

**IMPLEMENTASI *INVERS KINEMATIC* PADA *MOBILE*
ROBOT *THREE WHEEL HOLONOMIC* DENGAN METODE
*FUZZY PID***

LAPORAN TUGAS AKHIR



sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Ahli Madya Teknik (A.Md. T)
di Program Studi Teknik Komputer
Jurusan Teknologi Informasi

Oleh

**Fikri Haikal
NIM. E32180210**

**PROGRAM STUDI TEKNIK KOMPUTER
JURUSAN TEKNOLOGI INFORMASI
POLITEKNIK NEGERI JEMBER
2021**

**IMPLEMENTASI *INVERS KINEMATIC* PADA *MOBILE*
ROBOT *THREE WHEEL HOLONOMIC* DENGAN METODE
*FUZZY PID***

LAPORAN TUGAS AKHIR



sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Ahli Madya Teknik (A.Md. T)
di Program Studi Teknik Komputer
Jurusan Teknologi Informasi

Oleh

Fikri Haikal
NIM. E32180210

**PROGRAM STUDI TEKNIK KOMPUTER
JURUSAN TEKNOLOGI INFORMASI
POLITEKNIK NEGERI JEMBER
2021**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN
TEKNOLOGI
POLITEKNIK NEGERI JEMBER**

**IMPLEMENTASI *INVERS KINEMATIC* PADA *MOBILE*
ROBOT THREE WHEEL HOLONOMIC DENGAN METODE
*FUZZY PID***

Fikri Haikal (E32180210)

Telah Diuji pada Tanggal 29 Juni 2021
Dan Dinyatakan Memenuhi Syarat

Ketua Penguji,



Yogiswara, ST, MT
NIP 19700929 200312 1 001

Sekretaris Penguji / Dosen
Pembimbing,



Beni Widiawan, S.ST, MT
NIP 19780816 200501 1 002

Anggota Penguji,



Victor Phoa, S.Si, M.Cs
NIP. 19851031 201803 1 001

Mengesahkan
Ketua Jurusan Teknologi Informasi



Hendra Yufit Riskiawan, S.Kom, M.Cs
NIP 19830203 200604 1 003

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fikri Haikal

NIM : E32180210

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam Laporan Tugas Akhir saya yang berjudul “Implementasi *Invers Kinematic* Pada *Mobile Robot Three Wheel Holonomic* Dengan Metode *Fuzzy Pid*” merupakan gagasan dan hasil karya saya sendiri dengan arahan komisi pembimbing, dan belum pernah diajukan dalam bentuk apa pun pada perguruan tinggi mana pun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam daftar Pustaka di bagian akhir Laporan Tugas Akhir ini

Jember, 18 Juni 2021



Fikri Haikal
E32180210



**PERNYATAAN
PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN
AKADEMIS**

Yang bertanda tangan di bawah ini, saya :

Nama : Fikri Haikal
NIM : E32180210
Program Studi : Teknik Komputer
Jurusan : Teknologi Informasi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada UPT. Perpustakaan Politeknik Negeri Jember, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (Non-Exclusive Royalty Free Right) atas Karya Tulis Ilmiah berupa Laporan Tugas Akhir saya yang berjudul :

IMPLEMENTASI *INVERS KINEMATIC* PADA *MOBILE ROBOT THREE WHEEL HOLONOMIC* DENGAN METODE *FUZZY PID*

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini UPT. Perpustakaan Politeknik Negeri Jember berhak menyimpan, mengalih media atau format, mengelola dalam bentuk Pangkala Data (Database), mendistribusikan karya dan menampilkan atau mempublikasikannya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis atau pencipta.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi tanpa melibatkan pihak Politeknik Negeri Jember, Segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas Pelanggaran Hak Cipta dalam Karya Ilmiah ini.

Dibuat di : Jember
Pada Tanggal : 22 Juli 2021
Yang menyatakan,

Fikri Haikal
E32180210

MOTTO

*“Sing Penting Yakin, Jangan ragu untuk melakukan sesuatu”
(Fikri Haikal)*

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur, sebuah karya kecil laporan tugas akhir ini saya persembahkan kepada orang-orang yang tercinta:

1. Ibu dan ayah saya yang tercinta Ibu Sukarti dan Ayah Sukemi, terima kasih atas segala dukungan serta kasih sayang yang telah diberikan selama ini. Terimakasih untuk doa serta bantuan yang mempermudahku dalam menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
2. Untuk orang-orang tercinta yang senantiasa menjadi motivasiku dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Teman-teman anggota ukm Robotika yang telah banyak memberikan banyak sekali pengalaman dan ilmu.
4. Sahabat seperjuangan, teman-teman Teknik Komputer 2018 yang tidak bisa saya sebutkan satu - persatu, terimakasih banyak atas dukungan dan bantuannya selama ini.

RINGKASAN

Implementasi Invers Kinematic Pada Mobile Robot Three Wheel Holonomic Dengan Metode Fuzzy Pid, Fikri Haikal, NIM E32180210, Tahun 2021, Teknologi Informasi, Politeknik Negeri Jember, Beni Widiawan S,ST, MT (Pembimbing).

Pada tugas akhir ini di paparkan sebuah metode navigasi robot three wheel holonomic dengan menggunakan metode invers kinematic yang bertujuan untuk memudahkan navigasi robot, dimana mobile robot akan berjalan otomatis sesuai dengan koordinat yang sudah di tentukan berdasarkan parameter data yang di peroleh dari perhitungan odometry (Posisi Aktual). Dalam sistem navigasi ini kecepatan robot akan di tentukan dengan menggunakan fuzzy logic controller, dimana kecepatan yang akan di berikan sesuai jarak yang akan di tempuh, semakin dekat jarak yang akan di tempuh maka semakin pelan kecepatan yang akan di berikan. Pada metode invers kinematic yang di padukan dengan fuzzy logic controller akan di peroleh output kecepatan masing masing motor DC yang akan di proses menggunakan PID Controller untuk menjaga kestabilan pergerakan motor DC sesuai nilai kecepatan yang di berikan. Selanjutnya terdapat penambahan sistem trajectory tracking dimana pergerakan mobile robot akan di tampilkan berbentuk Graphic User interfaces untuk melihat apakah pergerakan mobile robot sesuai dengan koordinate yang sudah di tentukan.

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, atas berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga penulisan laporan akhir berjudul “**Implementasi Invers Kinematic Pada Mobile Robot Three Wheel Holonomic Dengan Metode Fuzzy Pid**” dapat diselesaikan dengan baik. Laporan akhir ini dilaksanakan sebagai syarat untuk menyelesaikan pendidikan D3 di Program Studi Teknik Komputer Jurusan Teknologi Informasi Politeknik Negeri Jember.

Penulis menyampaikan banyak terimakasih kepada semua pihak yang terlibat dan berkontribusi terhadap proses pengerjaan laporan akhir ini yang meliputi:

1. Direktur Politeknik Negeri Jember.
2. Ketua Jurusan Teknologi Informasi.
3. Bapak Beni Widiawan, S.ST., MT selaku dosen pembimbing Tugas Akhir.
4. Koordinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Komputer.
5. Dosen penguji Laporan Akhir.
6. Staf Jurusan Teknologi Informasi.
7. Seluruh civitas akademik Politeknik Negeri Jember.
8. Teman-teman yang telah membantu penulis menyelesaikan Laporan Akhir.

Penulis berharap agar pembaca berkenan menyampaikan saran dan kritiknya dan semoga laporan ini dapat membawa manfaat kepada pembaca.

Jember, 29 Juni 2021

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
SURAT PERNYATAAN	iv
SURAT PERNYATAAN PUBLIKASI	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
RINGKASAN	viii
PRAKATA	1
DAFTAR ISI.....	2
DAFTAR TABEL	5
DAFTAR GAMBAR.....	6
BAB 1. PENDAHULUAN	8
1.1. Latar Belakang	8
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan	2
1.4. Batasan Masalah.....	2
1.5. Manfaat	2
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1. Roda Omni Directional	3
2.2. Kinematika <i>Three Wheel Holonomic</i>	4
2.3. Rotary Encoder.....	5
2.4. Sensor GY – 25	6

2.5.	STM32F407 Discovery	7
2.6.	Mikrokontroler Blue Pill (STM32F103C8T6)	7
2.7.	Driver Motor BTS7960	8
2.8.	<i>Fuzzy Logic Controller (FLC)</i>	9
2.9.	<i>Proportional Derivatif Integral (PID)</i>	10
2.10.	Odometry	11
2.11.	Trajecotry Tracking	11
BAB 3.	METODE KEGIATAN	12
3.1.	Waktu dan Tempat Pelaksanaan	12
3.2.	Alat dan Bahan	12
3.2.1.	Peralatan yang di gunakan.....	12
3.2.2.	Bahan yang di guanakan	13
3.3.	Metode Kegiatan.....	14
3.3.1.	Studi Pustaka	14
3.3.2.	Perancangan	14
3.3.3.	Pengujian	16
3.3.4.	Dokumentasi	17
3.4.	Pelaksanaa Kegiatan	17
BAB 4.	HASIL DAN PEMBAHASAN	18
4.1.	Hasil Studi Pustaka	18
4.2.	Perancangan dan Hasil Pembuatan.....	18
4.2.1.	Perancangan Perangkat Keras	18
4.2.2.	Perancangan Perangkat lunak.....	24
4.3.	Pengujian.....	26
4.3.1.	Pengujian PID	27

4.3.2.	Pengujian Fuzzy	29
4.3.3.	Pengujian Odometry	32
4.3.4.	Pengujian Kinematic.....	34
BAB 5.	KESIMPULAN DAN SARAN	38
5.1.	Kesimpulan	38
5.2.	Saran.....	38
DAFTAR PUSTAKA		39

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Alat Perangkat Keras	12
Tabel 3. 2 Alat Perangkat Lunak.....	13
Tabel 3. 3 Bahan Yang di gunakan	13
Tabel 3. 4 Jadwal Pelaksanaan Kegiatan	17
Tabel 4. 1 Pin Encoder kontroler master.....	21
Tabel 4. 2 Pin GY25 pada kontroler master.....	22
Tabel 4. 3 Pin Telemetry Pada Kontroler master	23
Tabel 4. 4 Aturan basis fuzzy linear dan angular	25
Tabel 4. 5 Fuzzy Member Output Linear	30
Tabel 4. 6 Fuzzy Member Ouput Angular	30
Tabel 4. 7 Rule Pada Fuzzy Linear dan Angular	30
Tabel 4. 8 Tabel Data Pengujian Odometry	34

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Roda Omni Directional	3
Gambar 2. 2 Desain Mobile Robot three wheel holonomic.....	4
Gambar 2. 3 Rotary Encoder.....	6
Gambar 2. 4 Sensor GY-25	6
Gambar 2. 5 STM32F407 Discovery	7
Gambar 2. 6 STM32F103 Blue Pill	8
Gambar 2. 7 Driver Motor BTS7960	8
Gambar 2. 8 Konfigurasi Pin BTS7960	9
Gambar 2. 9 Diagram sistem Fuzzy Logic Controller	10
Gambar 2. 10 Dagram Blok PID controller	10
Gambar 2. 11 Contoh Visual Trajectory Tracking	11
Gambar 3. 1 Diagram Metode Kegiatan	14
Gambar 3. 2 Gambaran Sistem	15
Gambar 3. 3 Flowchart Sistem.....	16
Gambar 4. 1 desain layout Driver Motor	19
Gambar 4. 2 Driver Motor pada PCB	19
Gambar 4. 3 Desain Layout Kontroler Master	19
Gambar 4. 4 Kontroler Master Pada PCB	20
Gambar 4. 5 Desain Layout Kontroler Slave	20
Gambar 4. 6 Kontroler Master Pada PCB	21
Gambar 4. 7 Rotary Encoder pada robot.....	22
Gambar 4. 8 rangkaian GY25	22
Gambar 4. 9 Telemetry Pada Kontroler Master	23
Gambar 4. 10 Graphic User Interfaces.....	24
Gambar 4. 11 Fungsi Anggota Fuzzy Linear	24
Gambar 4. 12 Fungsi Anggota Fuzzy Angular	25
Gambar 4. 13 Hasil Simulasi Fuzzy Linear	26
Gambar 4. 14 Hasil Simulasi Fuzzy Angular.....	26
Gambar 4. 15 Graphic dengan konstanta kp	27

Gambar 4. 16 Graphic dengan konstanta k_p dan K_d	28
Gambar 4. 17 Graphic dengan konstanta k_p , k_i , dan k_d	28
Gambar 4. 18 Fuzzy Member Linear Input.....	29
Gambar 4. 19 Fuzzy Member Angular Input	29
Gambar 4. 20 Hasil Simulasi fuzzy linear	31
Gambar 4. 21 Hasil fuzzy angular robot	31
Gambar 4. 22 Hasil Simulasi fuzzy Angular	31
Gambar 4. 23 Hasil Fuzzy angular robot	31
Gambar 4. 24 Jarak Odometry sesungguhnya.....	33
Gambar 4. 25 Jarak Yang terhitung pada Sistem Odometry.....	33
Gambar 4. 26 Grafik Pengujian Koordinate Segitiga	35
Gambar 4. 27 Pengujian Koordinate Segitiga.....	35
Gambar 4. 28 Grafik Pengujian Koordinate Persegi Jarak dekat.....	36
Gambar 4. 29 Pengujian Koordinate Persegi jarak dekat (150 x 150 cm).....	36
Gambar 4. 30 Pengujian koordinate Persegi jarak jauh	37
Gambar 4. 31 Hasil Pengujian Kinematic dengan jarak jauh (1100 x 1280 cm)..	37

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan teknologi di bidang robotika semakin pesat, salah satu di antaranya perkembangan teknologi pergerakan mobile robot dalam sistem navigasi. Dalam sistem navigasi robot sendiri terdapat beberapa metode dan model pergerakan yang umum di gunakan seperti *line following*, *wall following* dan juga model pergerakan dengan sistem *non holonomic* seperti *differential* dan *ackerman drive* . Akan tetapi metode dan model di atas sangat kurang efektif karena harus menyediakan media pada lintasan yang dilalui seperti garis dan dinding, juga pergerakan yang sangat terbatas yaitu hanya dapat melakukan pergerakan maju dan berbelok saja. Untuk dapat menghemat waktu dan juga mempermudah media yang di gunakan maka di kembangkannya teknologi *invers kinematic* pada *mobile robot holonomic* dimana sistem navigasi ini tidak membutuhkan media luar seperti garis dan dinding, juga dapat bergerak ke segala arah tanpa berbelok terlebih dahulu.

Dalam metode *invers kinematic* pada *mobile robot holonomic* ini, menggunakan sensor pada robot yaitu rotary encoder dan kompas dimana data dari sensor di ubah menjadi data posisi aktual dalam bentuk koordinat sumbu x , y dan *heading (theta)* . Dari data posisi aktual yang didapat di lakukan *invers kinematic* untuk pergerakan *mobile robot* menuju target koordinat. Akan tetapi ada beberapa masalah yang terjadi yaitu ketidaktepatan pemberian kecepatan dan ketidaksesuaian *aktuator* sehingga menyebabkan navigasi robot tidak stabil. Untuk mengatasi hal tersebut perlu adanya penambahan metode pada sistem navigasi mobile robot seperti halnya metode *Fuzzy* yang di gunakan untuk mengendalikan kecepatan agar output yang di dapat sesuai dengan jarak yang akan di lalui dan juga penambahan metode *PID* untuk menjaga kestabilan *aktuator* pada robot.

Berdasarkan uraian di atas, maka pada tugas akhir ini akan di lakukan pengimplementasian *invers kinematic* dengan metode *fuzzy* dan *pid* untuk sistem navigasi pada *mobile robot three wheel holonomic*.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dapat diambil berdasarkan latar belakang yaitu bagaimana cara merancang sistem navigasi pada *mobile robot three wheel holonomic* dengan menggunakan metode *invers kinematik*, fuzzy logic, PID Controller, dan sistem *trajectory tracking* untuk pembacaan pergerakan mobile robot.

1.3. Tujuan

Tujuan dari pembuatan tugas akhir ini adalah pengimplementasian invers kinematik pada *mobile robot three wheel holonomic* dengan metode fuzzy dan pid guna untuk mempermudah dalam sistem navigasi robot dengan hanya menentukan koordinat yang akan di tuju dan juga untuk menjaga kestabilan pergerakan robot.

1.4. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah sebagai berikut :

1. Pengimplemtasian invers kinematik hanya pada *mobile robot three wheel holonomic*.
2. Pergerakan *Mobile Robot* hanya pada permukaan yang rata.
3. Power Suply hanya 24 Vdc dengan sumber baterai lippo.
4. Akuisisi data *Trajectory tracking* menggunakan *window form application*.

1.5. Manfaat

Manfaat dari tugas akhir ini diantaranya :

1. Dalam menentukan navigasi robot hanya perlu dengan memberikan koordinat saja.
2. Robot akan dapat berjalan otomatis menuju target dengan sistem navigasi invers kinematik dan odometry sesuai dengan koordinat yang di tentukan.
3. Dengan Menggunakan Metode Fuzzy dan PID pergerakan robot akan lebih stabil.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Roda Omni Directional

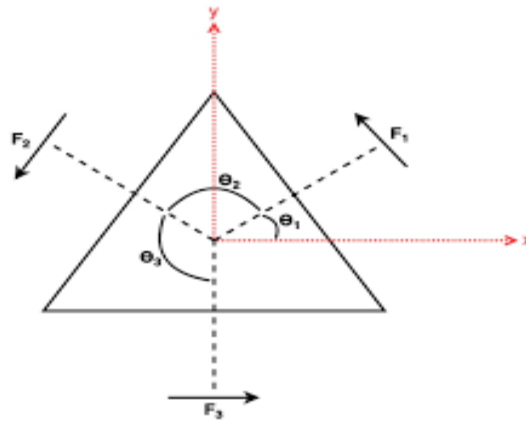
Roda Omni-directional adalah suatu roda unik karena memiliki kemampuan bergerak bebas dua arah. Roda ini berputar seperti roda pada umumnya serta mampu bergeser kesamping menggunakan roda di sepanjang lingkaran luar roda. Roda Omni-directional memungkinkan robot untuk mengkonversi dari robot nonholonomic untuk robot holonomic. Sebuah robot non-holonomic yang menggunakan roda normal hanya memiliki 2 DOF (Degree of Freedom) yang terkendali, yaitu bergerak maju / mundur dan rotasi. Robot non-holonomic tidak memiliki kemampuan untuk bergerak kesamping kiri / kanan sehingga membuat robot lebih lambat dan kurang efisien dalam mencapai tujuan yang diberikan. Roda omni-directional holonomic mampu mengatasi masalah ini karena roda memiliki 3 DOF. Berbeda dengan robot non-holonomic normal, robot omni-directional holonomic mampu bergerak ke segala arah tanpa mengubah arah roda. Roda omni-directional holonomic dapat bergerak maju mundur, geser ke samping, dan berputar pada posisi tetap. Kemampuan ini memungkinkan robot yang menggunakan omnidirectional mampu bermanuver untuk lebih lincah dan lebih efisien. (Pambudi, 2011)



Gambar 2. 1 Roda Omni Directional

2.2. Kinematika *Three Wheel Holonomic*

Kinematika dalam robot Holonomic sangat penting untuk mendefinisikan arah dan kecepatan robot, robot dapat bergerak dalam segala arah tanpa harus berbelok terlebih dahulu. Dengan Kinematika balik dapat mengubah masukan input berupa koordinat (x , y , θ) menjadi kecepatan dan arah masing – masing roda dalam bentuk Kecepatan angular (w_1 , w_2 , w_3).



Gambar 2. 2 Desain Mobile Robot three wheel holonomic

Berdasarkan rancangan pada gambar di atas maka terbentuk sudut antar sumbu motor :

$$\text{Motor 1} = 30^\circ + 90^\circ = 120^\circ$$

$$\text{Motor 2} = 30^\circ + 120^\circ + 90^\circ = 240^\circ \quad [1]$$

$$\text{Motor 3} = 0^\circ.$$

Dari sudut yang terbentuk maka akan di peroleh persamaan arah sumbu, yaitu

$$V_x = \cos(120^\circ) \times \text{Motor 1} + \cos(240^\circ) \times \text{Motor 2} + \cos(0^\circ) \times \text{Motor 3}$$

$$V_y = \sin(120^\circ) \times \text{Motor 1} + \sin(240^\circ) \times \text{Motor 2} + \sin(0^\circ) \times \text{Motor 3} \quad [2]$$

$$w = \text{Motor 1} + \text{Motor 2} + \text{Motor 3}$$

Dari persamaan 2 diubah menjadi persamaan kedalam matriks

$$\begin{bmatrix} Vx \\ Vy \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(120) & \cos(240) & \cos(0) \\ \sin(120) & \sin(240) & \sin(0) \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M1 \\ M2 \\ M3 \end{bmatrix} \quad [3]$$

Di peroleh

$$\begin{bmatrix} Vx \\ Vy \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.5 & -0.5 & 1 \\ 0.86 & -0.86 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M1 \\ M2 \\ M3 \end{bmatrix} \quad [4]$$

Untuk mencari persamaan M1, M2, M3 di gunakan invers pada persamaan 4

$$M^{-1} = \begin{pmatrix} -0.33 & 0.58 & 0.33 \\ -0.33 & -0.58 & 0.33 \\ 0.67 & 0 & 0.33 \end{pmatrix} \quad [5]$$

Maka akan di peroleh persamaan kinematika balik

$$\begin{bmatrix} M1 \\ M2 \\ M3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.33 & 0.58 & 0.33 \\ -0.33 & -0.58 & 0.33 \\ 0.67 & 0 & 0.33 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Vx \\ Vy \\ W \end{bmatrix} \quad [6]$$

2.3. Rotary Encoder

Encoder adalah sebuah rangkaian yang dapat berfungsi mengkonversi suatu data kedalam bentuk data baru. Encoder dibutuhkan untuk mengkonversi data dari satu sistem bilangan ke sistem bilangan lainnya. Prinsip kerja Encoder adalah mengkonversi suatu data agar data tersebut dapat diterima oleh receiver dalam keadaan utuh. Dimana pada bagian penerima terdapat decoder yang dapat mengambil data yang telah dikonversi oleh Encoder.



Gambar 2. 3 Rotary Encoder

2.4. Sensor GY – 25

GY – 25 adalah sensor yang memberikan output berupa roll (Gerakan sumbu longitudinal) , pitch (gerakan sumbu lateral) dan yaw (gerakan sumbu vertikal). Dalam module GY – 25 ini sudah tertanam mikrokontroler sehingga output dari sensor ini sudah siap di gunakan tanpa perlu adanya filter. (Dawud, 2019)



Gambar 2. 4 Sensor GY-25

Adapun Spesifikasi dari sensor GY-25 sebagai berikut :

- Range Pengukuran Sudut : -180° 1°
- Resolusi : 0.01°
- Akurasi Pengukuran : 1
- Respon Frekuensi : 100 Hz (115200 bps)
- Suhu penyimpanan : 40° 1°
- Ukuran : 11.5 mm x 15.5 mm

2.5. STM32F407 Discovery

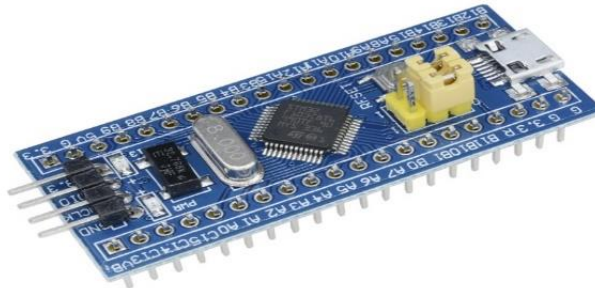
STM32F407 merupakan mikrokontroller 32 bit keluaran STMicroelectronics yang mengusung prosesor ARM®Cortex®-M4 dengan memori flash 1 Mbyte dan RAM 192 Kbyte dengan kecepatan maksimal 168 Mhz. Mikrokontroller STM32F407 memiliki ST-LINK /V2 menggunakan konektor SWD sebagai pemrograman dan debugging, Sensor LIS3DSH (Motion sensor) , MP45DT02 (audio sensor) dan USB OTG dengan micro A-B *connector*. (STMicroelectronics, User manual Discovery kit with STM32F407VG MCU, 2020)



Gambar 2. 5 STM32F407 Discovery

2.6. Mikrokontroler Blue Pill (STM32F103C8T6)

STM32 Blue Pill merupakan salah satu board mikrokontroller buatan *STMicroelectronics*. Mikrokontroller yang digunakan adalah STM32F103C8 yang berbasis ARM Cortex M3 dengan Spesifikasi Flash Memory 64KB / 128KB, SRAM 20KB dengan Clock Speed 72 Mhz juga di lengkapi dengan pin digital 22 pin (6 PWM) serta pin analog 8 pin. (STMicroelectronics, STM32F103x8, 2015)



Gambar 2. 6 STM32F103 Blue Pill

2.7. Driver Motor BTS7960

Pada driver motor DC ini dapat mengeluarkan arus hingga 43A, dengan memiliki fungsi PWM. Tegangan sumber DC yang dapat di berikan antara 5.55 sampai 27 VDC, driver motor ini menggunakan rangkaian full H-bridge dengan IC BTS7960.



Gambar 2. 7 Driver Motor BTS7960

Adapun pin Konfigurasi pada Driver Motor BTS7960 sebagai berikut :

- 1 = RPWM (Forward Level atau Sinyal PWM Input, aktif HIGH)
- 2 = LPWM (Inversion Level atau Sinyal PWM Input, aktif HIGH)
- 3 = R_EN (Forward Drive Enable input, Aktif HIGH)
- 4 = L_EN (Reverse Drive Enable input, Aktif HIGH)

5 = R_IS (Forward Drive, - side current alarm output)

6 = L_IS (Reverse Drive, - side current alarm output)

7 = VCC (+5v, connect ke arduino)

8 = GND (Ground)

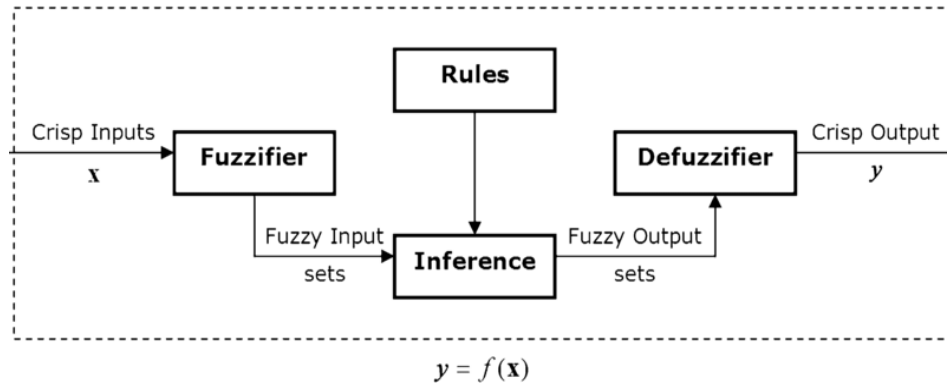


Gambar 2. 8 Konfigurasi Pin BTS7960

2.8. *Fuzzy Logic Controller (FLC)*

Fuzzy logic controller merupakan salah satu metode pengendalian sistem yang saat ini banyak di gunakan di beberapa disiplin ilmu, khususnya di bidang sistem kendali. Dalam perancangan FLC tidak diperlukan model matematis dari sistem yang akan di kendalikan. Hal ini menjadi salah satu kelebihan FLC_ sehingga perancangan pengendali lebih mudah dilakukan dengan hanya mengandalkan aturan logika saja.

Kendali logika fuzzy atau populer dengan istilah adalah sebuah skema sistem kendali yang menggunakan konsep teori himpunan fuzzy dalam perancangannya. Terdapat tiga tahapan dalam FLC, yaitu fuzzifikasi, mekanisme inferensi dan defuzzifikasi. Fuzzifikasi merupakan tahap awal yang bekerja dengan cara mengubah nilai tegas (crisp) dari suatu variabel menjadi nilai fuzzy. Nilai yang telah berbentuk fuzzy ini selanjutnya digunakan sebagai masukan dari mekanisme inferensi. Pada tahap ini, akan dilakukan pengambilan keputusan dari masukan yang ada berdasarkan basis aturan logika yang dirancang. (Wahab, 2017)

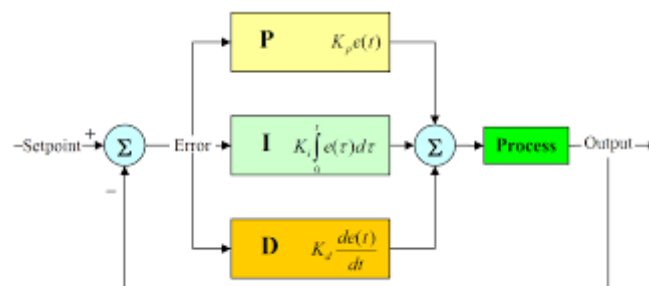


Gambar 2. 9 Diagram sistem Fuzzy Logic Controller

2.9. *Proportional Derivative Integral (PID)*

Sistem kendali PID merupakan sistem kendali loop tertutup yang cukup sederhana dan memiliki performa yang bagus. Namun kendali ini tidak dapat bekerja dengan baik apabila terjadi ketidakpastian dan ketidaklinieran pada sistem.

Sistem kendali PID terdiri dari tiga macam kendali, yaitu kendali P (Proportional), D (Derivatif) dan I (Integral), dengan masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan. Tujuan penggabungan ketiga jenis kendali tersebut adalah untuk menutupi kekurangan dan menonjolkan kelebihan dari masing-masing jenis kendali. Dalam perancangan sistem kendali PID yang perlu dilakukan adalah mengatur parameter KP, KI, dan KD agar respon sinyal keluaran sistem terhadap masukan memiliki harga tertentu sebagaimana yang diinginkan. Dalam penelitian ini PID controller akan didesain dengan menggunakan metode tuning Ziegler – Nichols.



Gambar 2. 10 Diagram Blok PID controller

2.10. Odometry

Odometry Merupakan suatu metode untuk memperkirakan posisi relatif terhadap posisi awal dalam bernavigasi sehingga memungkinkan gerak robot lebih leluasa. Dalam odometry sendiri data yang di ambil adalah data dari sensor rotary encoder yang di proses menjadi data jarak dan posisi. Untuk perhitungan odometry pada *mobile robot Three Wheel Holonomic* menggunakan perhitungan dasar trigonometri sebagai berikut :

$$x = r \left(\frac{2}{3} \phi_1 - \frac{1}{3} \phi_2 - \frac{1}{3} \phi_3 \right)$$

$$y = r \left(\frac{2}{3} \phi_1 - \frac{1}{3} \phi_2 - \frac{1}{3} \phi_3 \right)$$

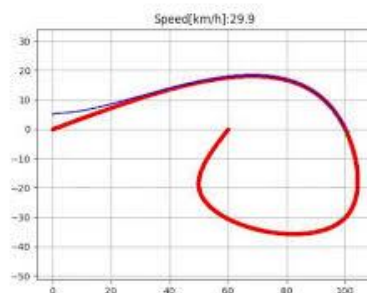
$$\text{theta} = G_y - 25$$

dengan angle dari perhitungan encoder,

$$\phi \text{ position} = \frac{2\pi}{\text{Encoder Resolution}}$$

2.11. Trajecotry Tracking

Trajecotry Tracking merupakan penjejakan yang di lalui oleh robot, dengan menampilkan data dari perhitungan odometry (Posisi relatif) dan kemudian data di olah menjadi visual Graphic untuk mengetahui lintasan yang yang di lalui. Dalam trajectory ini berguna untuk mengetahui error dari sebuah sistem pada robot agar lebih mudah untuk *maintanance* .



Gambar 2. 11 Contoh Visual Trajectory Tracking

BAB 3. METODE KEGIATAN

3.1. Waktu dan Tempat Pelaksanaan

Penelitian mengenai tugas akhir ini di kerjakan selama 6 bulan, yaitu mulai 19 Januari 2021 hingga Agustus 19 Juni 2021. Pengerjaan laporan tugas akhir ini di lakukan di laboratorium Robotika Politeknik Negeri Jember.

3.2. Alat dan Bahan

3.2.1. Peralatan yang di gunakan

Alat- alat yang di butuhkan dalam pengerjaan Laporan Akhir ini terbagi atas dua macam, yaitu perangkat keras dan perangkat lunak.

Tabel 3. 1 Alat Perangkat Keras

NO	Jenis Alat	Spesifikasi
1.	Solder	Solder 60 W
2.	Obeng	Gergaji Besi
3.	Bor	Bor tangan dan Bor duduk
4.	Gerinda	Gerinda Listrik
5.	Gergaji	Obeng plus dan Min
6.	Tang	Tang cucut dan Tang potong
7.	Setrika	Setrika 150 W
8	Multimeter	Multimer Voltage, Arus, dan Hambatan
9	Laptop	<i>Processor AMD A9</i>
10	Tang Rivert	Tang Rivert 4 mm

Tabel 3. 2 Alat Perangkat Lunak

No	Aplikasi	Spesifikasi
1	Sistem Operasi	Windows 10
2	Aplikasi Desain PCB	Eagle versi 7
3	Framework Mikrokontroler	Arduino IDE
4.	GUI	Visual Studio C#
5.	<i>Fuzzy Simulation</i>	Matlab

3.2.2. Bahan yang di gunakan

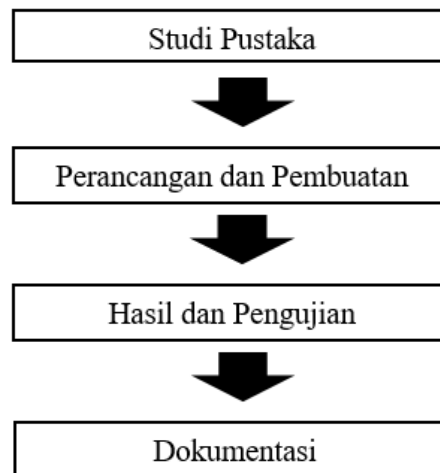
Bahan yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini antara lain :

Tabel 3. 3 Bahan Yang di gunakan

No	Jenis Bahan	Spesifikasi	Jumlah
1	Baterai	Lipo 3 Cell 3300 mAh	3 Buah
2	Modul	a. GY - 25	1 Buah
		b. STM32F4	1 Buah
		c. STM32F1	3 Buag
		d. Shield STM32F4	1 Buah
3	Roda	a. Omni Wheel 15 cm	3 Buah
		b. Omni Wheel 5 cm	3 Buah
4	Alumunium	a. Pipih	6 Meter
		b. Spigot	6 Meter
5	Kabel	a. Kabel pita	3 Meter
		b. Kabel Body	4 Meter
6	Hub omni	Hub Shaff 10 mm	3 Buah
7	Motor	PG45	3 Buah
8	Rotary Encoder	Omron	3 Buah

3.3. Metode Kegiatan

Dalam melaksanakan kegiatan pengerjaan laporan akhir ini, penulis akan menggunakan rangkaian metode penelitian yang tercantum pada diagram di bawah ini.



Gambar 3. 1 Diagram Metode Kegiatan

3.3.1. Studi Pustaka

Dalam pengerjaan tugas akhir ini membutuhkan sumber-sumber referensi sebagai bahan rujukan dan pertimbangan dalam mengerjakan tugas akhir. Penulis memadukan beberapa referensi, mencari dan mengumpulkan informasi yang serupa dengan topik atau masalah yang menjadi objek penelitian. Informasi tersebut dapat diperoleh dari buku-buku, karya ilmiah, jurnal penelitian, laporan akhir, skripsi, tesis dan internet.

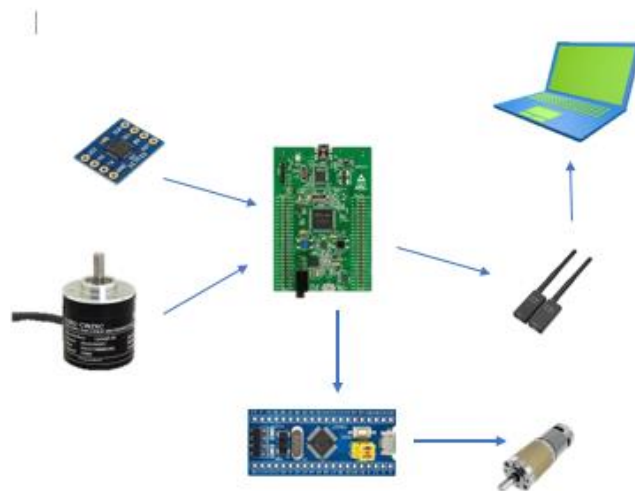
3.3.2. Perancangan

1. Gambaran Sistem

Prinsip kerja dari sistem ini adalah Mikrokontroler master Menerima Inputan *Coordinate*, lalu Mikrokontroler Master membaca Sensor Kompas dan Rotary encoder yang datanya akan di proses menggunakan persamaan kinematika yang nanti outputnya berupa kecepatan RPM yang akan di kirim ke masing – masing

slave, lalu slave akan mengolah data inputan RPM pada perhitungan PID yang nanti keluaran dari pid berupa PWM ke motor DC.

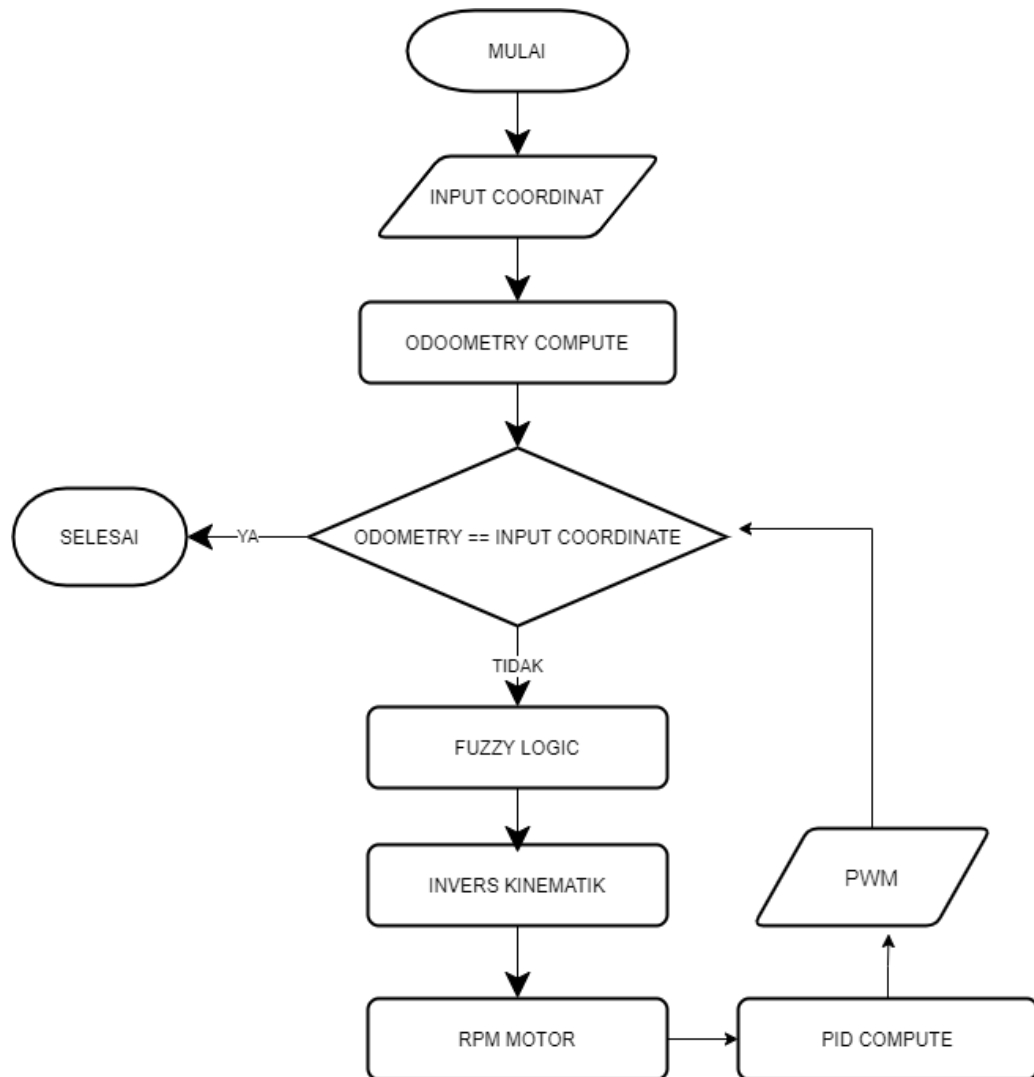
Pada Mikrokontroler master perhitungan Odometry atau posisi aktual nantinya akan di kirim ke GUI pada laptop melalui HC-05 (Serial Bluetooth) dan data yang di kirim akan di tampilkan Berbentuk *trajectory* pada GUI komputer.



Gambar 3. 2 Gambaran Sistem

2. Perancangan perangkat lunak

Perancangan perangkat lunak ini menggunakan bahasa C dengan Framework Arduino IDE untuk program yang akan di tanam pada mikrokontroler *mobile robot*, dengan hasil kompilasinya berupa *file.hex* yang di komunikasikan secara serial untuk *upload* program ke mikrokontroler. Program yang akan di tanam berupa konfigurasi port serta konfigurasi GPIO (*General purpose input / output*). Sebelum melakukan pemograman pada mikrokontroler perlu adanya pembuatan diagram alir untuk memperjelas jalannya program yang akan di buat.



Gambar 3. 3 Flowchart Sistem

3.3.3. Pengujian

Tahap pengujian di lakukan untuk memastikan sistem pada mobile robot bekerja dengan baik dan sesuai target yakni mobile robot bernavigasi sesuai target koordinate yang di tentukan dan pergerakan yang stabil. Adapun pengujian di lakukan meliputi pengujian *odometry* (posisi aktual), pengujian Invers kinematic dengan inputan data fuzzy logic controller dan pengujian PID controller.

3.3.4. Dokumentasi

Tahap akhir pengerjaan laporan ini yaitu dengan dilakukan dokumentasi terhadap semua data dan proses pengumpulan informasi serta pengerjaannya. Tujuannya agar dapat menjadi referensi bagi pengembang selanjutnya dan mampu menambah pengetahuan pembaca.

3.4. Pelaksanaa Kegiatan

Jadwal Pelaksanaan Laporan Akhir Ini Yang Berjudul “Implementasi *Invers Kinematic Pada Mobile Robot Three Wheel Holonomic Dengan Metode Fuzzy Pid*” dapat di lihat pada tabel 3.4 berikut.

Tabel 3. 4 Jadwal Pelaksanaan Kegiatan

No	Jenis Kegiatan	Bulan Ke-					
		1	2	3	4	5	6
1	Studi Pustaka						
2	Perancangan						
3	Pembuatan dan Implementasi						
4	Pengujian						
5	Dokumentasi						

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Studi Pustaka

Hasil studi pustaka yang di gunakan pada penyusunan tugas akhir dengan judul “Implementasi Invers Kinematic pada Mobile Robot Three Wheel Holonomic dengan Metode Fuzzy PID ” berasal dari berbagai sumber . Diantaranya dari *ebook*, jurnal, tugas akhir , tesis dan internet. Sebagaimana hasil studi pustaka telah di muat pada BAB 2.

4.2. Perancangan dan Hasil Pembuatan

Berikut merupakan rancangan dan perakitan pada robot meliputi perakitan perangkat keras meliputi rangkian elektronika dan kerangka robot, serta perakitan perangkat lunak meliputi program tertanam pada robot dan juga GUI trajectory.

4.2.1. Perancangan Perangkat Keras

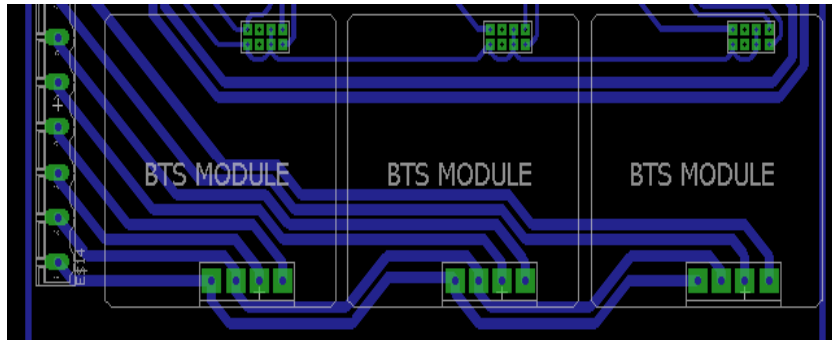
Di dalam perancangan perangkat keras pada tugas akhir ini di bagi menjadi dua bagian yaitu perancangan *base robot* dan perancangan kontroler yang di gunakan untuk mengontrol jalannya sistem pada robot.

1. Perangkat kontroler

Pada perangkat kontroler terdapat beberapa perangkat elektronik yang di gunakan yaitu mikrokontroler slave, master, driver motor dan juga sensor – sensor.

A. Driver motor

Driver motor yaitu suatu perangkat rangkaian elektronika yang di gunakan untuk mengontrol motor sesuai sinyal yang di dapat melalui mikrokontroler. Pa motor driver ini menggunakan suplai power 24 volt.



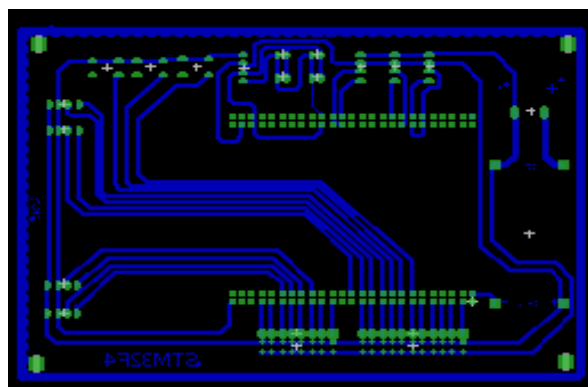
Gambar 4. 1 desain layout Driver Motor



Gambar 4. 2 Driver Motor pada PCB

B. Kontroler Master

Kontroler master adalah perangkat sistem utama yang mengatur semua jalannya robot . kontroler master ini menggunakan mikrokontroler *STM32F4 Discovery*, pada kontroler master ini menggunakan tegangan power 5 vdc.



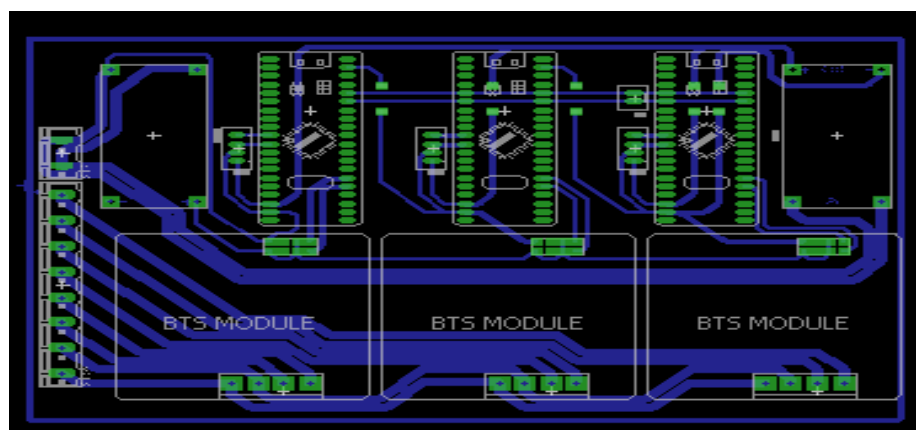
Gambar 4. 3 Desain Layout Kontroler Master



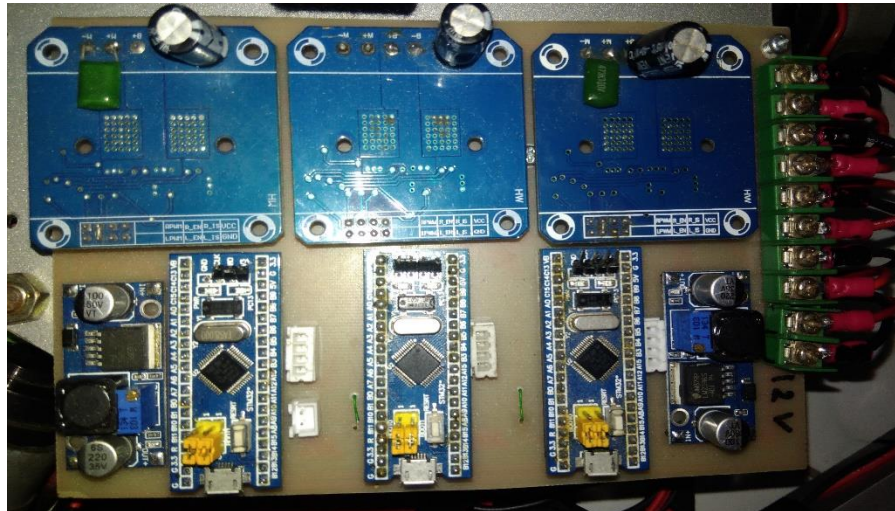
Gambar 4. 4 Kontroler Master Pada PCB

C. Kontroler Slave

Kontroler Slave adalah perangkat sistem yang berfungsi untuk memberi sinyal pada driver motor untuk menjalankannya, pada kontroler slave ini terdapat 3 buah mikrokontroler *STM32F103* dimana masing masing motor akan di kendalikan oleh satu mikrokontroler *STM32F103* untuk memproses pid pada motor. pada kontroler slave ini membutuhkan tegangan 5 vdc.



Gambar 4. 5 Desain Layout Kontroler Slave



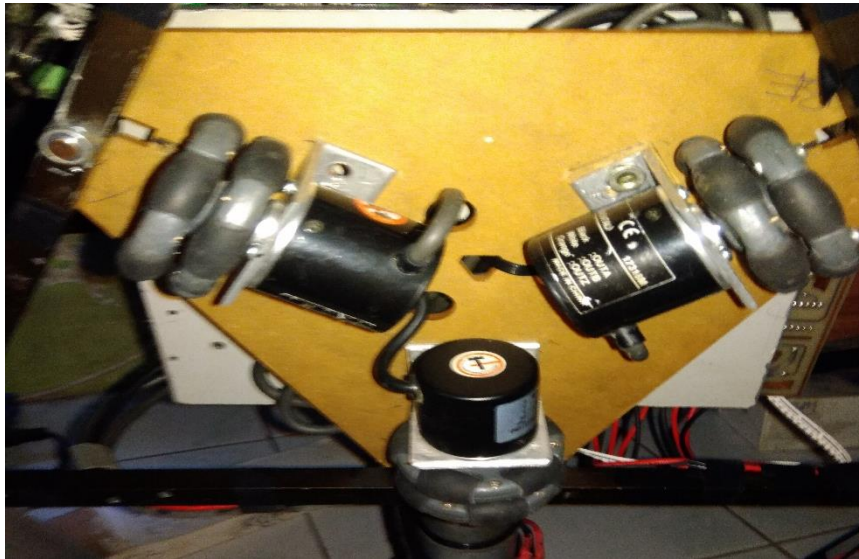
Gambar 4. 6 Kontroler Master Pada PCB

D. Sensor Rotary Encoder

Pada sensor rotary encoder encoder ini berfungsi untuk menghitung jarak berdasarkan data yang di dapat dan di proses oleh kontroler master, cara kerja dari sensor rotary ini yaitu kontroler master akan menghitung hasil *count tick* dari sensor dan mengkonversi data *odometry* (data posisi).

Tabel 4. 1 Pin Encoder kontroler master

ROTARY ENCODER	PIN ROTARY ENCODER	
	CHANEL A	CHANEL B
Enc Belakang	PB12	PB10
Enc Kanan	PA2	PA0
Enc Kiri	PA6	PA4



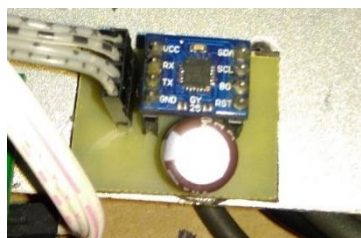
Gambar 4. 7 Rotary Encoder pada robot

E. Sensor GY25

Pada sensor GY25 ini terdapat 3 output yang dihasilkan yaitu *roll*, *pitch*, dan *yaw*, akan tetapi hanya output yaw yang akan di ambil untuk referesi heading (arah hadap robot), pada sensor GY25 ini akan dikomunikasikan dengan kontroler master menggunakan protokol serial, dan juga sensor gy25 ini membutuhkan power dengan 5 vdc.

Tabel 4. 2 Pin GY25 pada kontroler master

VCC	5V
GND	GND
RX	PD6
TX	PD5



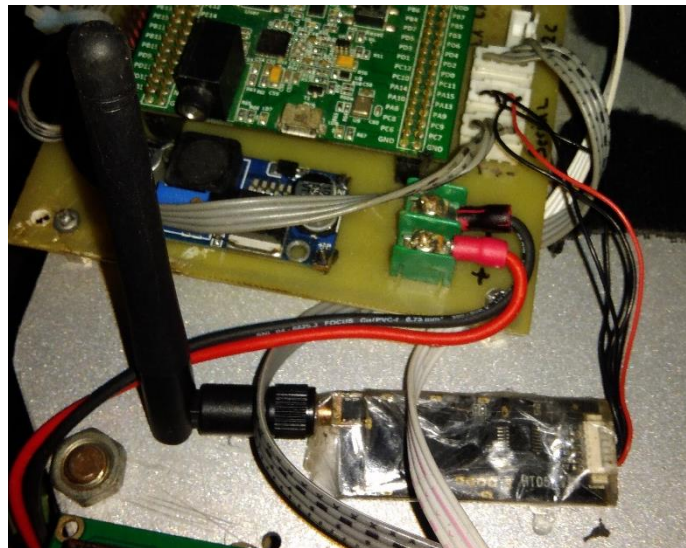
Gambar 4. 8 rangkaian GY25

F. Telemetry

Telemetry ini akan di gunakan untuk mengirim dan menerima data dari komputer ke robot untuk data trajectory, pada telemtry ini menggunakan power dengan 5 vdc dan frekuensi 433 Mhz yang di hubungkan dengan kontroler master menggunakan protokol serial dengan baudrate 57600 bps (*bit per second*).

Tabel 4. 3 Pin Telemetry Pada Kontroler master

VCC	5V
GND	GND
RX	PC11
TX	PC10



Gambar 4. 9 Telemetry Pada Kontroler Master

2. Bentuk Kerangka Robot

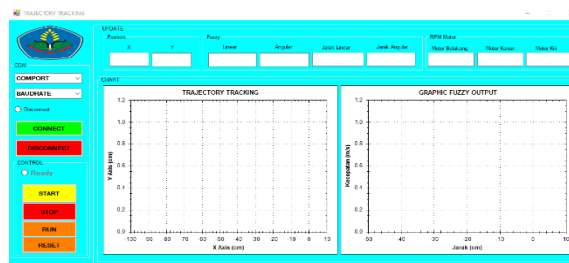
Kerangka robot ini berbentuk segitiga menggunakan 3 roda *omni wheel* dengan diameter 10 cm, dan untuk ukuran kerangka robot sendiri yaitu panjang 54 cm dan lebar 16 cm.

4.2.2. Perancangan Perangkat lunak

Pada perancangan perangkat lunak ini terbagi menjadi dua yaitu perancangan Graphic user interface untuk menampilkan data trajectory dan juga perancangan desain fuzzy.

1. Perancangan *Graphic User interfaces*

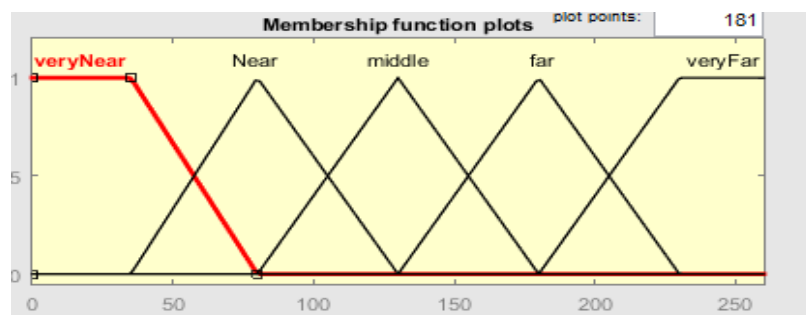
Perancangan *Graphic User Interfaces* ini menggunakan bahasa pemrograman C sharp dengan *framework windows form application*. Pada GUI ini akan di tampilkan data trajectory posisi yang di lewati oleh robot dan juga data ouput fuzzy berbentuk grafik.



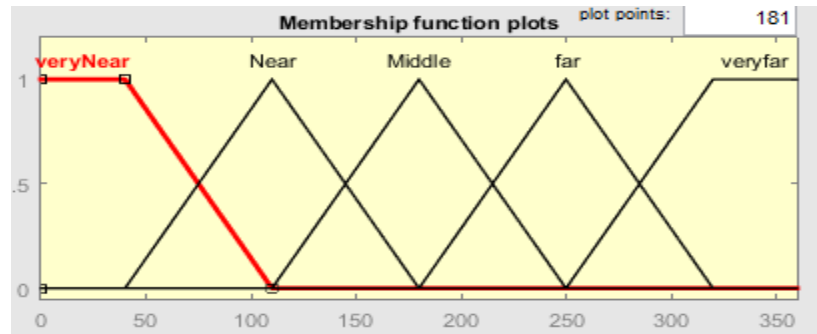
Gambar 4. 10 *Graphic User Interfaces*

2. Perancangan Desain Fuzzy

Perancangan desain fuzzy di buat dengan menggunakan matlab, dan mensimuilasikan hasil output dengan memasukan nilai yang sudah di tentukan. Dengan adanya desain dan simulasi kita bisa mencocokkan output hasil program dengan hasil simulasi.



Gambar 4. 11 Fungsi Anggota Fuzzy Linear

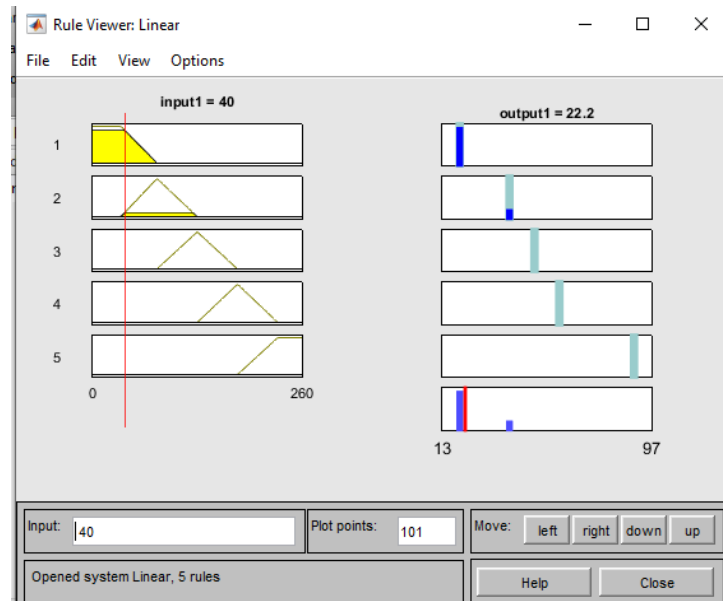


Gambar 4. 12 Fungsi Anggota Fuzzy Angular

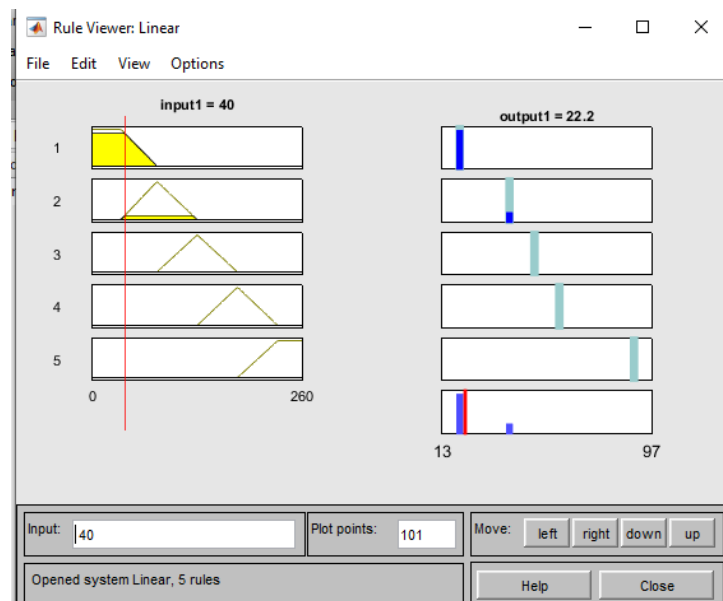
Adapun tabel basis aturan fuzzy sebagai berikut

Tabel 4. 4 Aturan basis fuzzy linear dan angular

NO	FUNGSI KEANGGOTAAN	KECEPATAN
1	SANGAT DEKAT	SANGAT PELAN
2	DEKAT	PELAN
3	SEDANG	SEDANG
4	JAUH	CEPAT
5	SANGAT JAUH	SANGAT CEPAT



Gambar 4. 13 Hasil Simulasi Fuzzy Linear



Gambar 4. 14 Hasil Simulasi Fuzzy Angular

4.3. Pengujian

Setelah selesai melakukan perancangan dan pembuatan perangkat keras maupun perangkat lunak maka dilakukan pengujian system sesuai dengan yang di

rencanakan, meliputi pengujian *PID*, pengujian *Fuzzy*, pengujian *Odometry*, dan pengujian *Kinematic*.

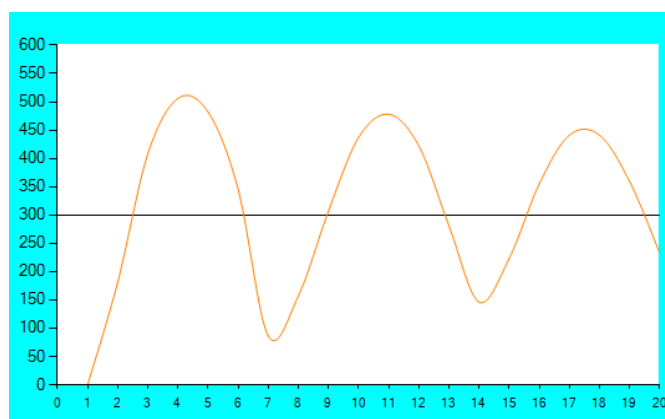
4.3.1. Pengujian PID

Pada pengujian ini dilakukan sebuah *tunning* nilai konstanta pid untuk mencari kestabilan grafik kecepatan motor yang berupa rpm. nilai konstanta yang pertama di cari adalah *Proportional* untuk mencari respon motor yang baik, lalu mencari nilai *Derivatif* dan *Integra* untuk menjaga kestabilan kecepatan motor dan meminimalisir error yang terjadi.

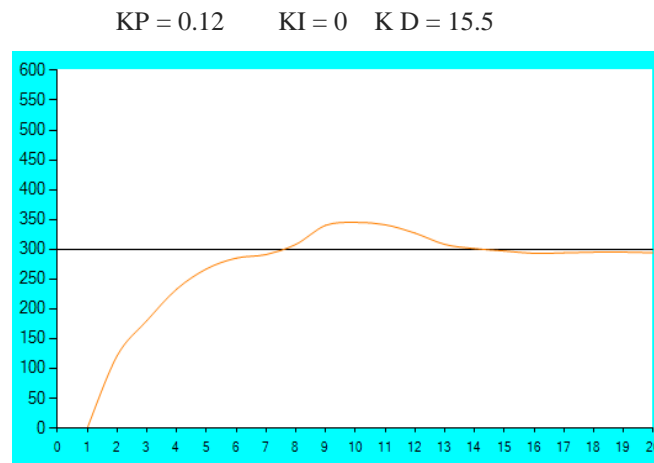
Berikut adalah list kode program perhitungan pid untuk menentukan kecepatan motor yang berupa rpm, yaitu :

```
1. // output Proportional
2. Error = abs(setRPM) - abs(RPM);
3. P = kp * Error;
4. // output Integral
5. sumError += Error * TS;
6. I = ki * sumError;
7. // output Derivatif
8. rateError = (Error - lError) / TS;
9. D = kd * rateError;
10.// hasil
11.PID = P + I + D;
12.PWM = PWM + PID;
```

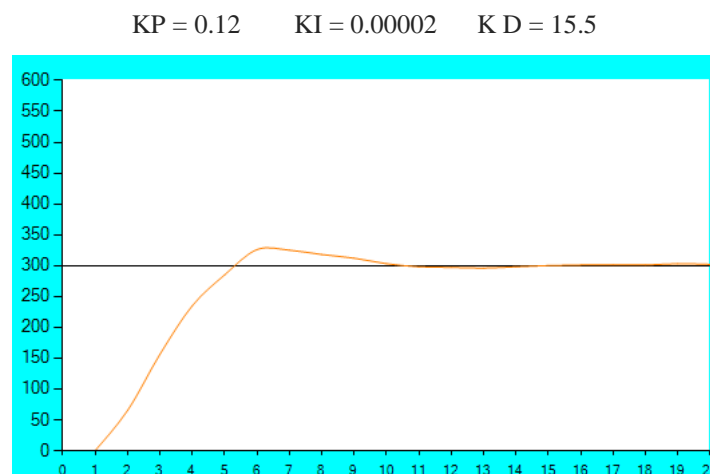
KP = 0.12 KI = 0 KD = 0



Gambar 4. 15 Graphic dengan konstanta kp



Gambar 4. 16 Graphic dengan konstanta kp dan Kd



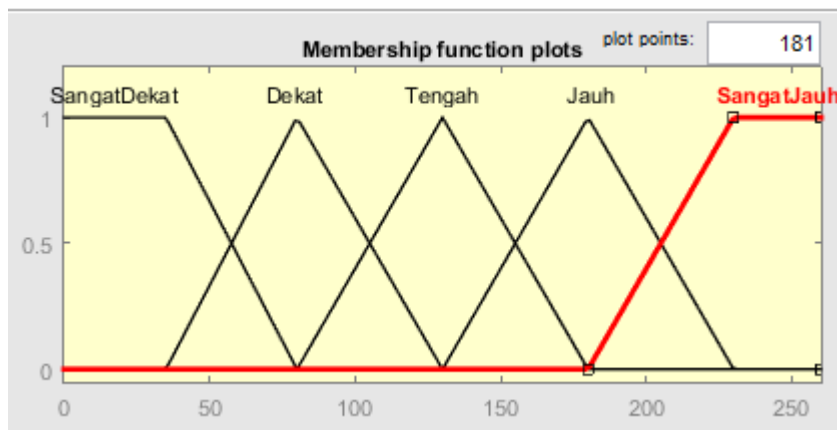
Gambar 4. 17 Graphic dengan konstanta kp, ki,dan kd

Berdasarkan hasil pada gambar 4.14 , 4.15, dan 4.17 dapat disimpulkan ketika pada sistem pid hanya terdapat nilai konstanta kp akan mengakibatkan ouput kecepatan akan *overshoot* dari *setpoint* berlebih maka harus di tambah dengan nilai konstanta kd dan ki untuk menurunkan overshoot dan dan menstabilkan output kecepatan motor.

4.3.2. Pengujian Fuzzy

Metode fuzzy ini di gunakan untuk menentukan kecepatan robot linear dan angular dengan inputan berupa jarak yang akan di tempuh, dan output berupa kecepatan linear dengan satuan cm/s dan kecepatan angular dengan satuan rad/s yang kemudian output dari fuzzy ini akan di komputasi pada kinematik untuk menjadi kecepatan rpm tiap motor dc.

Dalam metode fuzzy pada tugas akhir ini terdapat 2 perhitungan fuzzy yaitu perhitungan fuzzy linear dan fuzzy angular dimana kedua perhitungan memiliki fungsi member input dan output yang berbeda. Adapaun fungsi member pada fuzzy linear dan angular sebagai berikut



Gambar 4. 18 Fuzzy Member Linear Input



Gambar 4. 19 Fuzzy Member Angular Input

Tabel 4. 5 Fuzzy Member Output Linear

NO	Fuzzy Member Linear Output	Nilai (m / s)
1	SANGAT LAMBAT	30
2	LAMBAT	50
3	SEDANG	60
4	CEPAT	70
5	SANGAT CEPAT	100

Tabel 4. 6 Fuzzy Member Ouput Angular

NO	Fuzzy Member Angular Output	Nilai (rad / s)
1	SANGAT LAMBAT	20
2	LAMBAT	40
3	SEDANG	50
4	CEPAT	75
5	SANGAT CEPAT	100

Dengan adanya fuzzy member input dan output maka akan di peroleh Defuzzyfikasi yaitu mengkombinasikan fuzzy member input dan fuzzy member (Bisa di sebut dengan rule Base) menjadi satu nilai yang pasti, proses defuzzy ini menggunakan metode *Weighted Average* (Pengambilan rata rata nilai).

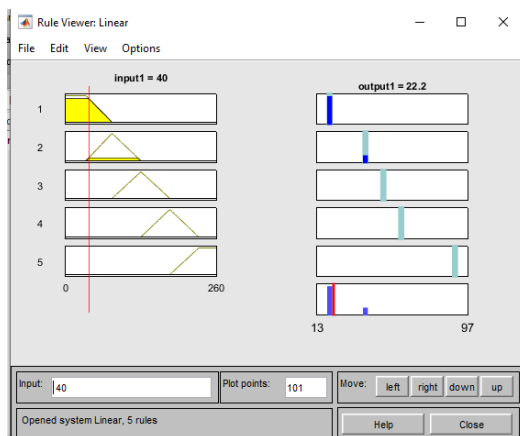
Tabel 4. 7 Rule Pada Fuzzy Linear dan Angular

NO	FUZZY MEMBER INPUT	FUZZY MEMBER OUTPUT
1.	SANGAT DEKAT	SANGAT LAMBAT
2.	DEKAT	LAMBAT
3.	SEDANG	SEDANG
4.	JAUH	CEPAT
5.	SANGAT JAUH	SANGAT CEPAT

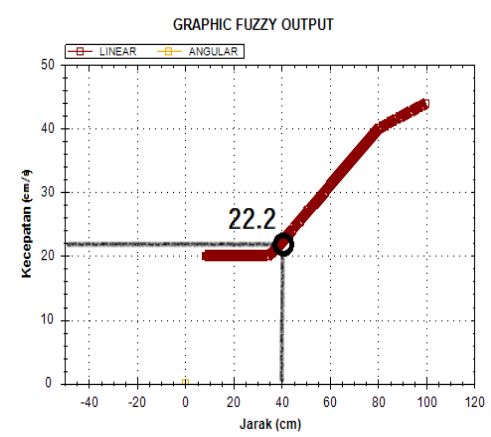
Maka Nilai Defuzzy akan di peroleh dengan rumus Weighted Average yaitu

$$\text{Output} = \frac{\text{Jumlah}((\text{Derajat Keanggotaan}) \times (\text{Nilai Output Member}))}{\text{Jumlah Semua Derajat Keanggotaan}}$$

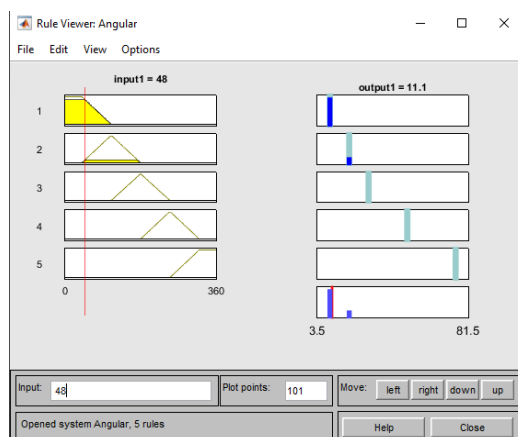
Dalam pengujian fuzzy ini yaitu dengan melihat grafik fuzzy yang di dapatkan dari robot dan mencocokkan dengan hasil simulasi fuzzy yang di lakukan dengan aplikasi matlab.



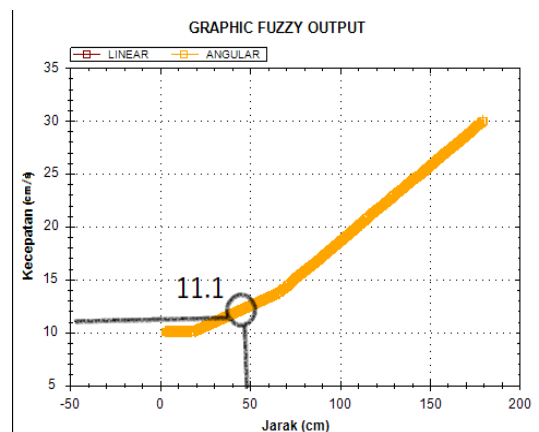
Gambar 4. 20 Hasil Simulasi fuzzy linear



Gambar 4. 21 Hasil fuzzy angular robot



Gambar 4. 22 Hasil Simulasi fuzzy Angular



Gambar 4. 23 Hasil Fuzzy angular robot

4.3.3. Pengujian Odometry

Metode odometry ini di gunakan untuk mendapatkan nilasi posisi sesungguhnya pada robot yang berupa koordinat dengan satuan cm, dalam proses system odometry ini yaitu dengan mengambil nilai dari ketiga sensor rotary encoder dan di komputasi menjaadi data posisi, system odometry ini menjadi parameter untuk kinematika menentukan kecepatan masing – masing motor. untuk rumus yang di gunakan sesuai dengan tinjauan pustaka yang telah di lakukan yaitu :

$$x = r = \left(\frac{2}{3} \phi_1 - \frac{1}{3} \phi_2 - \frac{1}{3} \phi_3 \right)$$

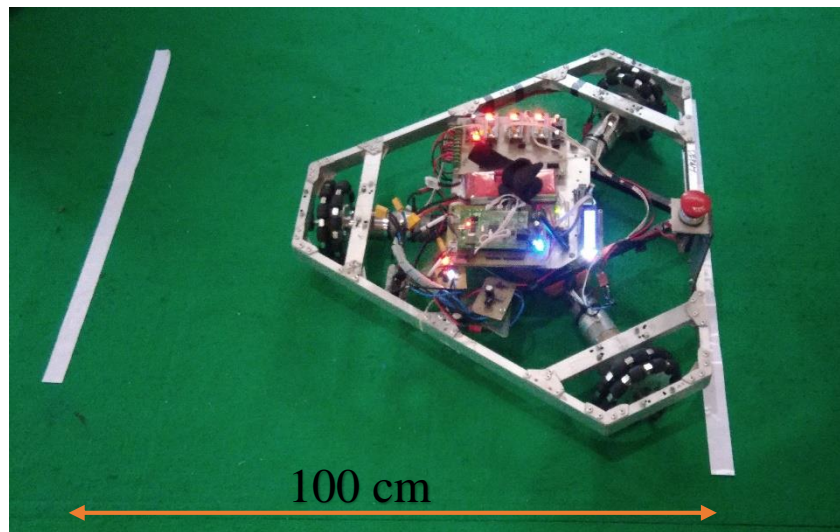
$$y = r \left(\frac{2}{3} \phi_1 - \frac{1}{3} \phi_2 - \frac{1}{3} \phi_3 \right)$$

$$\theta = \text{Sensor gy-25}$$

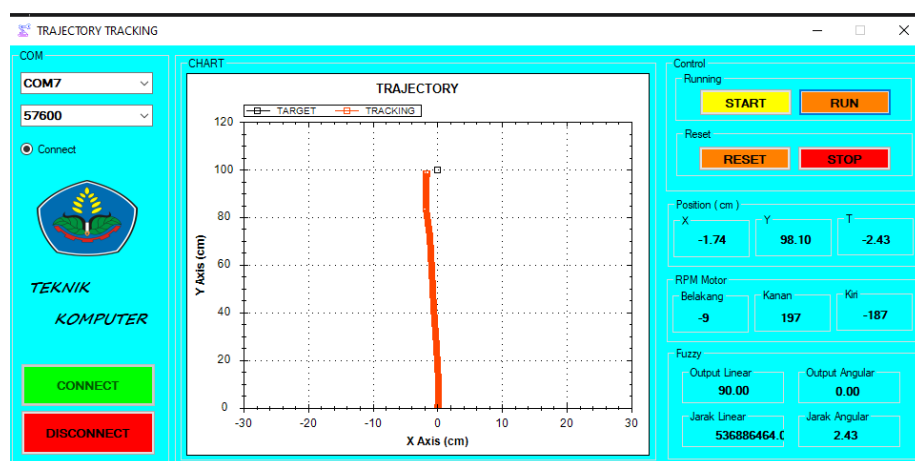
maka program yang di buat sesuai rumus di atas yaitu

```
1. rvPos1 = dBelakangENC * POS_CONV_FACTOR;
2. rvPos2 = dKananENC * POS_CONV_FACTOR;
3. rvPos3 = dKiriENC * POS_CONV_FACTOR;
4. _x = WHEEL_RADIUS * ((2 / 3.0 * rvPos1) - (1 / 3.0 * rvPos2)
    - (1 / 3.0 * rvPos3));
5. _y= WHEEL_RADIUS * ((1 / MATH_ROOT_OF_3 * rvPos2) - (1 /
    MATH_ROOT_OF_3 * rvPos3));
6. _t = cmps.heading;
7. currentPOS.X = lastPOS.X + ((MATH_COS(_t) * _x) -
    (MATH_SIN(_t) * _y));
8. currentPOS.Y = lastPOS.Y + ((MATH_SIN(_t) * _x) +
    (MATH_COS(_t) * _y));
9. currentPOS.T = _t;
```

Dalam pengujian odometry yaitu dengan menyamakan nilai posisi sesungguhnya dengan nilai yang di dapatkan dari sistem odometry.



Gambar 4. 24 Jarak Odometry sesungguhnya



Gambar 4. 25 Jarak Yang terhitung pada Sistem Odometry

Hasil yang di ambil dari beberapa data yang sudah di rekam dapat di hasilkan pada tabel berikut.

Tabel 4. 8 Tabel Data Pengujian Odometry

NO	Jarak Sesungguhnya		Jarak Sistem Odometry	
	X (cm)	Y(cm)	X(cm)	Y(cm)
1.	50	50	48.5	49.5
2.	100	100	97.5	98.10
3.	150	150	147.8	148.8
4.	200	200	196.5	298.6
5.	250	250	245.0	247.8

Dari hasil data di ambil pengujian odometry ini memiliki error 3 cm atau sekitar 5 %.

4.3.4. Pengujian Kinematic

Sistem *kinematic* ini berfungsi untuk menentukan arah gerak robot dengan parameter odometry sebagai acuannya. Data posisi kemudian di komputasi menjadi data jarak tempuh linear dan angular , dari jarak ini akan di proses oleh fuzzy untuk mendapatkan nilai kecepatan linear dan angular kemudian di proses oleh kinematic untuk menjadi kecepatan rpm dengan rumus berikut :

$$\begin{bmatrix} M1 \\ M2 \\ M3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.33 & 0.58 & 0.33 \\ -0.33 & -0.58 & 0.33 \\ 0.67 & 0 & 0.33 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Vx \\ Vy \\ W \end{bmatrix}$$

Maka penulisan program berdasarkan rumus yaitu :

```

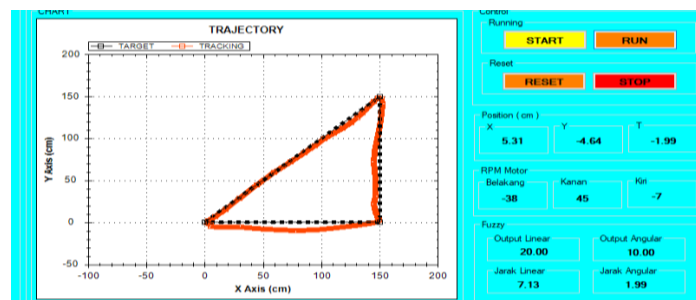
1. // kecepatan arah sumbu X dan Y (Vektor)
2. Vx = v * cos(radians(alpha));
3. Vy = v * sin(radians(alpha));
4. // angular Motor [rad/s]
5. w1 = (0.67 * Vx) + (0 * Vy) + (0.33 * w);
6. w2 = (-0.33 * Vx) + (0.58 * Vy) + (0.33 * w);
7. w3 = (-0.33 * Vx) + (-0.58 * Vy) + (0.33 * w);
8. // Linear Motor [m/s];
9. v1 = float(0.029 * w1);
10. v2 = float(0.029 * w2);
11. v3 = float(0.029 * w3);
12. // convert To RPM
13. RPM1 = (60 * v1) / (2 * MATH_PI * 0.075);
14. RPM2 = (60 * v2) / (2 * MATH_PI * 0.075);
15. RPM3 = (60 * v3) / (2 * MATH_PI * 0.075);

```

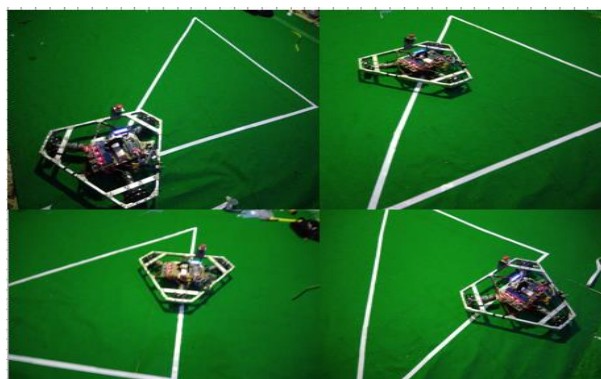
Pengujian kinematic dilakukan dengan menentukan koordinat x, y dan theta lalu robot akan bergerak sesuai koordinat yang sudah ditentukan. Dengan melihat grafik trajectory pada *Graphic user interfaces* kinematic robot akan terlihat apakah pergerakan robot sudah sesuai dengan koordinat yang sudah ditentukan. Dalam pengujian ini terdapat dua pengujian, yaitu pengujian kinematik dengan koordinat berbentuk segitiga dan Persegi, Dalam pengujian koordinat Persegi terdapat dua macam pengujian yaitu pengujian jarak dekat dan pengujian jarak jauh.

A. Pengujian kinematic Segitiga

Dalam pengujian koordinat berbentuk segitiga memiliki lebar 150 cm, dan alas 150 cm. Dalam pengujian koordinat segitiga dapat dilihat pada gambar grafik yaitu robot memiliki error (keluar dari lintasan) ketika robot menuju ke koordinat $x = 0$ dan $Y = 0$ dari koordinat $x = 0$ dan $Y = 150$ sebesar 5 cm.



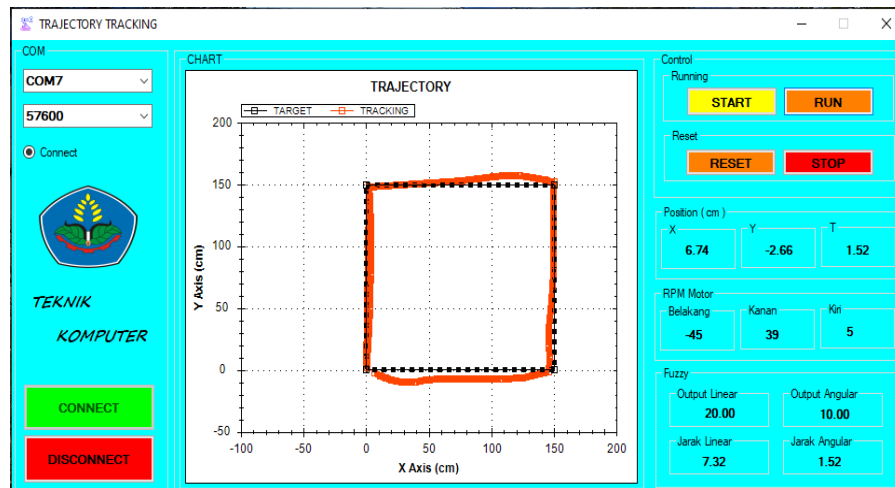
Gambar 4. 26 Grafik Pengujian Koordinat Segitiga



Gambar 4. 27 Pengujian Koordinat Segitiga

B. Pengujian kinematic Persegi Jarak dekat

Dalam pengujian koordinat berbentuk persegi jarak dekat memiliki ukuran 150 cm x 150 cm. Dengan pengujian kinematik berbentuk koordinat persegi memiliki error (keluar dari lintasan) ketika koordinat $x = 50$, $y = 150$ dan $x = 150$, $y = 0$.



Gambar 4. 28 Grafik Pengujian Koordinat Persegi Jarak dekat



Gambar 4. 29 Pengujian Koordinat Persegi jarak dekat (150 x 150 cm)

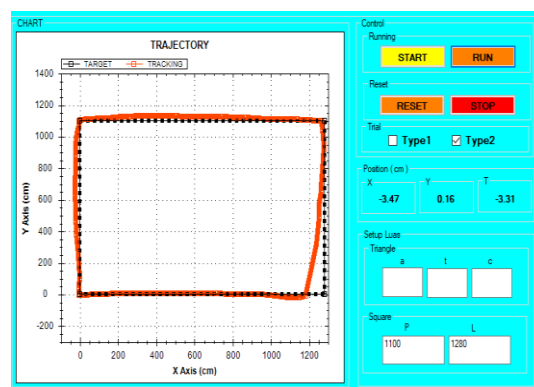
C. Pengujian kinematic Persegi Jarak Jauh

Dalam pengujian Kinematic ini dilakukan pada gedung Teknologi Informasi dengan jarak 1280 x 1100 cm Dengan media lintasan berupa lantai keramik, Kecepatan Maksimal yang di terapkan pada robot sebesar 100 cm/s jika di rubah pada kecepatan rpm sebesar 300 rpm.



Gambar 4. 30 Pengujian koordinat Persegi jarak jauh

Dari pengujian yang di lakukan di dapatkan hasil berdasarkan grafik *trajectory* yang terekam pada *graphic user interfaces* yaitu robot keluar lintasan pada koordinat $x = 0$ $y = 400$ sebesar 5 cm dan robot Kembali ke tujuan pada koordinat $x = 0$ dan $y = 1000$. Ketika robot menuju koordinat $x = 1280$ dan $y = 0$ robot mengalami error posisi sebesar 80 cm di karenakan permukaan yang licin dan mengakibatkan roda motor robot selip sehingga robot keluar lintasan. Dengan system odometry, robot melakukan koreksi posisi untuk memperbaiki perhitungan kinematik sehingga robot Kembali jalur lintasan pada $x = 0$ dan $y = 1200$.



Gambar 4. 31 Hasil Pengujian Kinematic dengan jarak jauh (1100 x 1280 cm)

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pengamatan dapat ditarik beberapa kesimpulan bahwa robot dapat bergerak segala arah dengan baik mengikuti koordinat yang sudah ditentukan dengan memperhatikan sistem *odometry* sebagai acuan posisi, Dalam pengujian *odometry* ini dapat nilai *error* sebesar 5 cm dengan posisi sesungguhnya.

Pada pengujian kinematik terdapat perbedaan nilai *error* antara pengujian pada jarak dekat dengan permukaan lantai yang tidak licin dan pengujian jarak jauh dengan permukaan lantai yang licin, pada pengujian jarak dekat dengan lantai licin memiliki *error* sebesar 5 cm pada titik tujuan sedangkan pada pengujian jarak jauh dengan permukaan lantai yang licin dapat *error* sebesar 80 cm. Dari hasil pengujian yang dilakukan permukaan lantai sangat berpengaruh terhadap pergerakan roda robot dimana pada permukaan lantai yang licin, roda pada robot lebih berpotensi mengalami selip.

Penambahan metode fuzzy sebagai perubahan kecepatan setiap jarak yang ditempuh membuat pergerakan robot semakin halus, dimana semakin banyak fungsi member yang dibuat maka step perubahan kecepatan semakin bagus, juga Pada pengaturan kecepatan pada sistem PID, nilai kombinasi antara konstanta P, I, D harus sesuai, jika tidak sistem PID akan mengalami *overshoot* (Respon sistem yang berlebihan dari target).

5.2. Saran

Saran Untuk pengembangan invers kinematik selanjutnya yaitu dengan penambahan obstacle pada robot untuk menghindari gangguan yang menghalangi lintasan robot.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, I., Ismail, N., & Rachmilda, T. (2020). Rancang Bangun Pendeteksi Posisi Sudut dan Kecepatan Sesaat Dengan Menggunakan Rotary Encoder KY-040. 289 - 290.
- Dawud, A. (2019, Maret Rabu). *membaca data IMU gy-25 dengan Arduino*. Diambil kembali dari <http://www.arduino.cc/2019/03/membaca-data-imu-gy-25-dengan-arduino.html>
- Fahmizal, Rijalussalam, D. U., Budiyanto, M., & Mayub, A. (2019). Trajectory Tracking pada Robot Omni dengan Metode. *JNTETI, Vol. 8, No. 1, Februari 2019*, 35 - 36.
- Pambudi, W. S. (2011). Rancang Bangun 3 Wheels Omni-Directional Mobile Robot Menggunakan Sensor Position Sensitive Device (Psd) Serta Sensor Vision Dengan Metode Kendali Fuzzy Logic Controller (Flc) Untuk Menghindari Halangan . *Seminar Nasional Teknologi Informasi & Komunikasi Terapan 2011 (Semantik 2011) ISBN 979-26-0255-0*, 2 - 3.
- STMicroelectronics. (2015, Agustus 21). *STM32F103x8*. Diambil kembali dari <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f103c8.pdf>
- STMicroelectronics. (2020, Oktober 12). *User manual Discovery kit with STM32F407VG MCU*. Diambil kembali dari https://www.st.com/resource/en/user_manual/dm00039084-discovery-kit-with-stm32f407vg-mcu-stmicroelectronics.pdf
- Wahab, F., Sumardiono, A., Al Tahtawi, A. R., & Mulayari, A. F. (2017). Desain dan Purwarupa Fuzzy Logic Control untuk Pengendalian Suhu Ruangan. *JTERA - Jurnal Teknologi Rekayasa, Vol. 2, No. 1, Juni 2017*, 1 - 8.
- Yunardi, R. T., Arifianto, D., Bachtiar, F., & Prananingrum, J. I. (2021). Holonomic Implementation of Three Wheels Omnidirectional Mobile Robot Using DC Motors. *Journal of Robotics and Control (JRC) Volume 2, Issue 2, March 2021 ISSN: 2715-5072 DOI: 10.18196/jrc.2254*, 66.