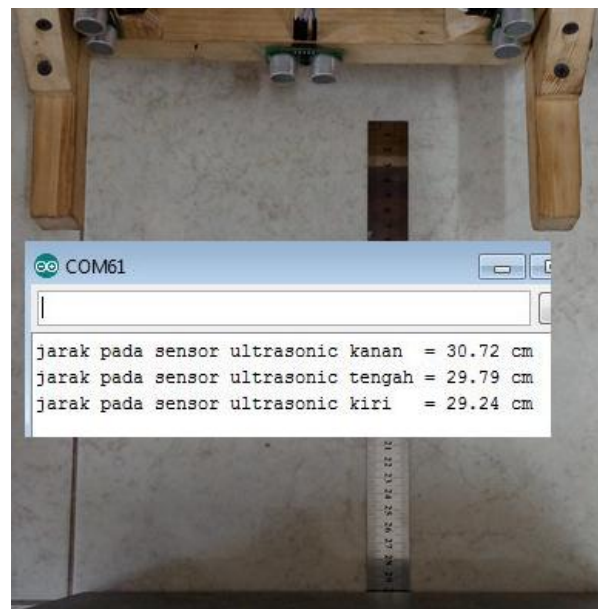
No	Pengukuran dengan Penggaris (cm)	SRF04 Kiri (cm)	SRF04 Tengah (cm)	SRF04 Kanan (cm)
1	10	9.98	9.55	10.21
2	20	19.91	19.24	20.34
3	30	29.24	29.79	30.72



Gambar 4. 1 Pengujian Sensor pada Jarak 10 cm



Gambar 4. 2 Pengujian Sensor pada Jarak 20 cm



Gambar 4. 3 Pengujian Sensor pada Jarak 30 cm

4.2.4. Analisa Pengujian

Dari data hasil pengujian sensor jarak ultrasonik yang telah dilakukan, maka dapat ditentukan nilai error sensor dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\%error = \left| \frac{\text{Hasil pengujian} - \text{Hasil pengukuran}}{\text{Hasil pengukuran}} \right| \times 100\%$$

Perhitungan nilai error pada pengujian SRF04 kiri:

1. $\%error = \left| \frac{9.98-10}{10} \right| \times 100\%$
 $\%error = 0.2\%$
2. $\%error = \left| \frac{19.91-20}{20} \right| \times 100\%$
 $\%error = 0.45\%$
3. $\%error = \left| \frac{29.24-30}{30} \right| \times 100\%$
 $\%error = 2.5\%$

Error rata – rata pada pengujian SRF04 kiri:

$$\overline{\%error} = \frac{\sum \%error}{\text{Jumlah Percobaan}}$$

$$\overline{\%error} = \frac{0.2 + 0.45 + 2.5}{3}$$

$$\overline{\%error} = 1.05\%$$

Tabel 4. 3 Nilai Error Pengujian SRF04 Kiri

No	Jarak (cm)		Error (%)
	Pengujian	Pengukuran	
1	9.98	10	0.2
2	19.91	20	0.45
3	29.24	30	2.5
Error rata – rata			1.05

Perhitungan nilai error pada pengujian SRF04 tengah:

1. $\%error = \left| \frac{9.55-10}{10} \right| \times 100\%$
 $\%error = 4.5\%$
2. $\%error = \left| \frac{19.24-20}{20} \right| \times 100\%$
 $\%error = 3.8\%$
3. $\%error = \left| \frac{29.79-30}{30} \right| \times 100\%$
 $\%error = 0.7\%$

Error rata – rata pada pengujian SRF04 tengah:

$$\overline{\%error} = \frac{\sum \%error}{Jumlah Percobaan}$$

$$\overline{\%error} = \frac{4.5 + 3.8 + 0.7}{3}$$

$$\overline{\%error} = 3\%$$

Tabel 4. 4 Nilai Error Pengujian SRF04 Tengah

No	Jarak (cm)		Error (%)
	Pengujian	Pengukuran	
1	9.55	10	4.5
2	19.24	20	3.8
3	29.79	30	0.7
Error rata – rata			3

Perhitungan nilai error pada pengujian SRF04 kanan:

$$1. \%error = \left| \frac{10.21-10}{10} \right| \times 100\%$$

$$\%error = 2.1\%$$

$$2. \%error = \left| \frac{20.34-20}{20} \right| \times 100\%$$

$$\%error = 1.7\%$$

$$3. \%error = \left| \frac{30.72-30}{30} \right| \times 100\%$$

$$\%error = 2.4\%$$

Error rata – rata pada pengujian SRF04 kanan:

$$\overline{\%error} = \frac{\sum \%error}{Jumlah Percobaan}$$

$$\overline{\%error} = \frac{2.1 + 1.7 + 2.4}{3}$$

$$\overline{\%error} = 2.07\%$$

Tabel 4. 5 Nilai Error Pengujian SRF04 Kanan

No	Jarak (cm)		Error (%)
	Pengujian	Pengukuran	
1	10.21	10	2.1
2	20.34	20	1.7
3	30.72	30	2.4
Error rata – rata			2.07

4.3. Pengujian Driver Motor L298

Pengujian driver motor L298 meliputi pengujian arah putaran motor dan pengujian gelombang PWM yang dihasilkan sehingga dapat diketahui kinerja dari driver motor L298.

4.3.1. Peralatan yang Digunakan

1. Driver motor L298;
2. Dua buah motor DC 12V;
3. Board arduino UNO R3;
4. Multimeter digital;
5. Osiloskop digital;
6. Kabel data USB tanpa Vcc;
7. *Personal Computer*;
8. Baterai Li-po 11.1V.

4.3.2. Langkah – Langkah Pengujian

1. Hubungkan driver motor L298 dengan board arduino UNO R3. Pasang dengan konfigurasi pada tabel berikut:

Tabel 4. 6 Konfigurasi Pin driver motor L298

No	Arduino UNO R3 pin	L298 pin
1	5V	Vcc
2	D7	IN1
3	D8	IN2
4	D6	ENA
5	A2	IN3
6	D4	IN4
7	D5	ENB
8	GND	GND

2. Hubungkan baterai Li-po 11.1V ke colokan catu daya pada board arduino UNO R3;
3. Hubungkan board arduino UNO R3 dengan *Personal Computer* menggunakan kabel data USB tanpa Vcc;
4. Upload program untuk mengontrol driver motor L298;
5. Hubungkan output driver motor dengan osiloskop dan multimeter secara paralel;
6. Amati dan catat hasil pengujian.

4.3.3. Hasil Pengujian

Penulis melakukan dua macam pengujian terhadap IC L298 antara lain pengujian arah putaran motor dan pengujian PWM (*Pulse Width Modulation*). Berikut hasil dari pengujian IC L298:

Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Arah Putaran Motor

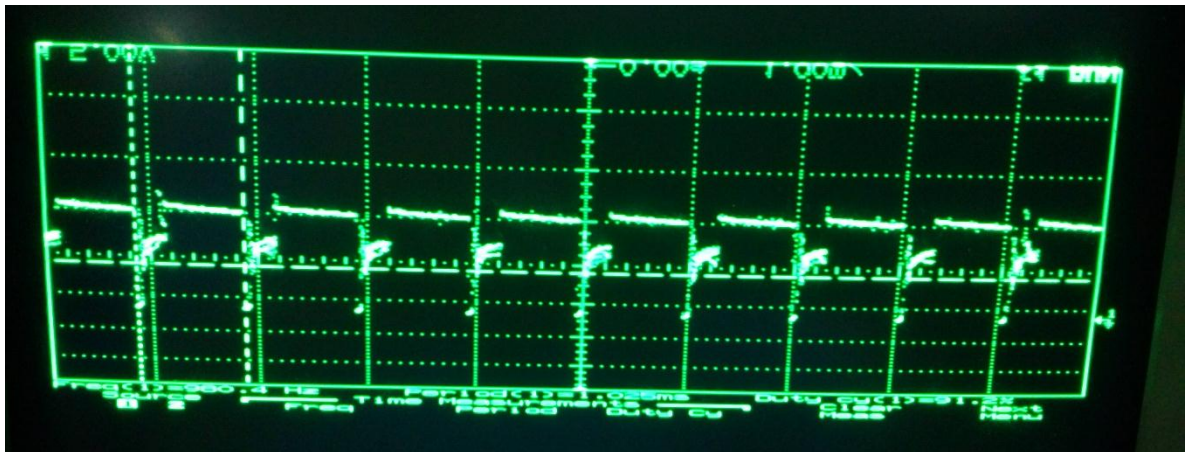
PWM	Input				Arah Putaran	
	IN1	IN2	IN3	IN4	Motor 1	Motor 2
0	0	0	0	0	Loss	Loss
255	0	1	0	1	CCW	CCW
255	1	0	1	0	CW	CW
255	1	1	1	1	Break	Break

Tabel 4. 8 Hasil Pengujian PWM pada Motor 1

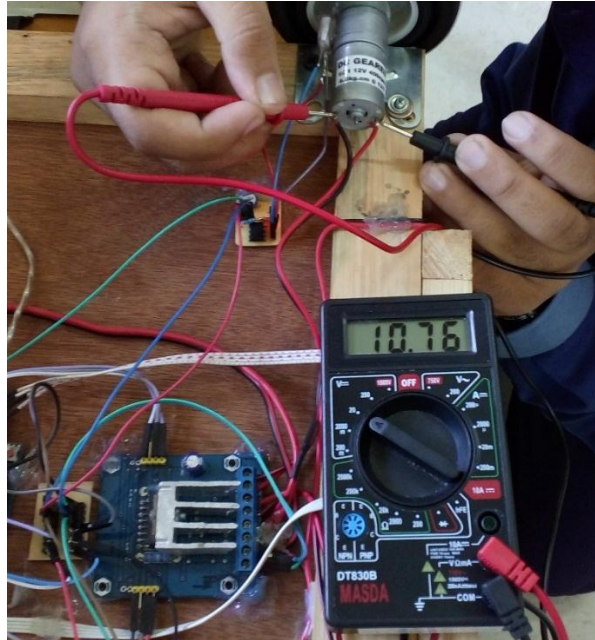
No	PWM	Frekuensi (Hz)	Periode (ms)	Duty Cycle (%)	Vout
1	180	980.4	1.025	91.2	9.2
2	200	980.4	1.025	95.1	9.58
3	220	980.4	1.025	96.2	9.84
4	255	-	-	100	10.76

Tabel 4. 9 Hasil Pengujian PWM pada Motor 2

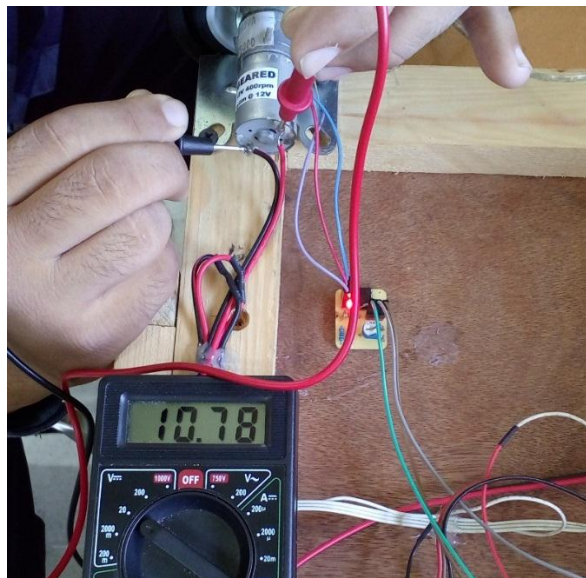
No	PWM	Frekuensi (Hz)	Periode (ms)	Duty Cycle (%)	Vout
1	180	980.4	1.025	96.4	9.42
2	200	980.4	1.025	98.1	9.73
3	220	980.4	1.025	98.7	9.98
4	255	-	-	100	10.78



Gambar 4. 4 Bentuk Gelombang PWM



Gambar 4. 5 Tegangan Keluaran Maksimal pada Chanel A



Gambar 4. 6 Tegangan Keluaran Maksimal pada Chanel B

4.3.4. Analisa Pengujian

Analisa pada pengujian IC driver motor L298 dibagi menjadi lima bagian yaitu analisa putaran motor, analisa frekuensi PWM, analisa periode PWM, analisa *duty cycle* PWM, dan analisa tegangan keluaran driver motor.

A. Analisa Putaran Motor

Pada tabel 4.9 ditunjukkan pengujian arah putar motor dengan berbagai kemungkinan logika input. Jika $IN1 = 0$ dan $IN2 = 0$ dengan nilai $PWM = 0$, maka motor 1 berada pada kondisi *Loss* yang artinya motor bergerak bebas. Jika $IN1 = 0$ dan $IN2 = 1$ dengan nilai $PWM = 255$, maka motor 1 akan bergerak secara *CCW* (*Counter Clock Wise*). Jika $IN1 = 1$ dan $IN2 = 0$ dengan nilai $PWM = 255$, maka motor 1 akan bergerak secara *CW* (*Clock Wise*). Jika $IN1 = 1$ dan $IN2 = 1$ dengan nilai $PWM = 255$, maka motor 1 akan berada pada kondisi *Break* yang artinya motor mengalami pengereman. Jika $IN3 = 0$ dan $IN4 = 0$ dengan nilai $PWM = 0$, maka motor 2 berada pada kondisi *Loss* yang artinya motor bergerak bebas. Jika $IN3 = 0$ dan $IN4 = 1$ dengan nilai $PWM = 255$, maka motor 2 akan bergerak secara *CCW* (*Counter Clock Wise*). Jika $IN3 = 1$ dan $IN4 = 0$ dengan nilai $PWM = 255$, maka motor 2 akan bergerak secara *CW* (*Clock Wise*). Jika $IN3 = 1$ dan $IN4 = 1$ dengan nilai $PWM = 255$, maka motor 2 akan berada pada kondisi *Break* yang artinya motor mengalami pengereman.

B. Analisa Frekuensi PWM

Pada pengujian PWM, nilai frekuensi adalah sebesar 980.4 Hz sedangkan menurut perhitungan didapat:

$$f_{pwm} = \frac{\text{clock value}/\text{prescaler}}{\text{top pwm value}}$$

$$f_{pwm} = \frac{16000000/64}{255}$$

$$f_{pwm} = \frac{250000}{255}$$

$$f_{pwm} = 980.392 \text{ Hz}$$

Sehingga error pengujian terhadap perhitungan dapat dihitung dengan persamaan:

$$\%error = \left| \frac{\text{Hasil pengujian} - \text{Hasil perhitungan}}{\text{Hasil perhitungan}} \right| \times 100\%$$

$$\%error = \left| \frac{980.4 - 980.392}{980.392} \right| \times 100\%$$

$$\%error = 0.00000816 \times 100\%$$

$$\%error = 0.000816\%$$

C. Analisa Periode PWM

Nilai periode PWM (T_{pwm}) dapat ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$T_{pwm} = \frac{1}{f_{pwm}}$$

$$T_{pwm} = \frac{1}{980.392}$$

$$T_{pwm} = 0.00102 \text{ s}$$

$$T_{pwm} = 1.02 \text{ ms}$$

Periode pulsa on (T_{on}) ditentukan dengan persamaan:

$$T_{on} = \frac{\text{pwm value}}{\text{clock value} / \text{prescaler}}$$

Jika nilai pwm = 180 maka perhitungannya:

$$T_{on} = \frac{180}{16000000 / 64}$$

$$T_{on} = \frac{180}{250000}$$

$$T_{on} = 0.00072 \text{ s}$$

Jika nilai pwm = 200 maka perhitungannya:

$$T_{on} = \frac{200}{16000000 / 64}$$

$$T_{on} = \frac{200}{250000}$$

$$T_{on} = 0.0008 \text{ s}$$

Jika nilai pwm = 220 maka perhitungannya:

$$T_{on} = \frac{220}{16000000 / 64}$$

$$T_{on} = \frac{220}{250000}$$

$$T_{on} = 0.00088 \text{ s}$$

D. Analisa Duty Cycle PWM

Nilai duty cycle dapat diketahui dengan perbandingan antara periode pulsa on (T_{on}) dengan periode pulsa PWM (T_{pwm}). Berikut persamaannya:

$$Duty\ Cycle = \frac{T_{on}}{T_{pwm}} \times 100\%$$

Nilai error pengujian terhadap perhitungan dapat dihitung dengan persamaan:

$$\%error = \left| \frac{Hasil\ pengujian - Hasil\ perhitungan}{Hasil\ perhitungan} \right| \times 100\%$$

1. Jika nilai $T_{on} = 0.72$ ms dan $T_{pwm} = 1.02$ ms maka dapat diketahui nilai duty cycle adalah:

$$Duty\ Cycle = \frac{0.00072}{0.00102} \times 100\%$$

$$Duty\ Cycle = 0.706 \times 100\%$$

$$Duty\ Cycle = 70.6\%$$

Nilai error duty cycle pada motor 1:

$$\%error = \left| \frac{91.2 - 70.6}{70.6} \right| \times 100\%$$

$$\%error = 0.292 \times 100\%$$

$$\%error = 29.2\%$$

Nilai error duty cycle pada motor 2:

$$\%error = \left| \frac{96.4 - 70.6}{70.6} \right| \times 100\%$$

$$\%error = 0.365 \times 100\%$$

$$\%error = 36.5\%$$

2. Jika nilai $T_{on} = 0.8$ ms dan $T_{pwm} = 1.02$ ms maka dapat diketahui nilai duty cycle adalah:

$$Duty\ Cycle = \frac{0.00080}{0.00102} \times 100\%$$

$$Duty\ Cycle = 0.784 \times 100\%$$

$$Duty\ Cycle = 78.4\%$$

Nilai error duty cycle pada motor 1:

$$\%error = \left| \frac{95.1 - 78.4}{78.4} \right| \times 100\%$$

$$\%error = 0.213 \times 100\%$$

$$\%error = 21.3\%$$

Nilai error duty cycle pada motor 2:

$$\%error = \left| \frac{98.1 - 78.4}{78.4} \right| \times 100\%$$

$$\%error = 0.251 \times 100\%$$

$$\%error = 25.1\%$$

3. Jika nilai $T_{on} = 0.88$ ms dan $T_{pwm} = 1.02$ ms maka dapat diketahui nilai duty cycle adalah:

$$Duty\ Cycle = \frac{0.00088}{0.00102} \times 100\%$$

$$Duty\ Cycle = 0.863 \times 100\%$$

$$Duty\ Cycle = 86.3\%$$

Nilai error duty cycle pada motor 1:

$$\%error = \left| \frac{96.2 - 86.3}{86.3} \right| \times 100\%$$

$$\%error = 0.115 \times 100\%$$

$$\%error = 11.5\%$$

Nilai error duty cycle pada motor 2:

$$\%error = \left| \frac{98.7 - 86.3}{86.3} \right| \times 100\%$$

$$\%error = 0.144 \times 100\%$$

$$\%error = 14.4\%$$

Error rata – rata duty cycle pada pengujian driver motor chanel A (motor 1):

$$\overline{\%error} = \frac{\sum \%error}{Jumlah\ Percobaan}$$

$$\overline{\%error} = \frac{29.2 + 21.3 + 11.5}{3}$$

$$\overline{\%error} = 20.67\%$$

Error rata – rata duty cycle pada pengujian driver motor chanel B (motor 2):

$$\overline{\%error} = \frac{\sum \%error}{Jumlah Percobaan}$$

$$\overline{\%error} = \frac{36.5 + 25.1 + 14.4}{3}$$

$$\overline{\%error} = 25.33\%$$

Tabel 4. 10 Nilai Error Pengujian Duty Cycle pada Chanel A

No	Duty Cycle (%)		Error (%)
	Pengujian	Perhitungan	
1	91.2	70.6	29.2
2	95.1	78.4	21.3
3	96.2	86.3	11.5
Error rata – rata			20.67

Tabel 4. 11 Nilai Error Pengujian Duty Cycle pada Chanel B

No	Duty Cycle (%)		Error (%)
	Pengujian	Perhitungan	
1	96.4	70.6	36.5
2	98.1	78.4	25.1
3	98.7	86.3	14.4
Error rata – rata			25.33

E. Analisa Tegangan Keluaran Driver Motor

Cara untuk mengetahui nilai tegangan keluaran (V_{out}) dari hasil sistem PWM adalah mengkalikan tegangan output maksimal ketika PWM bernilai 255 (V_{peak}) dengan duty cycle. Berikut persamaannya:

$$V_{out} = V_{peak} \times duty\ cycle$$

Nilai error pengujian terhadap perhitungan dapat dihitung dengan persamaan:

$$\%error = \left| \frac{\text{Hasil pengujian} - \text{Hasil perhitungan}}{\text{Hasil perhitungan}} \right| \times 100\%$$

1. Jika pada pengujian driver motor chanel A (motor 1) nilai $V_{peak} = 10.76$ V dan duty cycle = 91.2% maka nilai V_{out} adalah:

$$V_{out} = V_{peak} \times \text{duty cycle}$$

$$V_{out} = 10.76 \times 91.2\%$$

$$V_{out} = 9.81 \text{ V}$$

Nilai error V_{out} pada motor 1:

$$\%error = \left| \frac{9.2 - 9.81}{9.81} \right| \times 100\%$$

$$\%error = 0.0622 \times 100\%$$

$$\%error = 6.22\%$$

2. Jika pada pengujian driver motor chanel A (motor 1) nilai $V_{peak} = 10.76$ V dan duty cycle = 95.1% maka nilai V_{out} adalah:

$$V_{out} = V_{peak} \times \text{duty cycle}$$

$$V_{out} = 10.76 \times 95.1\%$$

$$V_{out} = 10.23 \text{ V}$$

Nilai error V_{out} pada motor 1:

$$\%error = \left| \frac{9.58 - 10.23}{10.23} \right| \times 100\%$$

$$\%error = 0.0635 \times 100\%$$

$$\%error = 6.35\%$$

3. Jika pada pengujian driver motor chanel A (motor 1) nilai $V_{peak} = 10.76$ V dan duty cycle = 96.2% maka nilai V_{out} adalah:

$$V_{out} = V_{peak} \times \text{duty cycle}$$

$$V_{out} = 10.76 \times 96.2\%$$

$$V_{out} = 10.35 \text{ V}$$

Nilai error V_{out} pada motor 1:

$$\%error = \left| \frac{9.84 - 10.35}{10.35} \right| \times 100\%$$

$$\%error = 0.0493 \times 100\%$$

$$\%error = 4.93\%$$

4. Jika pada pengujian driver motor chanel B (motor 2) nilai $V_{peak} = 10.78$ V dan duty cycle = 96.4% maka nilai V_{out} adalah:

$$V_{out} = V_{peak} \times duty\ cycle$$

$$V_{out} = 10.78 \times 96.4\%$$

$$V_{out} = 10.39\ V$$

Nilai error V_{out} pada motor 2:

$$\%error = \left| \frac{9.42 - 10.39}{10.39} \right| \times 100\%$$

$$\%error = 0.0933 \times 100\%$$

$$\%error = 9.33\%$$

5. Jika pada pengujian driver motor chanel B (motor 2) nilai $V_{peak} = 10.78$ V dan duty cycle = 98.1% maka nilai V_{out} adalah:

$$V_{out} = V_{peak} \times duty\ cycle$$

$$V_{out} = 10.78 \times 98.1\%$$

$$V_{out} = 10.57\ V$$

Nilai error V_{out} pada motor 2:

$$\%error = \left| \frac{9.73 - 10.57}{10.57} \right| \times 100\%$$

$$\%error = 0.0795 \times 100\%$$

$$\%error = 7.95\%$$

6. Jika pada pengujian driver motor chanel B (motor 2) nilai $V_{peak} = 10.78$ V dan duty cycle = 98.7% maka nilai V_{out} adalah:

$$V_{out} = V_{peak} \times duty\ cycle$$

$$V_{out} = 10.78 \times 98.7\%$$

$$V_{out} = 10.64 V$$

Nilai error V_{out} pada motor 2:

$$\%error = \left| \frac{9.98 - 10.64}{10.64} \right| \times 100\%$$

$$\%error = 0.062 \times 100\%$$

$$\%error = 6.2\%$$

Error rata – rata V_{out} pada pengujian driver motor chanel A (motor 1):

$$\overline{\%error} = \frac{\sum \%error}{Jumlah Percobaan}$$

$$\overline{\%error} = \frac{6.22 + 6.35 + 4.93}{3}$$

$$\overline{\%error} = 5.83\%$$

Error rata – rata V_{out} pada pengujian driver motor chanel B (motor 2):

$$\overline{\%error} = \frac{\sum \%error}{Jumlah Percobaan}$$

$$\overline{\%error} = \frac{9.33 + 7.95 + 6.2}{3}$$

$$\overline{\%error} = 7.83\%$$

Tabel 4. 12 Nilai Error Pengujian Tegangan Output pada Chanel A

No	Tegangan Output (V)		Error (%)
	Pengujian	Perhitungan	
1	9.2	9.81	6.22
2	9.58	10.23	6.35
3	9.84	10.35	4.93
Error rata – rata			5.83

Tabel 4. 13 Nilai Error Pengujian Tegangan Output pada Chanel B

No	Tegangan Output (V)		Error (%)
	Pengujian	Perhitungan	
1	9.42	10.39	9.33
2	9.73	10.57	7.95
3	9.98	10.64	6.2
Error rata – rata			7.83

4.4. Pengujian Daya Muat Troli

Pengujian daya muat troli bertujuan untuk mengetahui daya muat maksimal yang dapat diangkut oleh robot troli.

4.4.1. Peralatan yang Digunakan

1. Robot troli;
2. Timbangan;
3. Muatan dengan berat kelipatan 1 kg;
4. Kabel data USB tanpa Vcc;
5. *Personal Computer*.

4.4.2. Langkah – Langkah Pengujian

1. Ukur berat robot troli;
2. Letakkan muatan diatas troli;
3. Hubungkan board arduino UNO R3 pada robot troli dengan *Personal Computer* menggunakan kabel data USB tanpa Vcc;
4. Upload program untuk pengujian daya muat robot troli;
5. Amati dan buat analisa hasil pengujian.

4.4.3. Hasil Pengujian

Penulis melakukan pengujian daya muat robot troli dengan cara meletakkan barang seberat 1 kg, 2 kg, 3 kg, dan 4 kg secara bergantian. Sebelum meletakkan barang tersebut di atas robot troli , dilakukan penimbangan robot troli terlebih dahulu untuk

mengetahui berat dari robot troli. Berikut adalah hasil dari pengujian daya muat robot troli:

Tabel 4. 14 Hasil Pengujian Daya Muat Robot Troli

Berat Robot Troli (kg)	Berat Muatan (kg)	Kondisi
2	0	Robot troli berjalan normal
	1	Robot troli berjalan normal
	2	Robot troli berjalan normal
	3	Robot troli berjalan pelan
	4	Robot troli tidak berjalan



Gambar 4. 7 Berat Robot Troli

4.4.4. Analisa Pengujian

Pada tabel 4.14 telah ditunjukkan daya muat maksimum dari robot troli yaitu sebesar 4 kg di mana 2 kg merupakan berat dari robot troli itu sendiri dan 2 kg merupakan

berat dari muatan. Ketika robot troli menahan berat sebesar 2 kg (tanpa muatan) maka robot troli dapat berjalan dengan kecepatan normal. Ketika robot troli menahan berat sebesar 3 kg (muatan seberat 1 kg) maka robot troli dapat berjalan dengan normal. Ketika robot troli menahan berat sebesar 4 kg (muatan seberat 2 kg) maka robot troli dapat berjalan dengan normal. Ketika robot troli menahan berat sebesar 5 kg (muatan seberat 3 kg) maka robot troli dapat berjalan dengan lambat. Ketika robot troli menahan berat sebesar 6 kg (muatan seberat 4 kg) maka robot troli tidak dapat berjalan.

4.5. Pengujian Kontroler PID

Pengujian kontroler PID bertujuan untuk mengetahui bagaimana respon dari robot troli yang dihasilkan dari kalkulasi PID.

4.5.1. Peralatan yang Digunakan

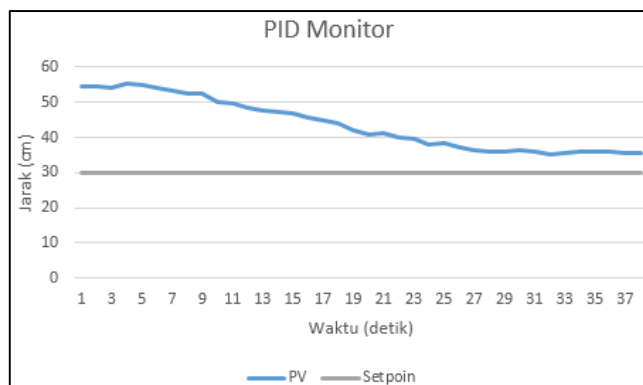
1. Robot troli;
2. Kabel data USB tanpa Vcc;
3. *Personal Computer*.

4.5.2. Langkah – Langkah Pengujian

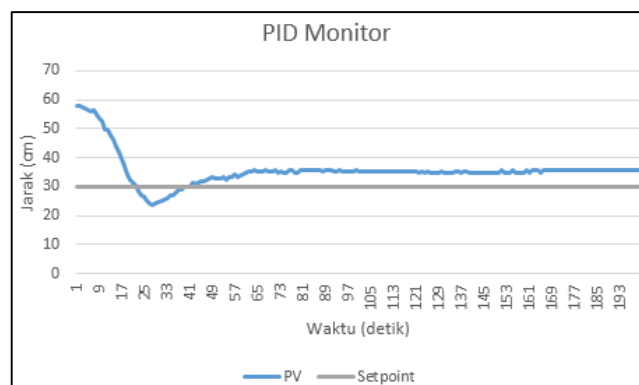
1. Letakkan robot troli 60 cm dari tembok dengan posisi sensor menghadap ke tembok;
2. Hubungkan board arduino UNO R3 pada robot troli dengan *Personal Computer* menggunakan kabel data USB tanpa Vcc;
3. Upload program untuk pengujian PID;
4. Lakukan *trial and error* untuk tuning parameter PID;
5. Amati dan buat analisa hasil pengujian.

4.5.3. Hasil Pengujian

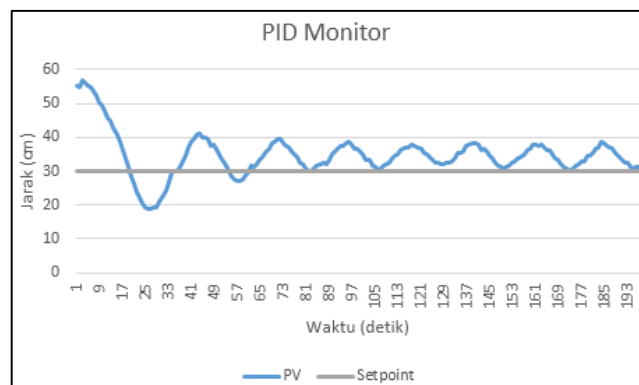
Pengujian ini dilakukan dengan cara melakukan tuning pada parameter PID menggunakan metode *trial and error*, lalu penulis mengamati dan merekam data yang dihasilkan oleh parameter PID tersebut, untuk nilai setpoint dari sistem telah ditentukan yaitu 30 cm. Setelah itu, penulis membuat grafik dari hasil tersebut. Berikut grafik dari pengujian parameter PID:



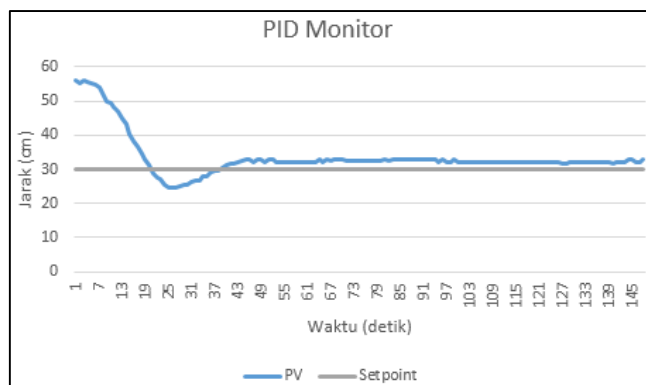
Grafik 4. 1 $k_p = 10$, $k_i = 0$, dan $k_d = 0$



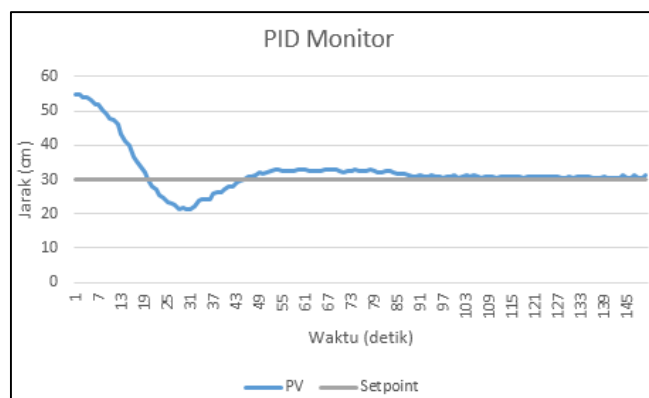
Grafik 4. 2 $k_p = 20$, $k_i = 0$, dan $k_d = 0$



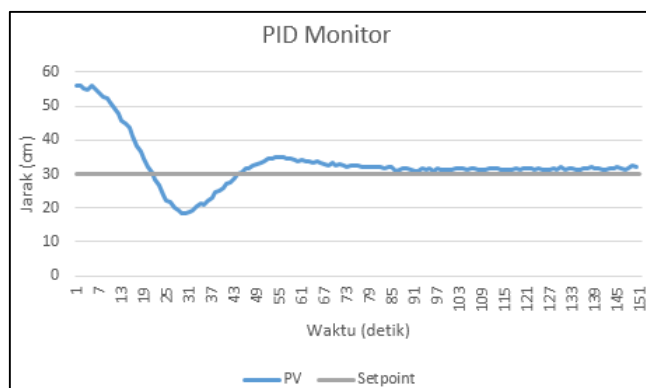
Grafik 4. 3 $k_p = 100$, $k_i = 0$, dan $k_d = 0$



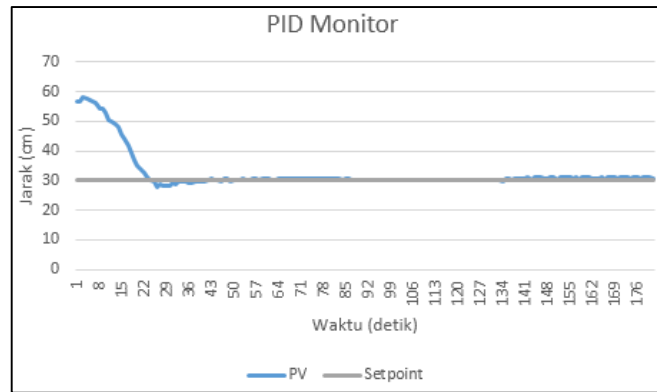
Grafik 4. 4 $k_p = 20$, $k_i = 1$, dan $k_d = 0$



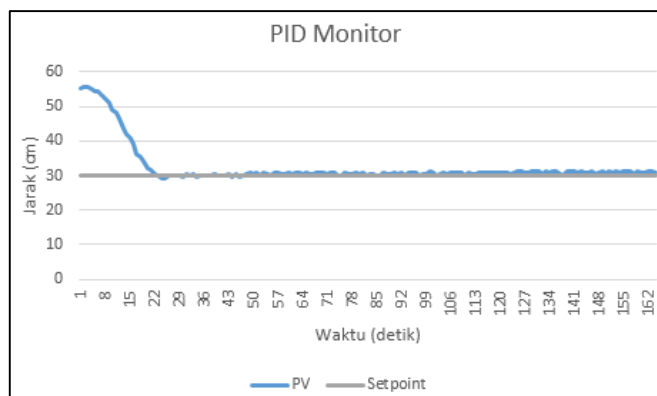
Grafik 4. 5 $k_p = 20$, $k_i = 2$, dan $k_d = 0$



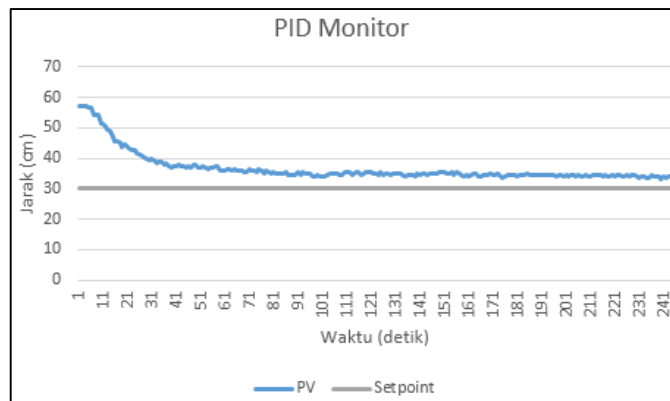
Grafik 4. 6 $k_p = 20$, $k_i = 10$, dan $k_d = 0$



Grafik 4. 7 $k_p = 20$, $k_i = 2$, dan $k_d = 2$



Grafik 4. 8 $k_p = 20$, $k_i = 2$, dan $k_d = 2.5$



Grafik 4. 9 $k_p = 20$, $k_i = 2$, dan $k_d = 10$

4.5.4. Analisa Pengujian

Setelah penulis melakukan serangkaian percobaan tuning parameter k_p , k_i , dan k_d secara *trial and error*. Penulis mendapatkan sistem berjalan stabil pada $k_p = 20$, $k_i = 2$, dan $k_d = 2.5$ dengan setpoint = 30 cm. Hasil output dari proses *trial and error* dapat dilihat pada gambar pengujian diatas. Dari hasil pengujian tersebut, dapat dijelaskan bahwa k_p berfungsi untuk mempercepat *rise time*, namun jika nilai k_p terlalu besar maka sistem akan mengalami *overshoot* dan membuatnya tidak stabil. Fungsi dari k_i adalah untuk menghilangkan error *steady state*, namun jika nilai k_i terlalu besar maka sistem akan mengalami peningkatan overshoot. Fungsi dari k_d adalah untuk meredam *overshoot* yang dihasilkan oleh k_p dan k_i sehingga sistem dapat bekerja dengan stabil tanpa mengalami *overshoot*, namun jika nilai k_d terlalu besar dapat memperlambat sistem.

4.6. Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian keseluruhan sistem bertujuan untuk mengetahui kinerja dari robot troli sesuai perencanaan di awal pembuatan alat.

4.6.1. Peralatan yang Digunakan

1. Robot troli;
2. Kabel data USB;
3. *Personal Computer*.

4.6.2. Langkah – Langkah Pengujian

1. Hubungkan board arduino UNO R3 pada robot troli dengan *Personal Computer* menggunakan kabel data USB;
2. Upload program untuk pengujian keseluruhan sistem;
3. Nyalakan robot troli;
4. Pengguna berjalan di depan robot troli.

4.6.3. Hasil Pengujian

Pengujian ini dilakukan dengan cara penulis berjalan di depan robot troli dan lalu mengamati hasil dari pengujian. Berikut hasil dari pengujian keseluruhan :

Tabel 4. 15 Hasil Pengujian Keseluruhan Sistem

Pergerakan Pengguna	Respon Robot Troli
Berjalan maju	Robot troli bergerak maju dan akan berhenti ketika jarak robot troli sekitar 30 cm dari pengguna.
Berjalan mundur	Robot troli bergerak mundur dan akan berhenti ketika jarak robot troli sekitar 30 cm dari pengguna.
Berbelok ke kanan	Robot troli berputar ke kanan dan menyesuaikan jarak antara robot troli dengan pengguna.
Berbelok ke kiri	Robot troli berputar ke kiri dan menyesuaikan jarak antara robot troli dengan pengguna.

4.6.4. Analisa Pengujian

Pada tabel 4.15 telah dijelaskan bagaimana hasil pengujian keseluruhan sistem dari robot troli. Ketika pengguna berjalan maju, maka robot troli bergerak maju dan akan berhenti ketika jarak robot troli kurang lebih 30 cm dari pengguna. Ketika pengguna berjalan mundur, maka robot troli bergerak mundur dan akan berhenti ketika jarak robot troli kurang lebih 30cm dari pengguna. Ketika pengguna berbelok ke kanan, maka robot troli berputar ke kanan dan lalu menyesuaikan jarak antara robot troli dengan pengguna. Ketika pengguna berbelok ke kiri, maka robot troli berputar ke kiri dan lalu menyesuaikan jarak antara robot troli dengan pengguna.

Pada saat pengujian secara keseluruhan, pemakaian sensor ultrasonik yang terlalu banyak dapat memperlambat kinerja sistem karena proses delay yang dibutuhkan sensor setelah bekerja dan juga proses kerja sensor yang secara bergantian.

4.7 Spesifikasi Alat



Gambar 4. 8 Robot Troli

Kontroler	: Atmega328 (Arduino UNO)
Sensor	: 3 buah Ultrasonic SRF04
Catu daya	: Baterai Lipoli 11.1V dengan kapasitas 2200 mAh
Daya angkut maks	: 2 kg
Jarak setpoint	: 30 cm
Kecepatan maks	: 400 rpm

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan perancangan, pengujian, dan analisa sistem. Maka dapat disimpulkan beberapa hal yang dapat digunakan untuk perbaikan dan pengembangan selanjutnya, yaitu:

1. Pemakaian sensor ultrasonik yang terlalu banyak dapat memperlambat kinerja sistem karena proses delay yang dibutuhkan sensor setelah bekerja dan juga proses kerja sensor yang secara bergantian.
2. Penggunaan dua buah motor mengakibatkan kecepatan dari robot troli tidak seimbang, sehingga diperlukan proses kalibrasi nilai PWM agar kecepatan dari kedua motor dapat seimbang.
3. Daya muat robot troli sebesar 4 kg di mana 2 kg merupakan berat dari robot troli itu sendiri dan 2 kg merupakan berat dari muatan.
4. Dari hasil tuning PID secara *trial and error*, sistem dapat berjalan stabil dengan nilai $k_p = 20$, $k_i = 2$, $k_d = 2.5$ dan jarak setpoint antara troli dengan manusia adalah 30 cm.
5. Dari hasil pengujian keseluruhan sistem, dapat disimpulkan bahwa robot troli dapat berjalan secara optimal sesuai dengan diagram blok yang telah disusun oleh penulis.

5.2. Saran

Pembuatan skripsi ini tidak lepas dari berbagai macam kekurangan dan kesalahan, maka dari itu agar sistem dapat menjadi lebih baik diperlukan sebuah pengembangan. Saran dari penulis antara lain sebagai berikut :

1. Sistem akan lebih optimal jika penggunaan sensor jarak ultrasonik diganti dengan tiga buah *transceiver* dan menggunakan metode *signal strength* untuk mengetahui jarak antara robot troli dengan pengguna.
2. Penggunaan motor DC dengan daya dan torsi yang lebih besar dapat meningkatkan daya angkut dari robot troli.
3. Penambahan sensor berat, sensor tegangan untuk mengetahui kapasitas baterai dan tampilan LCD dapat meningkatkan fungsional dari robot troli.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] As'Ari1, Dibyo, H., Erlina, T. 2014. *Perancangan Robot Wall Follower Dengan Metode Proportional Integral Derivative (PID) Berbasis Mikrokontroler*. Jurnal Tugas Akhir, (Online), (<http://repository.unand.ac.id/20637/>), diakses 9 Februari 2016
- [2] Anonim, *Kamus Besar Bahasa Indonesia Online*, (Online) (<http://kbbi.web.id/troli>), diakses 9 Februari 2016
- [3] Anonim, 2013. *Datasheet Aruino Uno R3*, (Online), (<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>), diakses 7 Februari 2016
- [4] Anonim, 2000. *Datasheet L298*, (Online), (<http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/CD00000240.pdf>), diakses 7 Februari 2016
- [5] Eric, Cosmas.2014. *Rancang Bangun Differential Drive Mobile Robot Untuk Penjejak Dinding Dan Penghindar Halangan Dengan Navigasi Sensor Ultrasonik Dan Modul Kamera Raspberry Pi Menggunakan Metode Kendali Logika Fuzzy*. Skripsi. Tidak dipublikasikan. Malang: ITN Malang.
- [6] Waluyo, Fitriansyah, Syahrial. 2013. *Analisis Penalaan Kontrol PID pada Simulasi Kendali Kecepatan Putaran Motor DC Berbeban Menggunakan Metode Heuristik*. Jurnal Tugas Akhir, (Online), (<http://lib.itenas.ac.id/kti/wp-content/uploads/2014/03/2.-Analisis-Penalaan-Kontrol-PID.pdf>), diakses 9 Februari 2016
- [7] Anonim, 2003. *Datasheet SRF04*, (Online), (www.datasheetpdf.com/datasheet/SRF04.html), diakses 7 Februari 2016
- [8] Azizul, Ermanu. 2012. *Sistem Kontrol*. Malang: UMM Press