



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**PENERAPAN FUZZY PI PADA KONTROL KECEPATAN
RENDAH MOTOR STEPPER UNTUK STABILITAS *FLOW*
RATE MEDICAL INFUSION PUMP**

TESIS

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

MUHAMMAD ACHSANUL IN'AM

2109511002

**PROGRAM STUDI MAGISTER TERAPAN TEKNIK ELEKTRO
PASCASARJANA POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

DEPOK

2023



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**PENERAPAN FUZZY PI PADA KONTROL KECEPATAN
RENDAH MOTOR STEPPER UNTUK STABILITAS *FLOW*
RATE MEDICAL INFUSION PUMP**

TESIS

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Mencapai Derajat Magister
Terapan dalam Bidang Rekayasa Kontrol Industri

MUHAMMAD ACHSANUL IN'AM
2109511002

**PROGRAM STUDI MAGISTER TERAPAN TEKNIK ELEKTRO
PASCASARJANA POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

DEPOK

2023



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis ini saya susun tanpa tindakan plagiarisme sesuai dengan peraturan yang berlaku di Politeknik Negeri Jakarta.

Jika di kemudian hari ternyata saya melakukan tindakan plagiarisme, saya akan bertanggung jawab sepenuhnya dan menerima sanksi yang diajukan oleh Politeknik Negeri Jakarta kepada saya.

Depok, 12 Agustus 2023

Muhammad Achsanul In'am

NIM. 2109511002

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis yang saya susun ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Depok, 12 Agustus 2023

Muhammad Achsanul In'am

NIM. 2109511002





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta


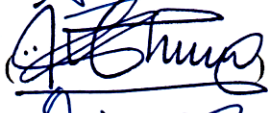
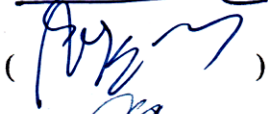

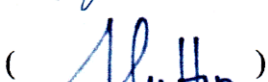
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis ini yang diajukan oleh :

Nama : Muhammad Achsanul In'am
NIM : 2109511002
Program Studi : Magister Terapan Teknik Elektro
Judul : Penerapan Fuzzy PI Pada Kontrol Kecepatan Rendah Motor *Stepper* Untuk Stabilitas *Flow Rate Medical Infusion Pump*

Telah diuji oleh Tim Penguji dalam Sidang Tesis pada hari Sabtu tanggal 19 Agustus tahun 2023 dan dinyatakan LULUS untuk memperoleh Derajat Gelar Magister Terapan pada Program Studi Magister Terapan Teknik Elektro Politeknik Negeri Jakarta.

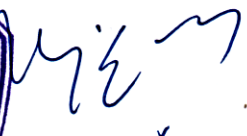
Pembimbing I : Nana Sutarna, S.T., M.T., Ph.D. ()
Pembimbing II : Dra. B. S. Rahayu Purwanti, M.Si. ()
Penguji I : Dr. Isdawimah, S.T., M.T. ()
Penguji II : Dr. Prihatin Oktivasari, S.Si., M.Si. ()
Penguji III : Murie Dwiyaniti, S.T., M.T. ()

Depok, 24 Agustus 2023

Disahkan oleh

Ketua Program Pascasarjana Politeknik Negeri Jakarta




Dr. Isdawimah, S.T., M.T.
NIP. 196305051988112001



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya berupa akal pikiran sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis dengan judul “Penerapan Fuzzy PI Pada Kontrol Kecepatan Rendah Motor *Stepper* Untuk Stabilitas *Flow Rate Medical Infusion Pump*”. Laporan Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Strata-2 Program Studi Magister Terapan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta.

Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurah kepada Rasulullah Muhammad S.A.W. dan para sahabatnya yang telah menunjukkan jalan kebenaran berupa keislaman serta menjauhkan kita dari zaman kebodohan dan menuntun kita menuju zaman yang terang dan penuh ilmu pengetahuan seperti sekarang ini. Semoga beliau selalu menjadi suri tauladan dan sumber inspirasi bagi kita semua.

Dalam melakukan penelitian dan penyusunan laporan tugas akhir ini penulis mendapatkan banyak dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Penulis mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada:

1. Dua insan yang sangat berarti, Ayah (Anang Ariyanto.) dan Ibunda (Tutik Nurwahyuni) yang selalu berusaha memberikan yang terbaik, berupa kasih sayang, doa tulus dan hal lain yang tidak mungkin saya dapat membalasnya. Untuk Adek saya tercinta Nadine Wahyu Ariyanti terima kasih untuk segalanya doa tulus yang selalu mengiringi saya yang akhirnya bisa membentuk saya menjadi lebih baik.
2. Bapak Dr.Drs. Ahmad Tossin Alamsyah, ST.,MT. selaku Ketua Program Studi Magister Terapan Teknik Elektro Politeknik Negeri Jakarta yang telah memberikan bimbingan selama saya menimba ilmu di PNJ.
3. Bapak Nana Sutarna, S.T., M.T., Ph.D., selaku dosen pembimbing satu, dan ibu Dra. B. S. Rahayu Purwanti, M.Si. selaku dosen pembimbing dua, yang telah dengan penuh kesabaran dan ketulusan memberikan ilmu dan bimbingan terbaik kepada saya dalam menulis laporan tesis ini.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4. Para Dosen dan staf Program Studi Magister Terapan Teknik Elektro, PNJ yang telah memberikan bekal ilmu kepada penulis.
5. Astri Era Hamijaya yang tidak lelah memberikan semangat untuk menyelesaikan tesis ini.
6. Teman-teman angkatan 6 MTTE PNJ, yang sudah 2 tahun saling berbagi, saling memberi motivasi, dan banyak pengalaman-pengalaman yang tidak mungkin dapat penulis lupakan, terima kasih atas bantuan, kenangan sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan baik.

Saya menyadari sepenuhnya bahwa laporan Tesis ini masih jauh dari sempurna, untuk itu semua jenis saran, kritik dan masukan yang bersifat membangun sangat penulis harapkan. Akhir kata, semoga tulisan ini dapat memberikan manfaat dan memberikan wawasan tambahan bagi para pembaca dan khususnya bagi penulis sendiri. Amin.

Depok, 12 Agustus 2023

**POLITEKN
NEGERI
JAKARTA**

Muhammad Achsanul In'am
NIM. 2109511002



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

ABSTRAK

Infus adalah alat medis yang difungsikan untuk memberikan cairan ke dalam tubuh melalui intravena dalam bentuk injeksi. Cairan yang dimaksud adalah obat, nutrisi, dan anasthesi. Dilihat dari fungsinya, infus memberikan manfaat besar di bidang kesehatan sebagai alat bantu medis. Metode injeksi obat *High alert* selama ini dilakukan dengan bantuan *smart infusion* untuk mendapatkan akurasi dan stabilitas yang baik. Namun faktanya kasus pemakaian *smart infusion* yang tidak standar malah menyebabkan bahaya yang lebih besar. Pernah terjadi 70 kasus produk *infusion pump* tidak mampu memberikan dosis yang sesuai pada pasien. Di Pennsylvania pada 2018 (1004 kasus) pada 132 Rumah sakit. *Infusion pump* yang digunakan dengan waktu yang relatif lama. Hal ini mengakibatkan *motor pump* mengalami panas dan perlambatan. Dengan kronologi tersebut penelitian ini ingin membuat sebuah rancang bangun *infusion pump* dengan menerapkan sistem close loop. Sistem kendali yang digunakan pada penelitian ini yaitu PI Konvensional dan Fuzzy PI. Pengujian akan dilakukan secara simulasi dan aktual terhadap rancang bangun yang diusulkan. Dari hasil simulasi PI Konvensional didapatkan hasil yang baik dengan *rise time* 22,19s dan *settling time* 42.85s. Sedangkan hasil simulasi fuzzy PI didapatkan *rise time* 16,56s dan *settling time* 22,85s. Hasil pengujian PI aktual didapatkan *rise time* 39.5s dan *settling time* 67s. Sedangkan hasil pengujian fuzzy PI didapatkan *rise time* 34.5s dan *settling time* 58s. semua hasil pengujian didapatkan tanpa *overshot* dan *steady state* 0%. Pengukuran alat menggunakan IDA menunjukkan akurasi minimal 98.26%. Sedangkan stabilitas maksimal berada pada ± 0.29 . Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa kontrol fuzzy PI lebih baik dari PI konvensional. Namun keduanya tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Kedua jenis kontrol tersebut dinyatakan aman diterapkan pada *Infusion pump*.

Kata Kunci : Infusion pump, Fuzzy, PI Konvensional, Kontrol Fuzzy PI



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

ABSTRACT

Infusion is a medical device that is used to provide fluids into the body through intravenously in the form of injections. The liquid in question is medicine, nutrition, and anesthesia. Judging from its function, infusion provides great benefits in the health sector as a medical aid. The high alert drug injection method has so far been carried out with the help of smart infusion to obtain good accuracy and stability. However, in fact cases of using non-standard smart infusions actually cause greater danger. There have been 70 cases of infusion pump products not being able to provide the appropriate dose to patients. In Pennsylvania in 2018 (1004 cases) in 132 hospitals. Infusion pumps that are used for a relatively long time. This causes the pump motor to heat up and slow down. With this chronology, this research wants to create an infusion pump design by implementing a closed loop system. The control system used in this study is Conventional PI and Fuzzy PI. Testing will be carried out in simulation and actual on the proposed design. From the conventional PI simulation results, good results were obtained with a rise time of 22.19s and a settling time of 42.85s. Meanwhile, the fuzzy PI simulation results obtained a rise time of 16.56s and a settling time of 22.85s. Actual PI test results obtained rise time 39.5s and settling time 67s. While the results of the PI fuzzy test obtained a rise time of 34.5s and a settling time of 58s. all test results obtained without overshoot and 0% steady state. Tool measurements using IDA show a minimum accuracy of 98.26%. While the maximum stability is at ± 0.29 . From these results it can be concluded that the fuzzy PI control is better than conventional PI. But the two did not show a significant difference. Both types of control are declared safe to apply to infusion pumps.

Kata Kunci : Infusion pump, Fuzzy, Conventional PI, Fuzzy PI Controller



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	iii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iv
LEMBAR PENGESAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Metode Penelitian.....	4
1.5 Batasan Penelitian	4
1.6 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Kajian Pustaka.....	5
2.2 PI Control.....	6
2.3 Tuning Ciancone	7
2.4 Fuzzy Logic Control.....	8
2.4.1 Logika Fuzzy.....	8
2.4.2 Fuzzy Controller	9
2.4.3 Fuzzifikasi	10
2.4.4 Rules Fuzzy Sugeno	11
2.4.5 Defuzzifikasi	12
2.5 Penentuan Dosis Obat	12
2.6 Arduino nano.....	13
2.7 Stepper Motor.....	14



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.8	<i>Driver Motor</i>	16
2.9	<i>Speed Sensor</i>	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		18
3.1	Perancangan Perangkat Keras	18
3.1.1	Blok Diagram <i>Infusion Pump</i>	18
3.1.2	Skematik Elektrikal <i>Infusion Pump</i>	19
3.1.3	Diagram Alir Proses.....	21
3.1.4	Diagram Mekanik <i>Linear Persaltic Pump</i>	22
3.1.5	Hasil Rancangan Alat <i>Infusion Pump</i>	23
3.2	Perancangan Perangkat Lunak	24
3.2.1	Pemrograman Pembacaan Sensor Kecepatan	24
3.2.2	Pemrograman <i>Smoothing Data RPM</i>	26
3.2.3	<i>Convert nilai Speed RPM ke Flow Rate (ml/h)</i>	27
3.2.4	Pemrograman Menu Setting dan Display	28
3.2.5	Pemrograman <i>Control PI</i>	32
3.2.6	Pemrograman <i>Fuzzy PI</i>	33
3.2.7	Desain Tampilan LCD	34
3.3	Menentukan Fungsi Alih <i>System</i> Menggunakan Metode <i>Ciancone</i>	35
3.4	Desain Fuzzy	36
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		39
4.1	Pengujian Kontrol PI Konvensional Menggunakan <i>Simulink</i>	39
4.2	Pengujian Kontrol PI Konvensional dengan Pengukuran Langsung Menggunakan <i>Infusion Device Analyzer</i>	41
4.3	Pengujian PI Konvensional <i>Controller</i> Secara Langsung pada Alat	42
4.4	Pengujian <i>Rules Fuzzy</i>	43
Analisa Data :		43
4.5	Pengujian Sstem Kendali <i>Fuzzy PI</i> Menggunakan <i>Simulink</i>	44
4.6	Pengujian <i>Fuzzy PI Controller</i> Secara Langsung pada Alat	45
4.7	Komparasi Pengujian Langsung Kontrol PI Konvensional & Fuzzy PI	46
4.8	Pengujian <i>Recovery Sistem</i> pada <i>Fuzzy PI Controller</i> dengan Perubahan <i>Set Point</i>	47



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.9	Komparasi Infusion Pump Hasil Rancang Bangun dengan Infusion Pump Pabrikasi.....	48
4.10	Uji Akurasi dan Stabilitas Alat Menggunakan <i>Fuzzy PI Controller</i>	49
BAB V PENUTUP.....		52
5.1	Kesimpulan.....	52
5.2	Saran.....	52
DAFTAR PUSTAKA		53
LAMPIRAN_.....		56





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Grafik Respon Proses7

Gambar 2. 2 Himpunan *Fuzzy*.....9

Gambar 2. 3 Tipe-tipe Kurva Keanggotaan9

Gambar 2. 4 Blok Diagram *Fuzzy Logic Control*10

Gambar 2. 5 Struktur *Fuzzy Logic Control*.....10

Gambar 2. 6 *Fuzzifikasi* Input11

Gambar 2. 7 Proses Pengambilan Keputusan Metode Sugeno11

Gambar 2. 8 Module Mikrokontroller Arduino Nano.....13

Gambar 2. 9 Model Motor *Stepper Bipolar*15

Gambar 2. 10 Module TMC2208.....16

Gambar 2. 11 *Wiring* TMC220816

Gambar 2. 12 Rotasi Medan Magnet AS560017

Gambar 2. 13 Jarak Magnet dan Sensor17

Gambar 3. 1 *Block Diagram Infusion Pump*18

Gambar 3. 2 Blok Diagram Sistem *Close loop* Infusion Pump19

Gambar 3. 3 *Wiring Diagram Infusion Pump*19

Gambar 3. 4 *Control Board*20

Gambar 3. 5 Diagram Alir Proses21

Gambar 3. 6 Diagram Mekanik *linear peristaltic pump*22

Gambar 3. 7 *Stepper Linear Peristaltic Pump*22

Gambar 3. 8 Bentuk Fisik Rancang Bangun Infusion Pump Tampak Luar23

Gambar 3. 9 Penampakan bagian dalam *Infusion Pump*23

Gambar 3. 10 Penampakan bagian belakang LCD dan Button.....24

Gambar 3. 11 Penampakan bagian Clamping Device.....24

Gambar 3. 12 Grafik *Speed* (RPM) terhadap *Flow rate* (ml/h)28

Gambar 3. 13 Aplikasi Nextion Editor34

Gambar 3. 14 *Display Nextion*34

Gambar 3. 15 Grafik Respon Open Loop System35

Gambar 3. 16 Fungsi keanggotaan input error fuzzy37

Gambar 3. 17 Fungsi keanggotaan input delta error fuzzy37

Gambar 3. 18 Fungsi keanggotaan *fuzzy* untuk kedua *output fuzzy*.....38

Gambar 4. 1 Blok Diagram *Control PI*.....39

Gambar 4. 2 Grafik Respon *Control PI*40

Gambar 4. 3 Grafik Hasil Pengukuran IDA dengan Variasi Kp dan Ki41

Gambar 4. 4 Grafik Respon Pengujian Kontrol PI konvensional pada Alat dengan Kp = 0.8 & Ki =0.0842

Gambar 4. 5 Blok Diagram Sistem Kendali PI dan *Fuzzy PI*44

Gambar 4. 6 Komparasi Grafik Respon Kontrol PI Konvensional dan *Fuzzy PI*..44

Gambar 4. 7 Grafik Respon Pengujian Langsung Kontrol *Fuzzy PI*45



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 4. 8 Komparasi Grafik Respon Aktual Kontrol PI Konvensional & *Fuzzy* PI.....46

Gambar 4. 9 Grafik Respon *Fuzzy* PI dengan Perubahan Set Point47

Gambar 4. 10 Uji Komparasi antara Infusion Pump Rancang Bangun dan Infusion Pump Pabrikan48





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 <i>Rules</i> Kp.....	38
Tabel 3. 2 <i>Rules</i> Ki.....	38
Tabel 4. 1 Hasil Percobaan Sistem Kendali PI	40
Tabel 4. 2 <i>Response Time</i> PI Konvensional <i>Controller</i>	42
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian <i>Rules Fuzzy</i>	43
Tabel 4. 4 <i>Response Time</i> PI Konvensional <i>Controller</i>	46
Tabel 4. 5 Tabel Respon Time Kontrol Fuzzy PI dengan Perubahan Set Point	47
Tabel 4. 6 Data Komparasi Pengukuran Menggunakan IDA	49
Tabel 4. 7 Data Pengukuran Flow Rate	50
Tabel 4. 8 Interpretasi Data.....	50





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peraturan keselamatan untuk pasien rawat inap menerapkan standar penjaminan mutu pelayanan rumah sakit. Hal tersebut termasuk permintaan pengadaan alat-alat kesehatan sepenuhnya untuk menunjang penanganan pasien agar lebih optimal. Salah satu keselamatan pasien yang harus diperhatikan yaitu tindakan pemberian obat terutama jenis *high alert medication* [1]. Saat ini masih dijumpai kesalahan perawat dalam menangani pasien, khususnya pada prosedur pemberian obat. Persentase kejadian kasus kesalahan pemberian dosis obat di Indonesia 24,8% dari kasus yang dilaporkan, Hal serupa, pasien meninggal di Amerika, terdata sebanyak 48000-100000 per tahun [2] akibat kesalahan pemberian dosis obat *high alert*. Pemberian obat wajib mengikuti prinsip sepuluh benar [3] pemberian obat yaitu obat, dosis, pasien, rute, waktu, informasi, kadaluarsa, pengkajian, evaluasi dan dokumentasi.

Pompa infus adalah salah satu peralatan kesehatan yang digunakan untuk memasukan obat *high alert*. Injeksi obat secara *intravena* harus dilakukan secara teliti dan tepat dengan metode *infusion*. Metode *infusion* manual saat ini masih sering digunakan. Namun metode ini memiliki banyak kekurangan, yaitu prinsip gravitasi, tingkat *drop* arteri >20%, dan *flow rate* (Laju Aliran) yang sulit diatur secara presisi [4]. Sehingga metode manual tidak tepat digunakan untuk injeksi obat *high alert*. Metode lain yaitu metode otomatis atau biasa disebut *smart infusion*. Metode ini memanfaatkan sebuah alat yang bernama *infusion pump*. Prinsip kerja alat yaitu memanfaatkan prinsip pompa peristaltik untuk mengalirkan cairan infus [5]. Kriteria *infusion pump* yang layak digunakan telah diatur oleh WHO yaitu memiliki akurasi minimal $\pm 5\%$ [6]. Penggunaan *infusion pump* yang tidak standar justru akan mengakibatkan dampak yang lebih bahaya dibanding menggunakan metode manual. Kegagalan sistem pada *infusion pump* akan mengakibatkan pompa bekerja tidak terkendali [7]. Beberapa kasus kegagalan sistem *infusion pump* terjadi, 70 kasus produk *infusion pump* tidak mampu memberikan dosis yang sesuai



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

pada pasien [8]. Di Pennsylvania pada 2018 (1004 kasus) pada 132 Rumah sakit. Kasus-kasus kesalahan pemberian obat menggunakan *smart infusion* yaitu akurasi *flow rate* injeksi obat tidak sesuai dosis [9]. *Infusion pump* digunakan dengan waktu yang relatif lama. Hal ini mengakibatkan *motor pump* mengalami panas dan pelambatan. Selain itu faktor melambatnya motor dipengaruhi oleh umur alat. Sering terdapat laporan dari tim kalibrasi alat *infusion pump* bahwa hasil kalibrasi dinyatakan tidak layak pakai. Kronologinya saat dilakukan pengukuran pada beberapa *set point* didapatkan hasil koreksi yang berbeda (tidak *linear*). Misalnya, pada *set point* 10ml/jam hasilnya sesuai, 25ml/jam hasilnya tidak sesuai, 50 ml/jam hasilnya sesuai. Jika dilihat dari permasalahan tersebut dapat dianalisa bahwa masukan sinyal *step* yang diberikan pada motor *stepper* tidak *linear*. Sistem kendali *motor pump* dilakukan secara *open loop*. Sehingga jika terjadi penurunan kecepatan, sinyal *step* tidak dapat menyesuaikan kembali dengan target *flow ratenya*.

Peneliti [10] membuat desain alat infus otomatis berbasis *fuzzy logic*. *load cell* dimanfaatkan sebagai pengukur berat cairan infus yang tersisa. Metode *fuzzy* digunakan untuk mengatur mini *gearbox* pembuka/penutup aliran infus. Namun alat yang dihasilkan masih menggunakan sistem gravitasi sehingga masih rawan terjadi macet saat injeksi. Peneliti [11] mengembangkan teknik tetesan cairan infus menggunakan *Labview* berbasis logika *fuzzy*. Desain pengontrol infus memanfaatkan manset bekas dan pompa udara. Part tersebut digunakan untuk menekan botol infus. Alat ini memiliki kelemahan yaitu jika posisi botol miring akan menyebabkan udara masuk pada selang, sehingga akan menyebabkan *emboli*. Peneliti [12] melakukan penelitian dengan topik *Prototipe Infusion Pump* berbasis Arduino. Penelitian tersebut menggunakan *rotating stepper peristaltic pump* sebagai pemompa infus. Peneliti yang dihasilnya berupa alat yang dapat mengatur *flow rate* dengan presisi terhadap target *flow rate* yang ditentukan. Dalam penelitian tersebut ditemukan kendala yaitu nilai *step* yang diberikan pada *motor driver* tidak *linear* terhadap kecepatan motor yang dihasilkan. Penelitian tentang pengendalian motor *stepper* juga pernah dilakukan oleh [13]. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini *FLC* efektif digunakan mengendalikan kecepatan motor *stepper*



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

dengan rentang *medium-high speed*, sedangkan *low speed* menggunakan metode *loop* terbuka. Peneliti [14] melakukan penelitian PI (*Proportional Integral controller*) digunakan untuk mengatur kecepatan motor *stepper*. hasil yang didapat pada penelitian tersebut menunjukkan dapat mencapai stabilitas dengan *overshot* dibawah 1%. Kombinasi *fuzzy logic* dan PID juga terbukti lebih baik dari PID konvensional dan *fuzzy stand alone* yang diterapkan pada kontrol motor DC. Dimana penelitian tersebut telah dilakukan oleh [15]–[19].

Berdasarkan permasalahan belum sempurnanya fungsi dan performa *infusion pump*. Berbagai kasus kesalahan dan akurasi tetesan cairan infus, perlu dikembangkan sistem kontrol pada *infusion pump*. Fuzzy PID terbukti dapat meningkatkan performa kontrol kecepatan pada motor DC dan PI Konvensional terbukti telah menghasilkan hasil yang baik jika diterapkan pada motor *stepper*. Sehingga desain yang diajukan yaitu sistem *close loop* kendali *Fuzzy PI* pada pengaturan *flow rate*. Motor *stepper linear peristaltic pump* akan dimanfaatkan sebagai *actuator* pemompa cairan infus. Fokus dari penelitian ini yaitu mengendalikan kecepatan motor *stepper* secara *close loop* dan mengkonversi besaran kecepatan rotasi motor ke besaran *flow rate* infus. Diharapkan dengan stabilitas kecepatan motor *stepper* akan berdampak pada akurasi *flow rate*. Sehingga dapat mengkondisikan *flow rate* secara presisi, baik dari *flow rate* rendah dari 5ml/jam – 150 ml/jam. Pengendali *Fuzzy* dan *PI* dipilih karena pada penelitian sebelumnya yang membahas tentang pengendali kecepatan motor *stepper* menunjukkan hasil yang baik.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian yang dilakukan penulis sebagai berikut :

1. Bagaimana membuat sistem infus yang memiliki keakuratan jumlah dosis yang diberikan?
2. Bagaimana penerapan PI konvensional dan fuzzy PI dalam pengaturan *flow rate* alat *infusion pump*?



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1.3 Tujuan Penelitian

Membuat sebuah alat *infusion pump* yang memiliki stabilitas dan akurasi yang baik.

1.4 Metode Penelitian

Metode penelitian berupa rancang bangun *infusion pump* yang terbagi menjadi 2 bagian yaitu hardware dan software.

1.5 Batasan Penelitian

Agar tidak terjadi perluasan masalah maka akan dibatasi masalah tersebut, antara lain :

1. Merancang bangun model *infusion pump*.
2. Menggunakan simulator sistem kendali PI dan *Fuzzy PI*
3. Fokus penelitian pada rekayasa sistem kendali motor *stepper* untuk mengatur *flow rate* infus.

1.6 Manfaat Penelitian

1. Dengan meningkatnya akurasi *flow rate* diharapkan akan meningkatkan keamanan tindakan injeksi obat high alert.
2. Media rekayasa uji elektrik/mekanik sistem kendali motor pada *infusion pump*
3. Merekomendasikan konstanta-konstanta kendali loop tertutup sesuai target *output* sistem pada *infusion pump*
4. Menambah wawasan tentang sistem kendali pada alat kesehatan terutama pada peralatan *life support*.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Penelitian yang dilakukan menghasilkan sebuah hasil yang menunjukkan *control* PI konvensional dan *control* fuzzy PI sama-sama memberikan dampak baik pada akurasi dan stabilitas *flow rate*. Menggunakan *Fuzzy PI Controller* menghasilkan akurasi dan stabilitas yang sangat baik yaitu dengan akurasi minimal 98,26%. Sedangkan stabilitas maksimal berada pada ± 0.29 . Perbedaan pada kedua sistem kendali terletak pada kualitas *rise time* dan *settling timenya*, *Fuzzy PI controller* memiliki *rise time* dan *settling time* yang lebih baik. Dari sisi akurasi dan stabilitas *flow rate* kedua *controller* sama baiknya. Persentase koreksi relatif yang didapatkan masih dalam rentang yang diperbolehkan yaitu dibawah 10%. Dari pernyataan ini dapat disimpulkan bahwa sistem kendali PI Konvensional dengan $K_p = 0,8$; $K_i = 0,08$ dan *fuzzy* PI baik dan aman diterapkan pada *Infusion Pump*.

5.2 Saran

1. Menggunakan sensor yang lebih baik dalam segi sensitifitas. Jika sensor memiliki sensitifitas yang lebih baik maka kemungkinan besar *rise time* akan bisa meningkat, dengan *overshot* yang minim.
2. Untuk pengoptimalkan *fuzzy* PI dapat dilakukan penelitian merubah bentuk *membership function input* atau *output*.
3. Untuk penelitian lebih lanjut bisa menambahkan sensor safety berupa *air bubble* dan *occlusion* pada alat.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Menteri Kesehatan Republik Indonesia, “Standar Pelayanan Kefarmasian Republik Indonesia di Rumah Sakit,” Indonesia, 2016.
- [2] A. Hasan Basri and A. Taufiq, “Hubungan Tingkat Stress Kerja Perawat IGS Dengan Ketepatan Waktu Pemberian Obat High Alert,” 2021.
- [3] F. S. Fatimah and E. M. Rosa, “Efektivitas Pelatihan Patient Safety ; Komunikasi S-BAR pada Perawat dalam Menurunkan Kesalahan Pemberian Obat Injeksi di Rumah Sakit PKU Muhammadiyah Yogyakarta Unit II Effectiveness Patient Safety Training ; SBAR Communication in Nursing to Reduce of Er,” *journal ners and midwifery indonesia*, vol. 2, no. 1, pp. 32–41, 2014, [Online]. Available: file:///C:/Users/user1/Downloads/23-43-4-PB.pdf
- [4] E. Greau *et al.*, “Automatic versus manual changeovers of norepinephrine infusion pumps in critically ill adults: a prospective controlled study,” *Ann Intensive Care*, vol. 5, no. 1, pp. 1–9, Dec. 2015, doi: 10.1186/s13613-015-0083-7.
- [5] By Eric A. Smith & George Gray, “Developing a Smart Infusion Pump Dedicated to Infusion Safety,” *eid*, pp. 4–12, 2022.
- [6] World Health Organization, “Technical specifications for infusion devices,” in *Technical specifications for infusion devices*, 2020. [Online]. Available: <https://ismp.org>
- [7] M. Baeckert *et al.*, “Performance of modern syringe infusion pump assemblies at low infusion rates in the perioperative setting,” *Br J Anaesth*, vol. 124, no. 2, pp. 173–182, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.bja.2019.10.007.
- [8] X. Gao *et al.*, “A hazard analysis of class I recalls of infusion pumps,” *JMIR Hum Factors*, vol. 6, no. 2, Apr. 2019, doi: 10.2196/10366.
- [9] M. Taylor and R. Jones, “Risk of Medication Errors With Infusion Pumps,” *Patient Safety*, pp. 61–69, Dec. 2019, doi: 10.33940/biomed/2019.12.7.
- [10] L. A. Supriyono, A. Marwanto, and S. Alifah, “Perancangan Otomasi Alat Infus Berbasis Fuzzy Logic,” vol. 15, no. 1, p. 6583584, 2022, [Online]. Available: <http://journal.stekom.ac.id/index.php/elkom/page82>
- [11] R. T. Yunardi, D. Setiawan, F. Maulina, and T. A. Prijo, “Pengembangan Sistem Kontrol dan Pemantauan Tetesan Cairan Infus Otomatis Berbasis Labview dengan Logika Fuzzy,” *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 5, no. 4, p. 403, Oct. 2018, doi: 10.25126/jtiik.201854766.
- [12] Muhammad Achsanul In’am, “Prototipe Infusion Pump Berbasis Arduino,” Universitas MH Thamrin, Jakarta, 2021.
- [13] C. Wang and D. Cao, “New sensorless speed control of a hybrid stepper motor based on fuzzy sliding mode observer,” *Energies (Basel)*, vol. 13, no. 18, Sep. 2020, doi: 10.3390/en13184939.
- [14] M. S. Zaky, “A self-tuning PI controller for the speed control of electrical motor drives,” *Electric Power Systems Research*, vol. 119, pp. 293–303, 2015, doi: 10.1016/j.epsr.2014.10.004.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- [15] D. Somwanshi, M. Bundele, G. Kumar, and G. Parashar, "Comparison of fuzzy-PID and PID controller for speed control of DC motor using LabVIEW," in *Procedia Computer Science*, Elsevier B.V., 2019, pp. 252–260. doi: 10.1016/j.procs.2019.05.019.
- [16] U. Kumar Bansal and R. Narvey, "Speed Control of DC Motor Using Fuzzy PID Controller," *Advance in Electronic and Electric Engineering*, vol. 3, no. 9, pp. 1209–1220, 2013, [Online]. Available: <http://www.ripublication.com/aeee.htm>
- [17] H. Maghfiroh, M. Ahmad, A. Ramelan, and F. Adriyanto, "Fuzzy-PID in BLDC Motor Speed Control Using MATLAB/Simulink," *Journal of Robotics and Control (JRC)*, vol. 3, no. 1, pp. 8–13, Jan. 2022, doi: 10.18196/jrc.v3i1.10964.
- [18] Roedy Kristiyono, "Studi Perbandingan PI, Fuzzy dan Hybrid PI Fuzzy Controller untuk Pengendalian Kecepatan Brushless DC Motor," *Jurnal Teknika ATW*, vol. 13, pp. 19–27, 2015.
- [19] N. Messaadi and A. Amroun, "Speed Control of DC Motor Using Fuzzy PID Controller," *Elsevier*, pp. 1–14, Jul. 2021, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/353863156>
- [20] X. Zhao, "DC Motor Speed Control System Based on PI Controller," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing Ltd, Dec. 2019. doi: 10.1088/1757-899X/677/5/052007.
- [21] A. Kumar, A. Rajbir Morya, and M. Vashishath, "Performance Comparison Between Various Tuning Strategies: Ciancone, Cohen Coon & Ziegler-Nicholas Tuning Methods," *International Journal of Computers & Technology*, vol. 5, pp. 60–68, 2013, [Online]. Available: www.cirworld.com
- [22] I. Kholis, "Pemodelan Sistem Pengendali PID Dengan Metode Ciancone Berbasis MATLAB Simulink pada Sistem Pressure Process RIG 38-714," 2017.
- [23] B. Davvaz, I. Mukhlash, and S. Soleha, "Himpunan Fuzzy dan Rough Sets," *Limits: Journal of Mathematics and Its Applications*, vol. 18, no. 1, p. 79, May 2021, doi: 10.12962/limits.v18i1.7705.
- [24] A. A. Sadiq, G. A. Bakare, E. C. Anene, and H. B. Mamman, "A fuzzy-based speed control of DC motor using combined armature voltage and field current," in *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)*, IFAC Secretariat, 2013, pp. 387–392. doi: 10.3182/20130902-3-CN-3020.00146.
- [25] R. A. Bimo, S. Putra, A. R. Al Tahtawi, and K. Wijayanto, "Pengendalian Kecepatan Motor DC Menggunakan Metode Fuzzy Integral Controller," 2021.
- [26] FDA, "Intravenous Therapy: Dose and Flow Rate Calculation-CE," *Elsevier Clinical Skills*. pp. 1–13, 2020.
- [27] A. Nano and P. Components, "Arduino Nano," *Farnell newark company*, United States, pp. 1–10, 2018.
- [28] N. Instruments, "Stepper Motors and Encoders," *National Instruments Corporation*, no. 866, USA, pp. 1–9, 2012.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- [29] Trinamic Motion Control, “Power Driver For Stepper Motor Integrated Circuit TMC2208 & TMC2224 family Datasheet,” in *Electronic Datasheet*, 2020, pp. 1–79. [Online]. Available: www.trinamic.com
- [30] ams technical team, *AS5600 Position Sensor Datasheet*, vol. 6. AMS OSRAM Group, 2018.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi pengambilan data flow rate 25 ml/h





Lampiran 2. Dokumentasi pengambilan data flow rate 50 ml/h



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Lampiran 3. Dokumentasi pengambilan data flow rate 75 ml/h



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 4. Dokumentasi pengambilan data flow rate 100 ml/h



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Lampiran 5. Dokumentasi pengambilan data flow rate 125 ml/h



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 6. Dokumentasi pengambilan data flow rate 150 ml/h



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LAMPIRAN 7

Full Code Program Infusion Pump Control PI Konvensional

```
#include <AccelStepper.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#include <EEPROM.h>
#include "TimerOne.h" //Timer interrupts
#include <Wire.h> //This is for i2C
#define dirPin 2
#define stepPin 3
#define enter 8
#define up 12
#define down 11
#define up2 10
#define down2 9
#define motorInterfaceType 1

//nextion
String endChar = String(char(0xff)) + String(char(0xff)) + String(char(0xff));
String ReceivedData = "";
float flowrate;
union {
  char charByte[20];
  long valLong;
} value;
//-----
//PID
float Kp;
float Ki;
float Kd;
float Error, dError, sum_Error;
float sp;
float power;

unsigned long currentTime2;
unsigned long previousTime2=0;
double elapsedTime;
double error;
double lastError;
double input, Output, setPoint;
double cumError, rateError;
double out;
double delta;
int interval = 100;

AccelStepper stepper = AccelStepper(motorInterfaceType, stepPin, dirPin);
//Sensor
```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
int magnetStatus = 0; //value of the status register (MD, ML, MH)
int lowbyte; //raw angle 7:0
word highbyte; //raw angle 7:0 and 11:8
int rawAngle; //final raw angle
float degAngle; //raw angle in degrees (360/4096 * [value between 0-4095])

int quadrantNumber, previousquadrantNumber; //quadrant IDs
float numberofTurns = 0; //number of turns
float correctedAngle = 0; //tared angle - based on the startup value
float startAngle = 0; //starting angle
float totalAngle = 0; //total absolute angular displacement
float previoustotalAngle = -1; //for the display printing
float recentTotalAngle = 0; //for the display printing
float rpmValue = 0; //revolutions per minute
float stepRateFromRPM = 0; //steps/s calculated from RPM
float calculatedRPM = 0; //calculated RPM based on the stepper speed
float stepperPosition = 0; //stepper's software position based on the
AccelStepper library
float stepperPreviousPosition = 0; //stepper's software position based on the
AccelStepper library
float rpmInterval = 500; // RPM is calculated every 0.2 seconds
float rpmTimer = 0; //Timer for the rpm
float timerdiff = 0; //Time difference for more exact rpm calculation
//-----
//Smooting
const int numReadings = 100;

int readings[numReadings]; // the readings from the analog input
int readIndex = 0; // the index of the current reading
float total = 0; // the running total
float average = 0; // the average

const int numReadings2 = 200;

int readings2[numReadings2]; // the readings from the analog input
int readIndex2 = 0; // the index of the current reading
float total2 = 0; // the running total
float average2 = 0; // the average

int a, b;
float nilai_tetes, completed;
int nilaiflow, setvolume;
float vol, volume, Flowrate;
int jam, menit, t2;
float sisa, waktu, t;
//keypad
```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
byte button_enter = 0;
byte button_up = 0;
byte button_down = 0;
byte button_up2 = 0;
byte button_down2 = 0;
byte button_up3 = 0;
byte button_down3 = 0;
byte button_up4 = 0;
byte button_down4 = 0;

int interval_timer = 1000;
unsigned long previousMillis_timer = 0;
unsigned long currentMillis_timer;

int interval_button = 200;
unsigned long previousMillis_button = 0;
unsigned long currentMillis_button;

void pid()
{
  Error = sp - flowrate;
  sum_Error += Error;

  float P = Kp * Error;
  float I = Ki * sum_Error;

  currentTime2 = millis();
  elapsedTime = (double)(currentTime2 - previousTime2);
  if (currentTime2 - previousTime2 >= interval)
  {
    error = nilaiflow - flowrate;
    cumError += error * elapsedTime;
    rateError = (error - lastError) / elapsedTime;
    lastError = error;
    previousTime2 = millis();
  }

  power = P + I;
  if (power > 2600) {
    power = 2600;
  }
  else if (power < 0) {
    power = 0;
  }
  return power;
}
```




Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
void setup()
{
  stepper.setMaxSpeed(2600);
  //sensor
  Timer1.initialize(100); //100 us timer trigger interval
  Timer1.setPeriod(100);
  Timer1.attachInterrupt(callback);
  pinMode(dirPin, OUTPUT);
  pinMode(enter, INPUT_PULLUP);
  digitalWrite(dirPin, HIGH);
  //pinMode(tetes,INPUT_PULLUP);
  Serial.begin(9600); //start serial - tip: don't use serial if you don't need it
(speed considerations)
  Wire.begin(); //start i2C
  Wire.setClock(800000L); //fast clock
  checkMagnetPresence(); //check the magnet (blocks until magnet is found)
  ReadRawAngle(); //make a reading so the degAngle gets updated
  startAngle = degAngle; //update startAngle with degAngle - for taring
  for (int thisReading = 0; thisReading < numReadings; thisReading++) {
    readings[thisReading] = 0;
  }
  //keypad
  pinMode(enter, INPUT_PULLUP);
  pinMode(up, INPUT_PULLUP);
  pinMode(down, INPUT_PULLUP);
  pinMode(up2, INPUT_PULLUP);
  pinMode(down2, INPUT_PULLUP);
}

void callback()
{
  stepper.runSpeed();
}

void setflow()
{
  currentMillis_button = millis();
  button_up = digitalRead(up);
  button_down = digitalRead(down);
  button_up2 = digitalRead(up2);
  button_down2 = digitalRead(down2);
  if (button_up == LOW)
  {
    if (currentMillis_button - previousMillis_button >= interval_button)
    {
```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
    nilaiflow = nilaiflow + 1;
    previousMillis_button = millis();
  }
}
if (button_down == LOW)
{
  if (currentMillis_button - previousMillis_button >= interval_button)
  {
    nilaiflow = nilaiflow - 1;
    previousMillis_button = millis();
  }
}
if (button_up2 == LOW)
{
  if (currentMillis_button - previousMillis_button >= interval_button)
  {
    nilaiflow = nilaiflow + 10;
    previousMillis_button = millis();
  }
}
if (button_down2 == LOW)
{
  if (currentMillis_button - previousMillis_button >= interval_button)
  {
    nilaiflow = nilaiflow - 10;
    previousMillis_button = millis();
  }
}
if (nilaiflow < 0)
{
  nilaiflow = 150;
}
if (nilaiflow > 150)
{
  nilaiflow = 0;
}
}

void setvol()
{
  currentMillis_button = millis();
  button_up3 = digitalRead(up);
  button_down3 = digitalRead(down);
  button_up4 = digitalRead(up2);
  button_down4 = digitalRead(down2);
  if (button_up3 == LOW)
```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
{
  if (currentMillis_button - previousMillis_button >= interval_button)
  {
    setvolume = setvolume + 1;
    previousMillis_button = millis();
  }
}
if (button_down3 == LOW)
{
  if (currentMillis_button - previousMillis_button >= interval_button)
  {
    setvolume = setvolume - 1;
    previousMillis_button = millis();
  }
}
if (button_up4 == LOW)
{
  if (currentMillis_button - previousMillis_button >= interval_button)
  {
    setvolume = setvolume + 10;
    previousMillis_button = millis();
  }
}
if (button_down4 == LOW)
{
  if (currentMillis_button - previousMillis_button >= interval_button)
  {
    setvolume = setvolume - 11;
    previousMillis_button = millis();
  }
}
if (setvolume < 1)
{
  setvolume = 500;
}
if (setvolume > 500)
{
  setvolume = 1;
}
}

void loop()
{
  sisa = setvolume - vol;
  waktu = sisa / nilaiflow;
  t = waktu * 60;
```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
jam = t / 60;
menit = t - (jam * 60);

ReadRawAngle(); //ask the value from the sensor
correctAngle(); //tare the value
checkQuadrant(); //check quadrant, check rotations, check absolute angular
position
calculateRPM(); //Calculate RPM
total = total - readings[readIndex];
readings[readIndex] = rpmValue;
total = total + readings[readIndex];
readIndex = readIndex + 1;
if (readIndex >= numReadings) {
    readIndex = 0;
}
average = total / numReadings;
/*
* 150 = 0.424
125 = 0.417
100 = 0.41
75 = 0.404;
50 = 0.39;
25 = 0.3825;
*/
//rigel
/*
* 150 = 0.424
125 = 0.417
100 = 0.41
75 = 0.3925;
50 = 0.3780;
25 = 0.3825;
*/
flowrate = (average / 0.3780);
if (average < 0) {
    average = 0.0;
    total = 0.0;
}

total2 = total2 - readings2[readIndex2];
readings2[readIndex2] = flowrate;
total2 = total2 + readings2[readIndex2];
readIndex2 = readIndex2 + 1;
if (readIndex2 >= numReadings2) {
    readIndex2 = 0;
}
}
```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
average2 = total2 / numReadings2;
if(nilaiflow-average2<=1.0 && nilaiflow-average2>=-
1.0){Flowrate=nilaiflow;}
if(nilaiflow-average2>=2.0 || average2-nilaiflow>=2.0){Flowrate=average2;}

currentMillis_button = millis();
button_enter = digitalRead(enter);
if (button_enter == LOW)
{
  if (currentMillis_button - previousMillis_button >= interval_button)
  {
    a = a + 1;
    previousMillis_button = millis();
  }
}

if (a == 0)
{
  setflow();
  Serial.print("t12.txt=\");
  Serial.print("<");
  Serial.print("\");
  Serial.write(0xFF);
  Serial.write(0xFF);
  Serial.write(0xFF);

  Serial.print("t13.txt=\");
  Serial.print(" ");
  Serial.print("\");
  Serial.write(0xFF);
  Serial.write(0xFF);
  Serial.write(0xFF);

  Serial.print("t14.txt=\");
  Serial.print("STOP");
  Serial.print("\");
  Serial.write(0xFF);
  Serial.write(0xFF);
  Serial.write(0xFF);
}

if (a == 1)
{
  setvol();
  Serial.print("t12.txt=\");
  Serial.print(" ");
  Serial.print("\");
```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
Serial.write(0xFF);
Serial.write(0xFF);
Serial.write(0xFF);

Serial.print("t13.txt=\");
Serial.print("<");
Serial.print("\");
Serial.write(0xFF);
Serial.write(0xFF);
Serial.write(0xFF);

Serial.print("t14.txt=\");
Serial.print("STOP");
Serial.print("\");
Serial.write(0xFF);
Serial.write(0xFF);
Serial.write(0xFF);
}
if (a == 2)
{
  Kp = 0.8;
  Ki = 0.08;
  sp = nilaiflow;
  pid();
  // 50 = 526
  stepper.setSpeed(power);
  nilai_tetes = flowrate / 3600.0;
  currentMillis_timer = millis();
  if ((unsigned long)(currentMillis_timer - previousMillis_timer) >=
interval_timer)
  {
    vol = vol + nilai_tetes;
    previousMillis_timer = currentMillis_timer;
  }
  Serial.print("t3.txt=\");
  Serial.print(vol,1);
  Serial.print("\");
  Serial.write(0xFF);
  Serial.write(0xFF);
  Serial.write(0xFF);
  if (vol >= setvolume)
  {
    a = 0;
  }
  Serial.print("t12.txt=\");
  Serial.print(" ");
```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
Serial.print("\n");  
Serial.write(0xFF);  
Serial.write(0xFF);  
Serial.write(0xFF);
```

```
Serial.print("t13.txt=\n");  
Serial.print(" ");  
Serial.print("\n");  
Serial.write(0xFF);  
Serial.write(0xFF);  
Serial.write(0xFF);
```

```
Serial.print("t14.txt=\n");  
Serial.print("running.... ");  
Serial.print("\n");  
Serial.write(0xFF);  
Serial.write(0xFF);  
Serial.write(0xFF);
```

```
}  
Serial.print("t0.txt=\n");  
Serial.print(Flowrate,0);  
Serial.print("\n");  
Serial.write(0xFF);  
Serial.write(0xFF);  
Serial.write(0xFF);
```

```
Serial.print("t6.txt=\n");  
Serial.print(nilaiflow);  
Serial.print("\n");  
Serial.write(0xFF);  
Serial.write(0xFF);  
Serial.write(0xFF);
```

```
Serial.print("t7.txt=\n");  
Serial.print(setvolume);  
Serial.print("\n");  
Serial.write(0xFF);  
Serial.write(0xFF);  
Serial.write(0xFF);
```

```
Serial.print("t9.txt=\n");  
Serial.print(jam);  
Serial.print("\n");  
Serial.write(0xFF);  
Serial.write(0xFF);  
Serial.write(0xFF);
```





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
Serial.print("t10.txt=\");  
Serial.print(menit);  
Serial.print("\");  
Serial.write(0xFF);  
Serial.write(0xFF);  
Serial.write(0xFF);
```

```
if (a > 3)  
{  
  a = 0;  
}
```

```
if (a == 0)  
{  
  stepper.setSpeed(0);  
  average = 0.0;  
  total = 0.0;  
}
```

```
void ReadRawAngle()  
{  
  Wire.beginTransmission(0x36); //connect to the sensor  
  Wire.write(0x0D); //figure 21 - register map: Raw angle (7:0)  
  Wire.endTransmission(); //end transmission  
  Wire.requestFrom(0x36, 1); //request from the sensor  
  while (Wire.available() == 0); //wait until it becomes available  
  lowbyte = Wire.read(); //Reading the data after the request  
  Wire.beginTransmission(0x36);  
  Wire.write(0x0C); //figure 21 - register map: Raw angle (11:8)  
  Wire.endTransmission();  
  Wire.requestFrom(0x36, 1);  
  while (Wire.available() == 0);  
  highbyte = Wire.read();  
  highbyte = highbyte << 8; //shifting to left  
  rawAngle = highbyte | lowbyte; //int is 16 bits (as well as the word)  
  degAngle = rawAngle * 0.087890625;  
}
```

```
void correctAngle()  
{  
  correctedAngle = degAngle - startAngle; //this tares the position  
  if (correctedAngle < 0) //if the calculated angle is negative, we need to  
  "normalize" it  
{
```




Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
    correctedAngle = correctedAngle + 360; //correction for negative numbers
    (i.e. -15 becomes +345)
  }
  else
  {
    //do nothing
  }
}

void checkQuadrant()
{
  //Quadrant 1
  if (correctedAngle >= 0 && correctedAngle <= 90)
  {
    quadrantNumber = 1;
  }
  //Quadrant 2
  if (correctedAngle > 90 && correctedAngle <= 180)
  {
    quadrantNumber = 2;
  }
  //Quadrant 3
  if (correctedAngle > 180 && correctedAngle <= 270)
  {
    quadrantNumber = 3;
  }
  //Quadrant 4
  if (correctedAngle > 270 && correctedAngle < 360)
  {
    quadrantNumber = 4;
  }

  if (quadrantNumber != previousquadrantNumber) //if we changed quadrant
  {
    if (quadrantNumber == 1 && previousquadrantNumber == 4)
    {
      numberOfTurns++; // 4 --> 1 transition: CW rotation
    }
    if (quadrantNumber == 4 && previousquadrantNumber == 1)
    {
      numberOfTurns--; // 1 --> 4 transition: CCW rotation
    }
    previousquadrantNumber = quadrantNumber; //update to the current
    quadrant
  }
}
```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

totalAngle = (numberOfTurns * 360) + correctedAngle; //number of turns (+/-)
plus the actual angle within the 0-360 range
}

void checkMagnetPresence()
{
  while ((magnetStatus & 32) != 32) //while the magnet is not adjusted to the
proper distance - 32: MD = 1
  {
    magnetStatus = 0; //reset reading
    Wire.beginTransaction(0x36); //connect to the sensor
    Wire.write(0x0B); //figure 21 - register map: Status: MD ML MH
    Wire.endTransmission(); //end transmission
    Wire.requestFrom(0x36, 1); //request from the sensor
    while (Wire.available() == 0); //wait until it becomes available
    magnetStatus = Wire.read(); //Reading the data after the request
  }
}

void calculateRPM()
{
  timerdiff = millis() - rpmTimer;
  if (timerdiff > rpmInterval)
  {
    rpmValue = (60000.0 / timerdiff) * (totalAngle - recentTotalAngle) / 360.0;
    stepRateFromRPM = rpmValue * 800.0 / 60.0;
    recentTotalAngle = totalAngle; //Make the totalAngle as the recent total
angle.
    rpmTimer = millis(); //Update the timer with the current millis() value
  }
}

```

LAMPIRAN 8

Full Code Program Infusion Pump Control Fuzzy PI

```

//*****
*****
// Matlab .fis to arduino C converter v2.0.1.25122016
// - Karthik Nadig, USA
// Please report bugs to:
// https://github.com/karthiknadig/ArduinoFIS/issues
// If you don't have a GitHub account mail to karthiknadig@gmail.com
//*****
*****

#include "fis_header.h"

```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
#include <AccelStepper.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#include <EEPROM.h>
#include "TimerOne.h" //Timer interrupts
#include <Wire.h> //This is for i2C
#define dirPin 2
#define stepPin 3
#define enter 8
#define up 12
#define down 11
#define up2 10
#define down2 9
#define motorInterfaceType 1

//nextion
String endChar = String(char(0xff)) + String(char(0xff)) + String(char(0xff));
String ReceivedData = "";
int flow = 0;
float flowrate, speedmotor;
union {
  char charByte[20];
  long valLong;
} value;
//-----
//PID
float Kp;
float Ki;
float Kd;
float p, i, d;
float Error, dError, sum_Error;
float sp;
float power;
float g_fisOutput0;
float g_fisOutput1;
float Flowrate;

AccelStepper stepper = AccelStepper(motorInterfaceType, stepPin, dirPin);
//Sensor
int magnetStatus = 0; //value of the status register (MD, ML, MH)
int lowbyte; //raw angle 7:0
word highbyte; //raw angle 7:0 and 11:8
int rawAngle; //final raw angle
float degAngle; //raw angle in degrees (360/4096 * [value between 0-4095])

int quadrantNumber, previousquadrantNumber; //quadrant IDs
int numberOfTurns = 0; //number of turns
```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
int correctedAngle = 0; //tared angle - based on the startup value
int startAngle = 0; //starting angle
int totalAngle = 0; //total absolute angular displacement
int previoustotalAngle = -1; //for the display printing
int recentTotalAngle = 0; //for the display printing
int rpmValue = 0; //revolutions per minute
int stepRateFromRPM = 0; //steps/s calculated from RPM
int calculatedRPM = 0; //calculated RPM based on the stepper speed
int stepperPosition = 0; //stepper's software position based on the AccelStepper
library
int stepperPreviousPosition = 0; //stepper's software position based on the
AccelStepper library
int rpmInterval = 500; // RPM is calculated every 0.2 seconds
int rpmTimer = 0; //Timer for the rpm
int timerdiff = 0; //Time difference for more exact rpm calculation
//-----
//Smooting
const int numReadings = 100;

int readings[numReadings]; // the readings from the analog input
int readIndex = 0; // the index of the current reading
float total = 0; // the running total
float average = 0; // the average

const int numReadings2 = 100;

int readings2[numReadings2]; // the readings from the analog input
int readIndex2 = 0; // the index of the current reading
float total2 = 0; // the running total
float average2 = 0; // the average

int a, b;
float nilai_tetes, completed;
int nilaiflow, setvolume;
float vol, volume;
int jam, menit, t2;
float sisa, waktu, t, error;
//keypad
int button_enter = 0;
int button_up = 0;
int button_down = 0;
int button_up2 = 0;
int button_down2 = 0;
int button_up3 = 0;
int button_down3 = 0;
```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
int button_up4 = 0;
int button_down4 = 0;
unsigned long previousTime2 = 0;
unsigned long currentTime2;
double lastError, rateError, elapsedTime;
int interval = 100;
unsigned long interval_timer = 1000;
unsigned long previousMillis_timer = 0;
unsigned long currentMillis_timer;
```

```
unsigned long interval_button = 200;
unsigned long previousMillis_button = 0;
unsigned long currentMillis_button;
```

```
// Number of inputs to the fuzzy inference system
const int fis_gcI = 2;
// Number of outputs to the fuzzy inference system
const int fis_gcO = 2;
// Number of rules to the fuzzy inference system
const int fis_gcR = 25;
```

```
FIS_TYPE g_fisInput[fis_gcI];
FIS_TYPE g_fisOutput[fis_gcO];
```

```
void pid()
{
    dError = Error;
    Error = sp - flowrate;
    sum_Error += Error;

    float P = Kp * Error;
    float I = Ki * sum_Error;
```

```
power = P + I;
```

```
if (power > 2600) {
    power = 2600;
}
else if (power < 0) {
    power = 0;
}
return power;
}
```

```
void callback()
```



POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
{
  stepper.runSpeed();
}

void setflow()
{
  currentMillis_button = millis();
  button_up = digitalRead(up);
  button_down = digitalRead(down);
  button_up2 = digitalRead(up2);
  button_down2 = digitalRead(down2);
  if (button_up == LOW)
  {
    if ((unsigned long)(currentMillis_button - previousMillis_button) >=
interval_button)
    {
      nilaiflow = nilaiflow + 1;
      previousMillis_button = millis();
    }
  }
  if (button_down == LOW)
  {
    if ((unsigned long)(currentMillis_button - previousMillis_button) >=
interval_button)
    {
      nilaiflow = nilaiflow - 1;
      previousMillis_button = millis();
    }
  }
  if (button_up2 == LOW)
  {
    if ((unsigned long)(currentMillis_button - previousMillis_button) >=
interval_button)
    {
      nilaiflow = nilaiflow + 10;
      previousMillis_button = millis();
    }
  }
  if (button_down2 == LOW)
  {
    if ((unsigned long)(currentMillis_button - previousMillis_button) >=
interval_button)
    {
      nilaiflow = nilaiflow - 10;
      previousMillis_button = millis();
    }
  }
}
```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
}
if (nilaiflow < 0)
{
    nilaiflow = 150;
}
if (nilaiflow > 150)
{
    nilaiflow = 0;
}
}

void setvol()
{
    currentMillis_button = millis();
    button_up3 = digitalRead(up);
    button_down3 = digitalRead(down);
    button_up4 = digitalRead(up2);
    button_down4 = digitalRead(down2);
    if (button_up3 == LOW)
    {
        if ((unsigned long)(currentMillis_button - previousMillis_button) >=
interval_button)
        {
            setvolume = setvolume + 1;
            previousMillis_button = millis();
        }
    }
    if (button_down3 == LOW)
    {
        if ((unsigned long)(currentMillis_button - previousMillis_button) >=
interval_button)
        {
            setvolume = setvolume - 1;
            previousMillis_button = millis();
        }
    }
    if (button_up4 == LOW)
    {
        if ((unsigned long)(currentMillis_button - previousMillis_button) >=
interval_button)
        {
            setvolume = setvolume + 10;
            previousMillis_button = millis();
        }
    }
    if (button_down4 == LOW)
```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
{
  if ((unsigned long)(currentMillis_button - previousMillis_button) >=
interval_button)
  {
    setvolume = setvolume - 11;
    previousMillis_button = millis();
  }
}
if (setvolume < 1)
{
  setvolume = 5000;
}
if (setvolume > 5000)
{
  setvolume = 1;
}
}

// Setup routine runs once when you press reset:
void setup()
{
  stepper.setMaxSpeed(2600);
  //sensor
  Timer1.initialize(100); //100 us timer trigger interval
  Timer1.setPeriod(100);
  Timer1.attachInterrupt(callback);
  pinMode(dirPin, OUTPUT);
  pinMode(enter, INPUT_PULLUP);
  digitalWrite(dirPin, HIGH);
  //pinMode(tetes,INPUT_PULLUP);
  Serial.begin(9600); //start serial - tip: don't use serial if you don't need it
(speed considerations)
  Wire.begin(); //start i2C
  Wire.setClock(800000L); //fast clock
  checkMagnetPresence(); //check the magnet (blocks until magnet is found)
  ReadRawAngle(); //make a reading so the degAngle gets updated
  startAngle = degAngle; //update startAngle with degAngle - for taring
  for (int thisReading = 0; thisReading < numReadings; thisReading++) {
    readings[thisReading] = 0;
  }
}
//keypad
pinMode(enter, INPUT_PULLUP);
pinMode(up, INPUT_PULLUP);
pinMode(down, INPUT_PULLUP);
pinMode(up2, INPUT_PULLUP);
pinMode(down2, INPUT_PULLUP);
```




Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
}  
  
// Loop routine runs over and over again forever:  
void loop()  
{  
  sisa = setvolume - vol;  
  waktu = sisa / nilaiflow;  
  t = waktu * 60;  
  jam = t / 60;  
  menit = t - (jam * 60);  
  
  ReadRawAngle(); //ask the value from the sensor  
  correctAngle(); //tare the value  
  checkQuadrant(); //check quadrant, check rotations, check absolute angular  
  position  
  calculateRPM(); //Calculate RPM  
  total = total - readings[readIndex];  
  readings[readIndex] = rpmValue;  
  total = total + readings[readIndex];  
  readIndex = readIndex + 1;  
  if (readIndex >= numReadings) {  
    readIndex = 0;  
  }  
  average = total / numReadings;  
  /*  
    181 = 0.4075  2250  
    130 = 0.400   1500  
    92 = 0.3926  1000  
  */  
  flowrate = average / 0.400;  
  if (average < 0) {  
    average = 0.0;  
    total = 0.0;  
  }  
  
  if (nilaiflow - flowrate <= 1.0 && nilaiflow - flowrate >= -1.0) {  
    Flowrate = nilaiflow;  
  }  
  if (nilaiflow - flowrate >= 2.0 || flowrate - nilaiflow >= 2.0) {  
    Flowrate = flowrate;  
  }  
  total2 = total2 - readings2[readIndex2];  
  readings2[readIndex2] = flowrate;  
  total2 = total2 + readings2[readIndex2];  
  readIndex2 = readIndex2 + 1;  
}
```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
if (readIndex2 >= numReadings2) {
  readIndex2 = 0;
}
average2 = total2 / numReadings2;

currentMillis_button = millis();
button_enter = digitalRead(enter);
if (button_enter == LOW)
{
  if ((unsigned long)(currentMillis_button - previousMillis_button) >=
interval_button)
  {
    a = a + 1;
    previousMillis_button = millis();
  }
}

if (a == 0)
{
  setflow();
  Serial.print("t12.txt=\");
  Serial.print("<");
  Serial.print("\");
  Serial.write(0xFF);
  Serial.write(0xFF);
  Serial.write(0xFF);

  Serial.print("t13.txt=\");
  Serial.print(" ");
  Serial.print("\");
  Serial.write(0xFF);
  Serial.write(0xFF);
  Serial.write(0xFF);

  Serial.print("t14.txt=\");
  Serial.print("STOP");
  Serial.print("\");
  Serial.write(0xFF);
  Serial.write(0xFF);
  Serial.write(0xFF);
}
if (a == 1)
{
  setvol();
  Serial.print("t12.txt=\");
  Serial.print(" ");
```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
Serial.print("\n");
Serial.write(0xFF);
Serial.write(0xFF);
Serial.write(0xFF);

Serial.print("t13.txt=\n");
Serial.print("<");
Serial.print("\n");
Serial.write(0xFF);
Serial.write(0xFF);
Serial.write(0xFF);

Serial.print("t14.txt=\n");
Serial.print("STOP");
Serial.print("\n");
Serial.write(0xFF);
Serial.write(0xFF);
Serial.write(0xFF);
}
if (a == 2)
{
  pid();
  fis();
  g_fisInput[0] = Error;
  g_fisInput[1] = Error;
  g_fisOutput[0] = 0;
  g_fisOutput[1] = 0;
  fis_evaluate();
  Kp = g_fisOutput0;
  Ki = g_fisOutput1;
  sp = nilaiflow;
  stepper.setSpeed(power);
  nilai_tetes = flowrate / 3600.0;
  currentMillis_timer = millis();
  if ((unsigned long)(currentMillis_timer - previousMillis_timer) >=
interval_timer)
  {
    vol = vol + nilai_tetes;
    previousMillis_timer = currentMillis_timer;
  }
  Serial.print("t3.txt=\n");
  Serial.print(vol, 1);
  Serial.print("\n");
  Serial.write(0xFF);
  Serial.write(0xFF);
  Serial.write(0xFF);
}
```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
if (vol >= setvolume)
{
  a = 0;
}
Serial.print("t12.txt=\");
Serial.print(" ");
Serial.print("\");
Serial.write(0xFF);
Serial.write(0xFF);
Serial.write(0xFF);

Serial.print("t13.txt=\");
Serial.print(" ");
Serial.print("\");
Serial.write(0xFF);
Serial.write(0xFF);
Serial.write(0xFF);

Serial.print("t14.txt=\");
Serial.print("running.....");
Serial.print("\");
Serial.write(0xFF);
Serial.write(0xFF);
Serial.write(0xFF);
}
Serial.print("t0.txt=\");
Serial.print(Flowrate, 0);
Serial.print("\");
Serial.write(0xFF);
Serial.write(0xFF);
Serial.write(0xFF);

Serial.print("t6.txt=\");
Serial.print(nilaiflow);
Serial.print("\");
Serial.write(0xFF);
Serial.write(0xFF);
Serial.write(0xFF);

Serial.print("t7.txt=\");
Serial.print(setvolume);
Serial.print("\");
Serial.write(0xFF);
Serial.write(0xFF);
Serial.write(0xFF);
```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
Serial.print("t9.txt=\");  
Serial.print(jam);  
Serial.print("\");  
Serial.write(0xFF);  
Serial.write(0xFF);  
Serial.write(0xFF);
```

```
Serial.print("t10.txt=\");  
Serial.print(menit);  
Serial.print("\");  
Serial.write(0xFF);  
Serial.write(0xFF);  
Serial.write(0xFF);
```

```
if (a > 3)  
{  
  a = 0;  
}
```

```
if (a == 0)  
{  
  stepper.setSpeed(0);  
  average = 0.0;  
  total = 0.0;  
}
```

```
void ReadRawAngle()  
{
```

```
  Wire.beginTransmission(0x36); //connect to the sensor  
  Wire.write(0x0D); //figure 21 - register map: Raw angle (7:0)  
  Wire.endTransmission(); //end transmission  
  Wire.requestFrom(0x36, 1); //request from the sensor  
  while (Wire.available() == 0); //wait until it becomes available  
  lowbyte = Wire.read(); //Reading the data after the request  
  Wire.beginTransmission(0x36);  
  Wire.write(0x0C); //figure 21 - register map: Raw angle (11:8)  
  Wire.endTransmission();  
  Wire.requestFrom(0x36, 1);  
  while (Wire.available() == 0);  
  highbyte = Wire.read();  
  highbyte = highbyte << 8; //shifting to left  
  rawAngle = highbyte | lowbyte; //int is 16 bits (as well as the word)  
  degAngle = rawAngle * 0.087890625;  
}
```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
void correctAngle()
{
    correctedAngle = degAngle - startAngle; //this tares the position
    if (correctedAngle < 0) //if the calculated angle is negative, we need to
    "normalize" it
    {
        correctedAngle = correctedAngle + 360; //correction for negative numbers
        (i.e. -15 becomes +345)
    }
    else
    {
        //do nothing
    }
}

void checkQuadrant()
{
    //Quadrant 1
    if (correctedAngle >= 0 && correctedAngle <= 90)
    {
        quadrantNumber = 1;
    }
    //Quadrant 2
    if (correctedAngle > 90 && correctedAngle <= 180)
    {
        quadrantNumber = 2;
    }
    //Quadrant 3
    if (correctedAngle > 180 && correctedAngle <= 270)
    {
        quadrantNumber = 3;
    }
    //Quadrant 4
    if (correctedAngle > 270 && correctedAngle < 360)
    {
        quadrantNumber = 4;
    }

    if (quadrantNumber != previousquadrantNumber) //if we changed quadrant
    {
        if (quadrantNumber == 1 && previousquadrantNumber == 4)
        {
            numberOfTurns++; // 4 --> 1 transition: CW rotation
        }
        if (quadrantNumber == 4 && previousquadrantNumber == 1)
        {

```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

    numberOfTurns--; // 1 --> 4 transition: CCW rotation
  }
  previousquadrantNumber = quadrantNumber; //update to the current
quadrant
  }
  totalAngle = (numberOfTurns * 360) + correctedAngle; //number of turns (+/-)
plus the actual angle within the 0-360 range
  }

void checkMagnetPresence()
{
  while ((magnetStatus & 32) != 32) //while the magnet is not adjusted to the
proper distance - 32: MD = 1
  {
    magnetStatus = 0; //reset reading
    Wire.beginTransmission(0x36); //connect to the sensor
    Wire.write(0x0B); //figure 21 - register map: Status: MD ML MH
    Wire.endTransmission(); //end transmission
    Wire.requestFrom(0x36, 1); //request from the sensor
    while (Wire.available() == 0); //wait until it becomes available
    magnetStatus = Wire.read(); //Reading the data after the request
  }
}

void calculateRPM()
{
  timerdiff = millis() - rpmTimer;
  if (timerdiff > rpmInterval)
  {
    rpmValue = (60000.0 / timerdiff) * (totalAngle - recentTotalAngle) / 360.0;
    stepRateFromRPM = rpmValue * 800.0 / 60.0;
    recentTotalAngle = totalAngle; //Make the totalAngle as the recent total
angle.
    rpmTimer = millis(); //Update the timer with the current millis() value
  }
}

//*****
*****

// Support functions for Fuzzy Inference System
//*****
*****

// Triangular Member Function
FIS_TYPE fis_trimf(FIS_TYPE x, FIS_TYPE* p)
{
  FIS_TYPE a = p[0], b = p[1], c = p[2];

```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

FIS_TYPE t1 = (x - a) / (b - a);
FIS_TYPE t2 = (c - x) / (c - b);
if ((a == b) && (b == c)) return (FIS_TYPE) (x == a);
if (a == b) return (FIS_TYPE) (t2 * (b <= x) * (x <= c));
if (b == c) return (FIS_TYPE) (t1 * (a <= x) * (x <= b));
t1 = min(t1, t2);
return (FIS_TYPE) max(t1, 0);
}

FIS_TYPE fis_prod(FIS_TYPE a, FIS_TYPE b)
{
return (a * b);
}

FIS_TYPE fis_probor(FIS_TYPE a, FIS_TYPE b)
{
return (a + b - (a * b));
}

FIS_TYPE fis_sum(FIS_TYPE a, FIS_TYPE b)
{
return (a + b);
}

FIS_TYPE fis_array_operation(FIS_TYPE *array, int size, _FIS_ARR_OP
pfnOp)
{
int i;
FIS_TYPE ret = 0;

if (size == 0) return ret;
if (size == 1) return array[0];

ret = array[0];
for (i = 1; i < size; i++)
{
ret = (*pfnOp)(ret, array[i]);
}

return ret;
}

//*****
*****
// Data for Fuzzy Inference System

```




Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
/**
*****
// Pointers to the implementations of member functions
_FIS_MF fis_gMF[] =
{
  fis_trimf
};

// Count of member function for each Input
int fis_gIMFCount[] = { 5, 5 };

// Count of member function for each Output
int fis_gOMFCount[] = { 5, 5 };

// Coefficients for the Input Member Functions
FIS_TYPE fis_gMFI0Coeff1[] = { -300, -200, -100 };
FIS_TYPE fis_gMFI0Coeff2[] = { -200, -100, 0 };
FIS_TYPE fis_gMFI0Coeff3[] = { -100, 0, 100 };
FIS_TYPE fis_gMFI0Coeff4[] = { 0, 100, 200 };
FIS_TYPE fis_gMFI0Coeff5[] = { 100, 200, 300 };
FIS_TYPE* fis_gMFI0Coeff[] = { fis_gMFI0Coeff1, fis_gMFI0Coeff2,
  fis_gMFI0Coeff3, fis_gMFI0Coeff4, fis_gMFI0Coeff5 };
FIS_TYPE fis_gMFI1Coeff1[] = { -300, -200, -100 };
FIS_TYPE fis_gMFI1Coeff2[] = { -200, -100, 0 };
FIS_TYPE fis_gMFI1Coeff3[] = { -100, 0, 100 };
FIS_TYPE fis_gMFI1Coeff4[] = { 0, 100, 200 };
FIS_TYPE fis_gMFI1Coeff5[] = { 100, 200, 300 };
FIS_TYPE* fis_gMFI1Coeff[] = { fis_gMFI1Coeff1, fis_gMFI1Coeff2,
  fis_gMFI1Coeff3, fis_gMFI1Coeff4, fis_gMFI1Coeff5 };
FIS_TYPE** fis_gMFI0Coeff[] = { fis_gMFI0Coeff, fis_gMFI1Coeff };

// Coefficients for the Output Member Functions
FIS_TYPE fis_gMFO0Coeff1[] = { 0, 0, 0.6 };
FIS_TYPE fis_gMFO0Coeff2[] = { 0, 0, 0.7 };
FIS_TYPE fis_gMFO0Coeff3[] = { 0, 0, 0.8 };
FIS_TYPE fis_gMFO0Coeff4[] = { 0, 0, 0.9 };
FIS_TYPE fis_gMFO0Coeff5[] = { 0, 0, 1 };
FIS_TYPE* fis_gMFO0Coeff[] = { fis_gMFO0Coeff1, fis_gMFO0Coeff2,
  fis_gMFO0Coeff3, fis_gMFO0Coeff4, fis_gMFO0Coeff5 };
FIS_TYPE fis_gMFO1Coeff1[] = { 0, 0, 0.03 };
FIS_TYPE fis_gMFO1Coeff2[] = { 0, 0, 0.04 };
FIS_TYPE fis_gMFO1Coeff3[] = { 0, 0, 0.05 };
FIS_TYPE fis_gMFO1Coeff4[] = { 0, 0, 0.1 };
FIS_TYPE fis_gMFO1Coeff5[] = { 0, 0, 0.15 };
FIS_TYPE* fis_gMFO1Coeff[] = { fis_gMFO1Coeff1, fis_gMFO1Coeff2,
  fis_gMFO1Coeff3, fis_gMFO1Coeff4, fis_gMFO1Coeff5 };
*/
```




Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
int* fis_gRI[] = { fis_gRI0, fis_gRI1, fis_gRI2, fis_gRI3, fis_gRI4, fis_gRI5,
fis_gRI6, fis_gRI7, fis_gRI8, fis_gRI9, fis_gRI10, fis_gRI11, fis_gRI12,
fis_gRI13, fis_gRI14, fis_gRI15, fis_gRI16, fis_gRI17, fis_gRI18, fis_gRI19,
fis_gRI20, fis_gRI21, fis_gRI22, fis_gRI23, fis_gRI24 };
```

```
// Rule Outputs
```

```
int fis_gRO0[] = { 5, 1 };
```

```
int fis_gRO1[] = { 5, 1 };
```

```
int fis_gRO2[] = { 5, 1 };
```

```
int fis_gRO3[] = { 4, 2 };
```

```
int fis_gRO4[] = { 3, 3 };
```

```
int fis_gRO5[] = { 5, 1 };
```

```
int fis_gRO6[] = { 4, 2 };
```

```
int fis_gRO7[] = { 4, 2 };
```

```
int fis_gRO8[] = { 3, 3 };
```

```
int fis_gRO9[] = { 2, 4 };
```

```
int fis_gRO10[] = { 5, 1 };
```

```
int fis_gRO11[] = { 4, 2 };
```

```
int fis_gRO12[] = { 3, 3 };
```

```
int fis_gRO13[] = { 2, 4 };
```

```
int fis_gRO14[] = { 1, 5 };
```

```
int fis_gRO15[] = { 4, 2 };
```

```
int fis_gRO16[] = { 3, 3 };
```

```
int fis_gRO17[] = { 2, 4 };
```

```
int fis_gRO18[] = { 2, 4 };
```

```
int fis_gRO19[] = { 1, 5 };
```

```
int fis_gRO20[] = { 3, 3 };
```

```
int fis_gRO21[] = { 2, 4 };
```

```
int fis_gRO22[] = { 1, 5 };
```

```
int fis_gRO23[] = { 1, 5 };
```

```
int fis_gRO24[] = { 1, 5 };
```

```
int* fis_gRO[] = { fis_gRO0, fis_gRO1, fis_gRO2, fis_gRO3, fis_gRO4,
fis_gRO5, fis_gRO6, fis_gRO7, fis_gRO8, fis_gRO9, fis_gRO10, fis_gRO11,
fis_gRO12, fis_gRO13, fis_gRO14, fis_gRO15, fis_gRO16, fis_gRO17,
fis_gRO18, fis_gRO19, fis_gRO20, fis_gRO21, fis_gRO22, fis_gRO23,
fis_gRO24 };
```

```
// Input range Min
```

```
FIS_TYPE fis_gIMin[] = { -200, -200 };
```

```
// Input range Max
```

```
FIS_TYPE fis_gIMax[] = { 200, 200 };
```

```
// Output range Min
```

```
FIS_TYPE fis_gOMin[] = { 0, 0 };
```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

// Output range Max
FIS_TYPE fis_gOMax[] = { 1, 1 };

//*****
*****
// Data dependent support functions for Fuzzy Inference System
//*****
*****
// None for Sugeno

//*****
*****
// Fuzzy Inference System
//*****
*****
void fis_evaluate()
{
    FIS_TYPE fuzzyInput0[] = { 0, 0, 0, 0, 0 };
    FIS_TYPE fuzzyInput1[] = { 0, 0, 0, 0, 0 };
    FIS_TYPE* fuzzyInput[fis_gcI] = { fuzzyInput0, fuzzyInput1, };
    FIS_TYPE fuzzyOutput0[] = { 0, 0, 0, 0, 0 };
    FIS_TYPE fuzzyOutput1[] = { 0, 0, 0, 0, 0 };
    FIS_TYPE* fuzzyOutput[fis_gcO] = { fuzzyOutput0, fuzzyOutput1, };
    FIS_TYPE fuzzyRules[fis_gcR] = { 0 };
    FIS_TYPE fuzzyFires[fis_gcR] = { 0 };
    FIS_TYPE* fuzzyRuleSet[] = { fuzzyRules, fuzzyFires };
    FIS_TYPE sW = 0;

    // Transforming input to fuzzy Input
    int i, j, r, o;
    for (i = 0; i < fis_gcI; ++i)
    {
        for (j = 0; j < fis_gIMFCount[i]; ++j)
        {
            fuzzyInput[i][j] =
                (fis_gMF[fis_gMFI[i][j]])(g_fisInput[i], fis_gMFICoeff[i][j]);
        }
    }

    int index = 0;
    for (r = 0; r < fis_gcR; ++r)
    {
        if (fis_gRType[r] == 1)
        {
            fuzzyFires[r] = 1;
            for (i = 0; i < fis_gcI; ++i)

```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
{
  index = fis_gRI[r][i];
  if (index > 0)
    fuzzyFires[r] = fis_prod(fuzzyFires[r], fuzzyInput[i][index - 1]);
  else if (index < 0)
    fuzzyFires[r] = fis_prod(fuzzyFires[r], 1 - fuzzyInput[i][-index - 1]);
  else
    fuzzyFires[r] = fis_prod(fuzzyFires[r], 1);
}
}
else
{
  fuzzyFires[r] = 0;
  for (i = 0; i < fis_gcI; ++i)
  {
    index = fis_gRI[r][i];
    if (index > 0)
      fuzzyFires[r] = fis_probor(fuzzyFires[r], fuzzyInput[i][index - 1]);
    else if (index < 0)
      fuzzyFires[r] = fis_probor(fuzzyFires[r], 1 - fuzzyInput[i][-index - 1]);
    else
      fuzzyFires[r] = fis_probor(fuzzyFires[r], 0);
  }
}

fuzzyFires[r] = fis_gRWeight[r] * fuzzyFires[r];
sW += fuzzyFires[r];
}

if (sW == 0)
{
  for (o = 0; o < fis_gcO; ++o)
  {
    g_fisOutput[o] = ((fis_gOMax[o] + fis_gOMin[o]) / 2);
  }
}
else
{
  for (o = 0; o < fis_gcO; ++o)
  {
    FIS_TYPE sWI = 0.0;
    for (j = 0; j < fis_gOMFCount[o]; ++j)
    {
      fuzzyOutput[o][j] = fis_gMFOCoeff[o][j][fis_gcI];
      for (i = 0; i < fis_gcI; ++i)
      {
```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
fuzzyOutput[o][j] += g_fisInput[i] * fis_gMFOCoeff[o][j][i];
}
}

for (r = 0; r < fis_gcR; ++r)
{
    index = fis_gRO[r][o] - 1;
    sWI += fuzzyFires[r] * fuzzyOutput[o][index];
}
g_fisOutput[o] = sWI / sW;
}
}
}
```

