

**SISTEM KENDALI *HYBRID FUZZY* PID  
PADA MESIN PENIRIS MINYAK BAWANG GORENG**

**(Tesis)**

**Oleh**

***Rizky Meidianto***  
**NPM 2225031014**



**PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2026**

**SISTEM KENDALI *HYBRID FUZZY* PID  
PADA MESIN PENIRIS MINYAK BAWANG GORENG**

**Oleh**

***Rizky Meidianto***

**Tesis**

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
**MAGISTER TEKNIK**

**Pada**

Program Pascasarjana Magister Teknik Elektro  
Fakultas Teknik Universitas Lampung



**PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2026**

## **ABSTRAK**

### **SISTEM KENDALI *HYBRID FUZZY* PID PADA MESIN PENIRIS MINYAK BAWANG GORENG**

**Oleh**

**RIZKY MEIDIANTO**

Bawang goreng merupakan salah satu olahan makanan dengan permintaan terbesar di Indonesia. Kadar minyak menjadi faktor utama yang harus dikendalikan untuk menjaga kualitas aroma dan cita rasa. Solusi modern untuk hal tersebut adalah menggunakan mesin peniris minyak. Adanya bantuan sistem kendali membuat mesin peniris bisa digunakan di berbagai olahan makan, terkhusus untuk bawang goreng. Alat yang dibuat pada penelitian ini dimaksudkan sebagai model yang dapat disimulasikan pada Simulink MATLAB. Setelah dilakukan simulasi rangkaian, didapatkan bahwa kendali *hybrid* memiliki performa lebih baik dibandingkan dengan kendali PID atau *fuzzy*, di mana *delay time* (D) 0.0138, *respond time* (R) 0.0479 detik, *settling time* (s) 0.0491, dan tanpa adanya *overshoot* yang terjadi.

Kata Kunci: PID, Fuzzy, Hybrid, Motor DC, MATLAB, *System Identification*

## **ABTRACT**

### **HYBRID FUZZY PID CONTROL SYSTEM ON FRIED SHALLOT OIL SPINNER MACHINE**

**By:**

**RIZKY MEIDIANTO**

Fried shallots are one of the most demanded food products in Indonesia. To maintain the quality of aroma and taste, oil content is a key factor that must be controlled. A modern solution to this is to use an oil spinner machine. With the help of a control system, the spinner machine can be used in various food preparations, especially for fried shallots. The spinner machine created in this study is intended as a model that can be simulated in MATLAB Simulink. After conducting a circuit simulation, it was found that the hybrid control has better performance than PID or fuzzy control where the delay time (D) is 0.0138, response time (R) is 0.0479 seconds, settling time (s) is 0.0491, and there is no overshoot.

*Keywords:* PID, Fuzzy, Hybrid, Motor DC, MATLAB, *System Identification*

**Judul Tesis** : **Sistem Kendali Hybrid Fuzzy PID Pada  
Mesin Peniris Minyak Bawang Goreng**

**Nama Mahasiswa** : **Rizky Meidianto**  
**Nomor Pokok Mahasiswa** : **2225031014**  
**Program Studi** : **Magister Teknik Elektro**  
**Fakultas** : **Teknik**


**MENYETUJUI**

**1. Komisi Pembimbing**

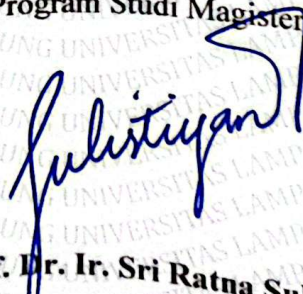
**Pembimbing I**

**Pembimbing II**

  
**Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.**  
**NIP 19750928 200112 1 002**

  
**Dr. Eng. F.X. Arinto S., S.T., M.T.**  
**NIP 19691219 199903 1 002**

**2. Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro**

  
**Prof. Dr. Ir. Sri Ratna Sulistiyanti, M.T.**  
**NIP 19651021 199512 2 001**



## MENGESAHKAN

1. Komisi Penguji 1

Ketua Komisi Penguji

(Pembimbing I)

: Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.

Sekretaris Komisi Penguji

(Pembimbing II)

: Dr. Eng. F.X. Arinto S., S.T., M.T.

Anggota Komisi Penguji

(Penguji I)

: Prof. Dr. Ir. Sri Ratna Sulistiyanti, M.T.

Anggota Komisi Penguji

(Penguji II)

: Dr. Eng. Ageng Sadnowo R., S.T., M.T.

1. Dekan Fakultas Teknik

  
Dr. H. Alhmad Herison, S.T., M.T.

NIP-19691030 200003 1 001

2. Direktur Program Pascasarjana

  
Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si.

NIP-19640326 198902 1 001

Tanggal Lulus Ujian Tesis: 28 Januari 2026



## SURAT PERNYATAAN

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tesis yang saya susun sebagai syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik dan Program Pascasarjana Magister Teknik Elektro seluruhnya merupakan hasil karya sendiri.

Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan tesis yang saya kutip dari hasil karya hasil orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan ilmiah.

Tesis dengan judul "*Sistem Kendali Hybrid Fuzzy PID Pada Mesin Peniris Minyak Bawang Goreng*" dapat diselesaikan berkat bimbingan dan motivasi dari pembimbing-pembimbing saya, yaitu:

1. Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.
2. Dr. Eng. F.X. Arinto S., S.T., M.T.

Saya ucapkan terima kasih yang sebesar besarnya kepada semua pihak, khususnya kedua dosen pembimbing dan Bapak/Ibu Dosen Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Lampung yang banyak memberikan ilmu pengetahuan, bimbingan dan motivasi.

Apabila dikemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian tesis ini bukan hasil karya sendiri atau adanya plagiat dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya sandang dan sanksi sanksi lainnya sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Bandar Lampung, 28 Januari 2026

  
Rizky Meidianto



## **RIWAYAT HIDUP**

Penulis dilahirkan di Baturaja, Kabupaten Ogan Komering Ulu, Provinsi Sumatera Selatan pada tanggal 16 Mei 1998. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Gistapian S.Pd. (Alm.) dan Ibu Marlenah, S.Pd.



Penulis memulai pendidikan di TK YWKA Baturaja pada tahun 2003 hingga 2004. Kemudian melanjutkan pendidikan di SD Xaverius 1 BTA pada tahun 2004 hingga 2010. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan di SMPN 2 OKU pada tahun 2010 hingga 2013. Kemudian melanjutkan pendidikan di SMAN 1 OKU pada tahun 2013 hingga 2016.

Penulis menjadi mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung pada tahun 2016 melalui jalur SBMPTN (Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri). Selama itu, penulis aktif sebagai anggota Departemen Pengembangan Keteknikan pada periode 2017 dan menjadi kepala divisi Penelitian dan Pengembangan pada periode 2018 dalam Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (HIMATRO), serta tergabung dalam tim riset Unila Robotika dan Otomasi (URO) sebagai anggota divisi Robot Sepak Bola Beroda. Pada tahun 2022, penulis melanjutkan studi Pascasarjana Teknik Elektro di Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Selama menjadi mahasiswa, penulis juga menjadi K3 Staff di PT Gedung Bank Exim, Palembang, Sumatera Selatan.



# PERSEMBAHAN

*Alhamdulillahilakhirabbil 'alamin, dengan izin Allah SWT, teriring  
sholawat kepada Rasulullah Muhammad SAW, kupersembahkan  
karya ini dengan penuh rasa hormat, cinta, dan kasih sayang,*

*kepada:*

*Ibunda dan Ayahanda tercinta*

**Gistapian, S.Pd. (Alm.) dan Marlenah, S.Pd.**

*Yang telah memberikan ketulusan kasih sayang, mendo'akan, dan  
mendukung penuh agar penulis dapat menyelesaikan studi ini dengan  
baik,*

*Saudara Perempuanku tersayang*

**Amalia Agtyana Putri**

*Yang dengan sabar dan Ikhlas senantiasa memberikan semangat  
kepada penulis dalam menyelesaikan tesis ini*

**Dosen Pembimbing, Sahabat, dan Almamaterku**

# MOTTO

“Boleh jadi kamu membenci sesuatu, padahal ia amat baik bagimu, dan boleh jadi (pula) kamu menyukai sesuatu, padahal ia amat buruk bagimu. Allah mengetahui, sedang kamu tidak mengetahui

(Q.S. Al-Baqarah :216)

“Sebaik - baik manusia adalah yang paling bermanfaat bagi orang lain”

(Hadits Riwayat ath-Thabrani, Al-Mu’jam al-Ausath)

## SANWACANA

Alhamdulillah rabbil'alamin, segala puji dan syukur penulis haturkan kehadiran Allah SWT atas segala limpahan berkah rahmat, hidayah, nikmat, dan karunia-Nya, tesis dengan judul "*Sistem Kendali Hybrid Fuzzy PID Pada Mesin Peniris Minyak Bawang Goreng*" dapat terselesaikan. Tesis ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Pascasarjana Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Penulis mendapatkan banyak bantuan dan dukungan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung dalam proses penyelesaian tesis ini. Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., IPM., ASEAN Eng. selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Hi. Ahmad Herison, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si., selaku Direktur Program Pascasarjana Teknik Elektro Universitas Lampung
4. Ibu Prof. Dr. Ir. Sri Ratna Sulistiyanti, M.T., Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro sekaligus Dosen Penguji I yang telah membimbing dan memberikan banyak masukan serta saran kepada penulis selama menjalani perkuliahan.
5. Bapak Dr. Eng. F.X. Arinto S., S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik (PA) dan Dosen Pembimbing II yang telah mencurahkan ilmu, bimbingan, arahan, dan motivasi kepada penulis dengan baik. bantuan, arahan, masukan, motivasi dan nilai-nilai kehidupan kepada penulis dengan baik.

6. Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., Dosen Pembimbing Utama yang telah memberikan bimbingan, ilmu, arahan, dan penanaman nilai-nilai berharga kepada penulis.
7. Bapak Dr. Eng. Ageng Sadnowo R., S.T., M.T., Dosen Penguji II yang telah memberikan bimbingan, motivasi, dan nilai-nilai kehidupan yang berharga kepada penulis.
8. Segenap Bapak/Ibu Dosen Pascasarjana Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat dan pengalaman yang berharga kepada penulis selama menempuh pendidikan.
9. Segenap Staff Pascasarjana Teknik Elektro, Fakultas Teknik yang telah membantu penulis, baik dalam hal administrasi dan lainnya.
10. Ayah, Ibuku tersayang, Saudara Perempuan, dan segenap keluarga penulis yang senantiasa memberikan do'a, dukungan, dan motivasi tanpa batas.
11. Rahmad Romadona yang telah memberikan bantuan moril dan materil selama menempuh pendidikan di Pascasarjana Teknik Elektro.
12. Squad Bima Garage yang selalu senantiasa menjadi tempat berkeluh kesah selama menempuh pendidikan.
13. Mustofa "Pak Hoi", rekan kerja sekaligus mentor di tempat kerja yang telah membantu persiapan pengambilan data penelitian.
14. Bayu Lesmana Hasan, *Building Manager* PT Gedung Bank Exim yang telah memberikan dukungan moral serta keleluasaan waktu penulis dalam menempuh hingga menyelesaikan pendidikan.
15. Hanifah Nadia Elok Anita, wanita terhebat yang selalu ada di kala susah senang serta salah satu alasan penulis bisa mendapatkan gelar M.T.
16. Amirudin, teman kecil hingga perkuliahan pascasarjana yang telah membantu memberikan dukungan dan motivasi kehidupan.
17. Lelingku Teknik Elektro'22, terima kasih atas semangat dan kebersamaannya selama menempuh pendidikan di Pascasarjana Teknik Elektro.
18. Seluruh pihak yang telah membantu penulis menyelesaikan tesis.



Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan tesis ini. Penulis mengharapkan adanya kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak demi kemajuan bersama. Semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca.

Bandar Lampung, 28 Januari 2026

**Rizky Meidianto**

## DAFTAR ISI

Halaman

<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABTRACT .....</b>	<b>iv</b>
<b>SURAT PERNYATAAN .....</b>	<b>vii</b>
<b>RIWAYAT HIDUP .....</b>	<b>viii</b>
<b>PERSEMBAHAN.....</b>	<b>ix</b>
<b>MOTTO .....</b>	<b>x</b>
<b>SANWACANA .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xviii</b>
<b>I. PENDAHULUAN.....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.1 Latar Belakang dan Masalah .....	1
1.1 Tujuan.....	2
1.2 Manfaat Penelitian.....	3
1.3 Hipotesis.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>4</b>
2.1 Penelitian Terdahulu.....	4
2.2 Mesin Peniris Minyak .....	5
2.3 PID (Proporsional Integral Derivatif) .....	9
2.3.1 Definisi dan Prinsip Dasar Kendali PID .....	10
2.3.1 Fungsi dan Peran Setiap Komponen .....	10
2.3.4 Implementasi PID dalam Sistem Kontrol .....	11
2.3.5 <i>Tuning</i> Kendali PID .....	11
2.4 <i>Fuzzy Logic Controller</i> .....	14
2.4.1 Definisi dan Prinsip Dasar Kendali PID .....	14
2.4.2 Prinsip Kerja <i>Fuzzy Logic Controller</i> .....	14
2.4.3 Keunggulan <i>Fuzzy Logic Controller</i> .....	15
2.4.4 FLC dalam Sistem Non-Linear .....	16
2.5 MATLAB .....	17
<b>III. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>18</b>
3.1 Bahan dan Alat Penelitian .....	18

3.2	Prosedur Penelitian.....	19
3.2.1.	Perancangan Sistem .....	19
3.2.2.	Diagram Alir Penelitian .....	19
3.3	Parameter Pengamatan .....	22
3.4	Perancangan Alat.....	24
3.4.1	Desain Alat.....	24
3.4.2	Desain Sistem.....	27
<b>IV.</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>32</b>
4.1	Hasil Penelitian .....	32
4.1.1.	Kendali PID.....	32
4.1.2.	Kendali <i>Fuzzy</i> .....	39
4.1.3.	Kendali <i>Hybrid (Fuzzy PID)</i> .....	44
4.2	Analisis Hasil Penelitian .....	49
<b>V.</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>52</b>
5.1.	Kesimpulan.....	52
5.2.	Saran.....	52

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1. Gerak Melingkar Partikel.....	6
Gambar 2.2 Skematis Motor DC.....	8
Gambar 2.3. Blok Diagram Motor DC .....	9
Gambar 2.4 Kurva Reaksi Berbentuk S. ....	12
Gambar 2.5. Kurva Osilasi.....	13
Gambar 2.6 (a) Representasi Linear Naik, (b) Representasi Linear Turun. ....	15
Gambar 3.1 Diagram Alir Sistem Kendali Hybrid Mesin Peniris Minyak Bawang Goreng.....	20
Gambar 3.2. Gambar MF (a) Error (b) dError. ....	21
Gambar 3.3 Parameter Pengamatan Pada Respon Sistem Orde 2. (Susanto & Wibowo, 2017).....	22
Gambar 3.4 Rancangan Alat Peniris Bawang a) Tampak Atas b) Tampak Samping.....	25
Gambar 3.5 Blok Diagram Alat Peniris Minyak Bawang Goreng.....	27
Gambar 3.6 GPIO Raspberry Pi 4B .....	28
Gambar 3.7 Hasil Pembacaan Sensor Encoder .....	29
Gambar 3.8 Hasil Respons 3 Jenis Orde Fungsi Alih.....	30
Gambar 3.9 (a) Model Simulink MATLAB Mesin Peniris Minyak Bawang Goreng, (b) Hasil dari Sistem <i>Close Loop</i> Blok Diagram.....	31
Gambar 4.1 Rangkaian Simulink Mesin Peniris Minyak Bawang Goreng dengan Kendali PID.....	33
Gambar 4.2 <i>Pole</i> dan Zero Fungsi Alih Mesin Peniris Minyak Bawang Goreng.	34
Gambar 4.3 Kurva Reaksi Mesin Peniris Minyak Bawang Goreng .....	36



Gambar 4.4 Kurva Reaksi Mesin Peniris Minyak Bawang Goreng .....	37
Gambar 4.5 PID Tuner Matlab dengan $K_p=7.341$ , $K_i=19.86$ , $K_d=0.6784$ .....	38
Gambar 4.6 Perbandingan Respons Sistem Kendali dan Tanpa Kendali .....	38
Gambar 4.7 Rangkaian Simulink Mesin Peniris Minyak Bawang Goreng dengan Kendali <i>Fuzzy</i> .....	39
Gambar 4.8 Himpunan Keanggotaan a).Input <i>Error</i> , b).Input Delta <i>Error</i> , c).Output .....	40
Gambar 4.9 Pengaruh Kendali Fuzzy Pada Mesin Peniris Minyak Bawang Goreng <i>Set Point</i> = 1 .....	41
Gambar 4.10 Kendali FLC Pada Mesin Peniris Minyak Bawang Goreng dengan $SP = 1000$ .....	42
Gambar 4.11 Rangkaian Simulink Optimasi Kendali <i>Fuzzy</i> .....	42
Gambar 4.12 Hasil Kendali FLC Tambahan <i>Gain</i> dengan $SP = 1000$ a). <i>Error</i> b). Output Sistem .....	43
Gambar 4.13 Perbandingan RPM Terhadap Waktu Pada Beberapa <i>Set Point</i> Kendali FLC .....	44
Gambar 4.14 Rangkaian Simulink Mesin Peniris Minyak Bawang Goreng dengan Kendali <i>Hybrid</i> .....	45
Gambar 4.15. Kurva Nilai <i>Error</i> Terhadap Waktu Pada 3 Kendali, PID (Merah), <i>Fuzzy</i> (Hitam), <i>Hybrid</i> (Kuning) $SP=1$ .....	45
Gambar 4.16 Perbandingan Respon Sistem Kendali tanpa Optimasi dan dengan Optimasi .....	46
Gambar 4.17 Perbandingan Respon Sistem Kendali tanpa Optimasi dan dengan Optimasi $SP=1000$ .....	47
Gambar 4.18 <i>Error</i> yang Terbaca di Rangkaian .....	47
Gambar 4.19 Kendali <i>Hybrid</i> dengan <i>Gain</i> Pada Mesin Peniris Minyak Bawang Goreng $SP=15$ .....	48
Gambar 4.20 Kendali <i>Hybrid</i> dengan <i>Gain</i> Goreng $SP=1000$ .....	48
Gambar 4.21 Perbandingan Kurva dari 3 Kendali, PID (Biru), FLC (Merah), <i>Hybrid</i> (Kuning) $SP 1$ .....	50

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 2.1 Tuning PID Kurva Reaksi.....	12
Tabel 2.2 Tuning PID Metode Osilasi .....	14
Tabel 3.1 Rule Base Fuzzy Logic .....	22
Tabel 3.2 Parameter Pengujian .....	23
Tabel 3.3 Spesifikasi Motor .....	26
Tabel 3.4 Pin I/O Sistem Alat Peniris Minyak Bawang Goreng.....	28
Tabel 4.1 Hourwitz.....	34
Tabel 4.1 Perhitungan Nilai Kp, Ki, Kd.....	36
Tabel 4.2 Perbandingan Hasil Simulasi Setiap Kendali dengan 3 Jenis <i>Setpoint</i> Rangkaian Awal (Tanpa <i>Gain</i> ) .....	49
Tabel 4.3 Perbandingan Hasil Simulasi Setiap Kendali dengan 3 Jenis <i>Setpoint</i> Rangkaian Optimasi (Tambahan <i>Gain</i> ).....	49
Tabel 4.4 Parameter yang Terukur pada Simulink untuk Alat Peniris Minyak Bawang Goreng SP 1000 .....	50

## **I. PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang dan Masalah**

Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2023 menyatakan bahwa bawang merah merupakan bahan makanan penting peringkat ke-4 paling banyak dikonsumsi di Indonesia dengan rata-rata 797,32 ribu ton (BPS, Rata-Rata Konsumsi per Kapita Seminggu Beberapa Macam Bahan Makanan Penting, 2007-2023, 2024). Selain itu, data BPS juga menunjukkan Indonesia masih melakukan impor bawang merah dari beberapa negara dengan rata-rata yakni 1048-ton dengan 51% merupakan bawang merah olahan (BPS, Statistik Hortikultura, 2023). Melihat besarnya pasokan impor bawang merah menunjukkan bahwa kebutuhan masyarakat Indonesia terhadapnya cukup tinggi. Hal ini juga dapat menyebabkan harga jual bawang merah tidak maksimal terutama ketika panen raya tiba (*supply* melonjak) dan musim hujan (hasil bawang kurang baik dan adanya gagal panen) (Probolinggo, 2023). Masalah tersebut dapat diatasi oleh petani dengan melakukan hilirisasi dalam berbagai aneka produk olahan, sehingga bawang merah memiliki nilai ekonomi yang memuaskan (Bahtiar, Arifin, Muhaimin, & Arifin, 2022).

Berdasarkan hasil survei yang dilakukan oleh Mumtazah, satu salah produk olahan yang paling diminati di Indonesia adalah bawang goreng (Mumtazah & Kusuma, 2022). Rusdi Nur menyatakan bahwa salah satu faktor utama yang memengaruhi kualitas bawang goreng adalah kadar minyak yang melekat pada bawang goreng pasca produksi (Nur, 2010). Dengan demikian, proses penirisan diperlukan untuk mengurangi kadar minyak yang akan menyebabkan tingkat kerenyahan, menimbulkan aroma yang tidak enak serta mempercepat pembusukan pada olahan tersebut (Prasidya, Sitepu, & Andyardja, 2019). Penirisan minyak menggunakan

mesin dapat lebih efektif menghilangkan kadar minyak hingga tiga kali lipat lebih banyak dibandingkan dengan metode manual dalam kurun waktu 30 detik (Harjuma, Arisandi, & Fitriana, 2023). Hal ini juga dibuktikan dengan hasil uji yang dilakukan oleh Elfiana, di mana dalam waktu 2–3 menit kadar minyak yang berkurang sebesar 87,5% (Elfiana, et al., 2023).

Mesin peniris minyak yang beredar di pasaran merupakan mesin peniris minyak yang tidak terkhusus hanya untuk bawang goreng saja. Hal ini dapat menjadi masalah di mana bawang goreng memiliki ukuran yang kecil, menyebabkan bawang goreng tersebut mudah hancur ketika putaran motor terlalu tinggi. Dengan demikian, diperlukan kendali pada kecepatan motor sesuai dengan kondisi kadar minyak yang terisi pada tabung *spinner* tersebut. Penelitian Indrawansyah dengan judul “Mesin Peniris Minyak (*Spinner*) Bawang Goreng Menggunakan Kontrol PID” dapat menjadi salah satu acuan dalam kendali motor pada mesin *spinner* bawang goreng ini (Muhammad Bagas Indrawansyah, 2023).

Berdasarkan pengujian yang dilakukan oleh Indrawansyah, penambahan kendali PID pada kecepatan motor dibutuhkan waktu rata-rata 22 detik untuk mencapai nilai *steady state*-nya. Selain itu, terdapat osilasi yang tidak bisa diredam. Adamirta menyatakan bahwa implementasi sistem *Hybrid* yaitu *Fuzzy PID* dapat mempersingkat waktu *steady state* (Adam Tirta Kusuma, 2017). Oleh karena itu, sebagai tahap awal sebelum dilakukan implementasi dalam keadaan sesungguhnya pada mesin peniris minyak bawang goreng, maka dibuatlah penelitian ini untuk melihat pengaruh dari kendali *Hybrid* menggunakan simulasi Simulink Matlab.

## 1.2 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh kendali *Hybrid* dengan mengukur nilai *delay time*, *rise time*, *settling time*, *overshoot*, dan *peak time* pada respon kendali pada simulasi
2. Mengetahui cara kerja dari kendali *Hybrid (Fuzzy PID)*



3. Melihat pengaruh perubahan nilai parameter  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  dan komponen *gain* pada kendali *Hybrid*

### 1.3 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan akan memberikan informasi ilmiah tentang kendali *Hybrid* pada mesin peniris minyak bawang goreng dan dapat melihat perbedaan keunggulan kendali *Hybrid* melalui simulasi.

### 1.4 Hipotesis

Adapun hipotesis penelitian ini adalah kendali *Hybrid* dapat lebih unggul dengan parameter yang terukur yakni *delay time*, *rise time*, *settling time*, *overshoot*, dan *peak time* serta dapat memaksimalkan kecepatan motor dibandingkan dengan kendali PID dan *Fuzzy*.

### 1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Mengambil data fungsi alih dari alat yang dibuat dengan beban 50 gram bawang goreng
2. Bawang goreng yang dipakai merupakan bahan produksi industri rumahan “Jajanan Adam”
3. Melakukan pengujian dan optimasi menggunakan *Software* MATLAB

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian tentang mesin peniris bawang goreng telah berkembang seiring dengan meningkatnya permintaan akan efisiensi dalam proses produksi bawang goreng, terutama di industri kecil dan menengah. Banyak penelitian yang menekankan pentingnya inovasi dalam bidang teknologi pertanian, termasuk pengembangan mesin-mesin untuk membantu proses produksi makanan. Mesin peniris minyak bawang goreng berfungsi untuk mengurangi kadar minyak yang terserap selama proses penggorengan, sehingga menghasilkan bawang goreng yang lebih renyah dan tahan lama. Adanya mesin ini diharapkan produktivitas dapat meningkat dan kualitas produk tetap terjaga.

Salah satu penelitian terdahulu yang relevan yaitu penelitian oleh Husasoit dengan mesin peniris yang dapat menghasilkan produksi secara terus menerus hingga 300kg/jam dengan spesifikasi tinggi mesin 1255 mm, panjang mesin 600 mm, lebar mesin 600 mm, dan massa mesin  $\pm 60$  kg. Hasil perancangan tabung peniris minyak menunjukkan penggunaan bahan *stainless steel* 304 dengan volume 124 liter (Hutasoit, Hermanto, & Sinurat, 2024).

Penelitian yang dilakukan oleh Sumarji berfokus pada penggunaan bahan *stainless steel* (SS) 304 dalam beberapa industri salah satunya makanan. Metode yang digunakan pada penelitian ini menggunakan uji korosi *u band test* secara siklik dengan hasil material ini memiliki ketahanan korosi yang lebih baik dan sifatnya yang mudah dibentuk (Sumarji, 2011).

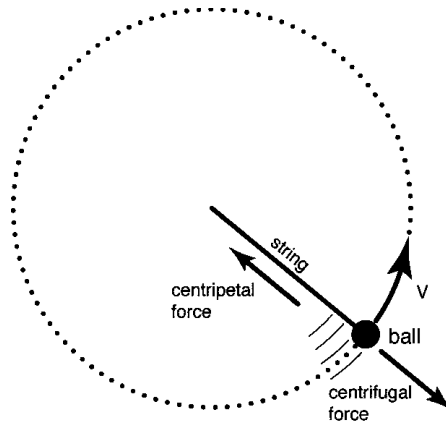
Penelitian Mustofa berfokus pada pengembangan mesin peniris otomatis berbasis IoT (*Internet of Things*). Penggunaan teknologi IoT pada mesin ini dapat dipantau dan dikendalikan dari jarak jauh, sehingga proses produksi dapat lebih efisien dan terkontrol (Hakim, Poniman, & Akbar, 2023).

Pada penelitian lain yang dilakukan oleh Linda, perbandingan pengujian pada 3 jenis bahan olahan memiliki waktu penirisan minyak yang berbeda. Pada bahan olahan abon dibutuhkan waktu 1 menit dengan 75% minyak ditiriskan, sedangkan bawang goreng membutuhkan waktu 2 menit serta 67% minyak dapat ditiriskan (Wijayanti, Kartadinata, Fretes, Indriati, & Budima, 2021).

Terakhir, penelitian yang dilakukan oleh Indrawasnyah yang berfokus pada penggunaan kendali PID untuk mengatur kecepatan mesin peniris minyak bawang goreng. Nilai setiap konstanta berturut-turut adalah  $p = 0,1$ ,  $i=0,2$ , dan  $d=0,05$  dengan metode penentuan nilai tersebut adalah *trial error* (Muhammad Bagas Indrawansyah, 2023).

## 2.2 Mesin Peniris Minyak

Mesin peniris minyak merupakan sebuah alat yang berfungsi untuk mengurangi/menghilangkan kadar minyak dari sebuah olahan makan yang digoreng. (Permana & Riyadi, 2021). Mesin ini memanfaatkan gaya sentrifugal, yaitu gaya yang timbul akibat putaran motor yang memutar drum sehingga bahan makanan yang ada di dalam drum tersebut terlempar dan tertahan oleh sisi dinding drum. Sisi dinding drum ini sudah dibuat berlubang sehingga minyak akan terlempar keluar menuju drum penampung minyak. Adapun gaya sentrifugal yang terbentuk dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Gerak Melingkar Partikel.

$$Fs = m \cdot a$$

Di mana:

$$a = \frac{v^2}{R}; v = \omega \cdot R; a = \omega^2 \cdot R; \omega = 2\pi \frac{n}{60}$$

Keterangan:

$Fs$  = Gaya sentrifugal (N)

$m$  = Massa partikel (bola) kg

$a$  = Percepatan sentrifugal ( $m/s^2$ )

$v$  = Kecepatan linear bola ( $m/s$ )

$R$  = Jari – jari lingkaran bola (m)

$\omega$  = Kecepatan sudut putaran ( $rad/s$ )

$n$  = Putaran bola ( $rpm$ )

sehingga Persamaan 2.1 menjadi:

$$Fs = m \cdot \omega^2 \cdot R$$

$$Fs = m \cdot \left(2\pi \cdot \frac{n}{60}\right)^2 \cdot R$$



Persamaan 2.4 adalah persamaan yang menggambarkan besarnya gaya sentrifugal (gaya penirisan) yang terjadi pada mesin *spinner* saat penirisan minyak goreng dilakukan. Besarnya gaya sentrifugal ini merupakan fungsi massa keripik yang ditiriskan dan putaran drum peniris minyak. Makin besar massa keripik dan makin tinggi putaran drum, maka makin besar pula gaya sentrifugal (gaya penirisan) yang terjadi, sehingga produk keripik akan makin kering (Mufti, Santoso, & Maulana, 2020).

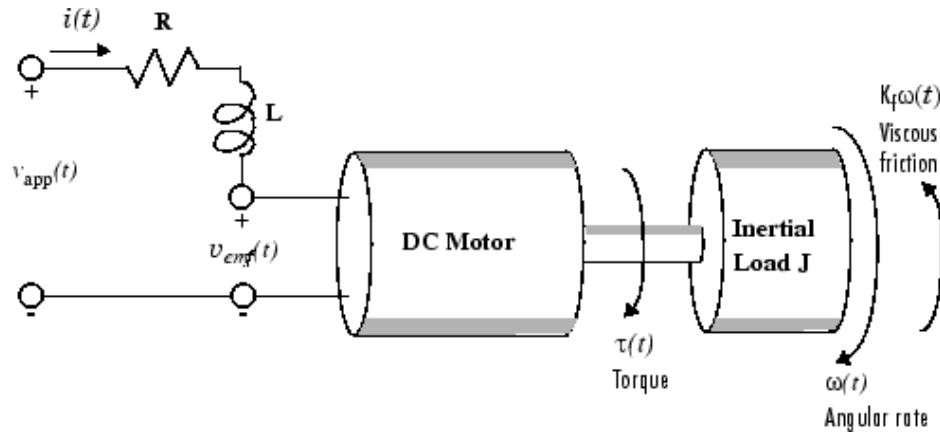
Motor *Direct Current* (DC) merupakan salah satu aktuator yang sering digunakan dalam dunia industri. Kecanggihan manufaktur yang sedang berkembang menghasilkan motor DC yang memiliki momen inersia sangat rendah sehingga mencapai rasio torsi terhadap inersia yang sangat tinggi (Nagrath & Gopal, 2010). Dasarnya Motor DC adalah transduser torsi yang mengonversikan energi listrik menjadi energi mekanik. Hubungan torsi motor ( $T$ ) dan arus angker ( $i$ ) dan konstanta torsi ( $K$ ) dimodelkan pada Persamaan 2.5 (Gohiya, S.A, Sadistap, & Botre, 2012):

$$T = Ki$$

Tegangan ( $V_a$ ) yang dihasilkan dari perputaran motor berbanding lurus dengan kecepatan sudut yang dirumuskan sebagai berikut:

$$V_a = K\omega_m = K \frac{d\theta}{dt}$$

Alih fungsi motor DC dibutuhkan untuk melakukan simulasi sehingga akan didapatkan hipotesis sebagai acuan dalam pembuatan alat. Menggunakan skematis dapat membuat alih fungsi dari motor DC.



Gambar 2.2 Skematis Motor DC.

Melalui Gambar 2.2, dapat ditulis Persamaan berikut berdasarkan Hukum Newton serta Hukum Kirchhoff

$$J \frac{d^2 \theta}{dt^2} + b \frac{d\theta}{dt} = K i$$

$$L \frac{di}{dt} + R \cdot i = V - K \frac{d\theta}{dt}$$

Transformasi Laplace

$$Js^2 \theta(s) + bs \theta(s) = Ki$$

$$LsI(s) + R \cdot I(s) = V(s) - Ks\theta(s) \quad 1)$$

maka

$$I(s) = \frac{V(s) - Ks\theta(s)}{R + Ls} \quad 2)$$

$$Js^2 \theta(s) + bs \theta(s) = K \frac{V(s) - Ks\theta(s)}{R + Ls} \quad 3)$$

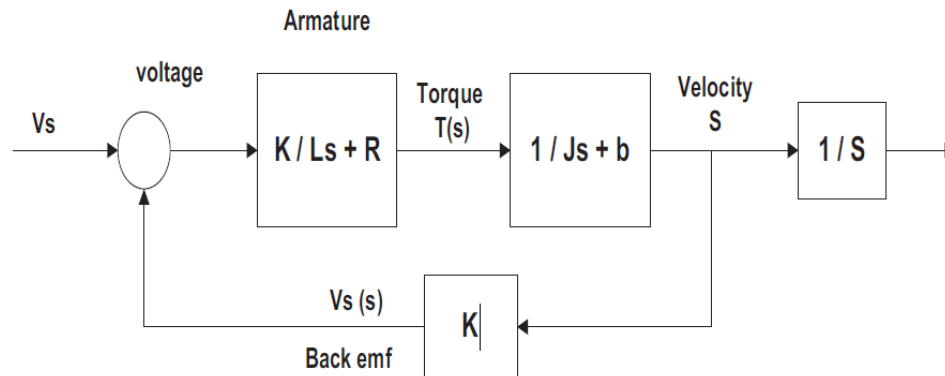
Dengan demikian, fungsi dari Motor DC dengan input tegangan ( $V(s)$ ) dan output besaran sudut ( $\theta$ ) sebagai berikut:

$$\frac{\theta(s)}{V(s)} = \frac{K}{\{s(R + Ls)(Js + b) + K^2\}} \quad 4)$$

Perolehan fungsi alih dari input tegangan ( $V(s)$ ) dan *output* kecepatan sudut ( $\omega$ ) dengan menurunkan Persamaan 2.13.

$$\frac{\omega(s)}{V(s)} = \frac{K}{\{(R + Ls)(Js + b) + K^2\}} \quad b)$$

Berdasarkan Persamaan 2.14, blok diagram motor DC yang dihasilkan dapat digambarkan sebagaimana pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Blok Diagram Motor DC

#### Keterangan

$\omega(s)$  : Kecepatan putaran (rad/s)

$V(s)$  : Tegangan input (V)

$K$  : Konstanta torsi motor (N.m/A)

$R$  : Resistansi jangkar ( $\Omega$ )

$Ls$  : Induktansi jangkar (H)

$J$  : Torsi inersia motor ( $kg.m^2$ )

$B$  : Konstanta gesekan motor (N.m.s/rad)

### 2.3 PID (Proporsional Integral Derivatif)

Pada penelitian PID merupakan salah satu kendali yang digunakan untuk memperbaiki respon sistem. Berikut ini merupakan definisi, fungsi, implementasi serta cara untuk mengoptimalkan kendali PID pada sebuah sistem.

### 2.3.1 Definisi dan Prinsip Dasar Kendali PID

Kendali PID (Proporsional Integral Derivatif) adalah salah satu metode pengendalian yang paling umum digunakan dalam sistem kontrol. Algoritma PID menggunakan tiga komponen utama, yaitu proporsional (P), integral (I), dan derivatif (D), untuk mengatur keluaran sistem sesuai dengan nilai referensi atau *setpoint* yang diinginkan. Ketiga komponen ini bekerja sama untuk mengurangi kesalahan (*error*) antara keluaran aktual sistem dan nilai yang diharapkan.

Komponen proporsional mengatur keluaran pengendali berdasarkan besarnya kesalahan saat ini. Semakin besar kesalahan, semakin besar keluaran dari pengendali P. Integral menghitung akumulasi kesalahan dari waktu ke waktu, membantu menghilangkan kesalahan jangka panjang dengan menyesuaikan keluaran berdasarkan akumulasi kesalahan tersebut. Derivatif, di sisi lain, merespons perubahan kesalahan secara cepat, membantu sistem untuk menghindari *overshoot* dengan memberikan respons yang cepat terhadap perubahan mendadak.

### 2.3.1 Fungsi dan Peran Setiap Komponen

Setiap komponen dalam PID memiliki peran yang berbeda dalam meningkatkan performa sistem kendali. Pengendali P memberikan koreksi yang proporsional terhadap kesalahan, tetapi tidak dapat menghilangkan kesalahan sepenuhnya. Komponen I digunakan untuk menghilangkan kesalahan sisa (*steady-state error*) yang mungkin ada setelah penerapan kontrol proporsional. Sementara itu, komponen D memberikan respons prediksi terhadap perubahan kesalahan yang membantu mengurangi *overshoot* dan meningkatkan kestabilan sistem.

Adapun model matematis dari kendali PID seperti pada Persamaan 2.15

$$c = K_p E(s) + \frac{K_i}{s} E(s) + K_d s E(s)$$

Keterangan:

$K_p$  = Proporsional *gain*

$K_i = \text{Integral gain}, (K_i = \frac{K_p}{T_i})$

$T_i = \text{Waktu integral}$

$K_d = \text{Derivative gain}, (K_d = K_p T_d)$

$T_d = \text{Waktu derivative}$

Ogata menyatakan bahwa kombinasi ketiga komponen ini membantu menjaga keseimbangan antara respons cepat, akurasi jangka panjang, dan kestabilan sistem. Jika pengendali hanya menggunakan komponen P, kesalahan *steady-state* akan tetap ada, sementara penggunaan I dan D membantu untuk meminimalkan kesalahan tersebut secara lebih efisien (Ogata, 2010).

#### 2.3.4 Implementasi PID dalam Sistem Kontrol

Pengendali PID diaplikasikan pada berbagai jenis sistem, seperti sistem pemanas, pengaturan kecepatan motor, robotika, dan sistem kontrol proses industri. Di dalam setiap aplikasi, nilai *gain* untuk masing-masing komponen ( $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$ ) harus ditentukan melalui proses *tuning* agar sistem mencapai performa optimal. Metode *tuning* yang populer antara lain metode Ziegler-Nichols, di mana nilai *gain* diatur berdasarkan respons sistem terhadap osilasi atau step respons (Bachri, 2004).

Sebagai contoh, menurut studi oleh Astrom dan Murray, *tuning* PID pada sistem kontrol suhu dapat meningkatkan kestabilan dan respons waktu dari sistem. Dalam sistem tersebut, *tuning* yang tepat akan membantu menjaga suhu tetap stabil, meskipun ada gangguan dari lingkungan sekitar (Astrom & Murray, 2009).

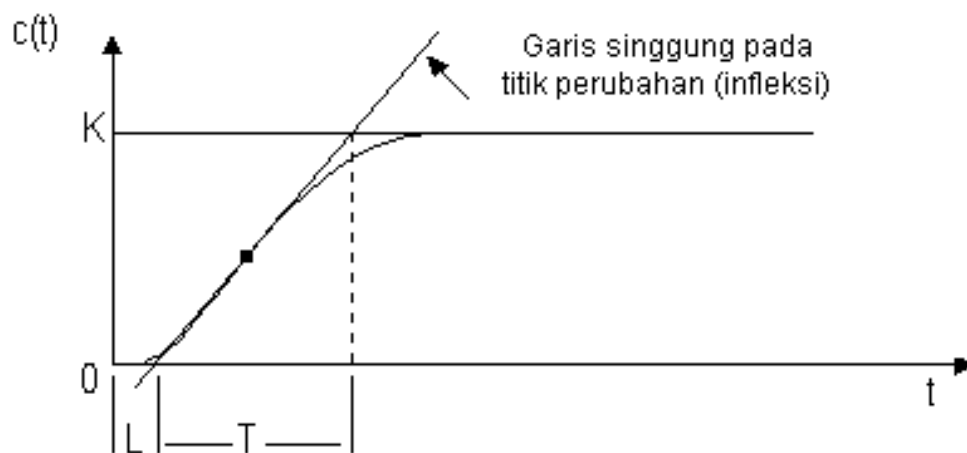
#### 2.3.5 Tuning Kendali PID

*Tuning* merupakan proses penting dalam implementasi PID. Metode *tuning* yang baik akan menentukan seberapa baik pengendali PID dapat merespons gangguan dan perubahan kondisi sistem. Ziegler dan Nichols (Ziegler & Nichols, 1942)

menyatakan bahwa berdasarkan kegunaannya, metode Zigler Nichole dibagi menjadi dua yakni metode kurva reaksi dan osilasi (Wijaya, Setiawan, & Wahyudi, 2011).

### 2.3.5.1 Kurva Reaksi

Metode kurva reaksi digunakan untuk rangkaian kendali terbuka (*open loop*) dengan elemen penyusun yakni waktu mati (*dead time*)  $L$  serta waktu tunda  $T$ . Pada Gambar 2.4 diperlihatkan dari kedua elemen tersebut.



Gambar 2.4 Kurva Reaksi Berbentuk S.

Keterangan:

$K$  : Rasio perubahan output terhadap perubahan input

$L$  : Waktu Tunda

$T$  : Waktu Konstan

Data yang didapatkan kemudian akan dimasukkan ke dalam tabel Zigler Nichole 1 sebagaimana disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 *Tuning PID* Kurva Reaksi

Type Controller	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$T/L$	-	0
PI	$0,9T/L$	$L/0.3$	0
PID	$1,2T/L$	$2L$	$0,5L$

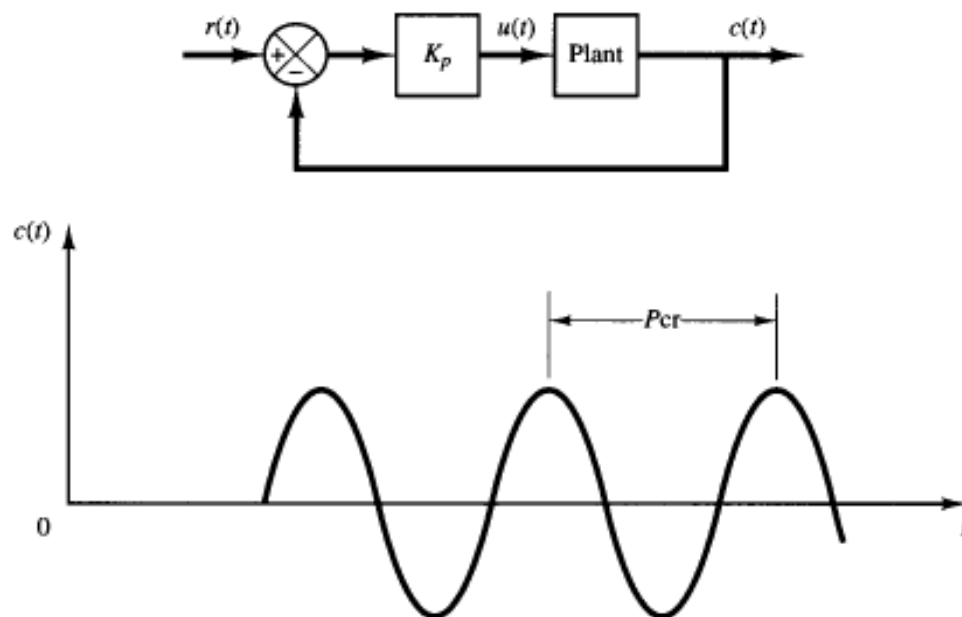
Dengan nilai  $T_i$  dan  $T_d$  didapatkan maka nilai  $K_i$  dan  $K_d$  dapat dicari dengan menggunakan Persamaan 2.16 dan 2.17.

$$K_i = K_p/T_i \quad (2.16)$$

$$K_d = K_p.T_i \quad (2.17)$$

### 2.3.5.2 Metode Osilasi

Metode osilasi digunakan untuk rangkaian kendali tertutup (*close loop*). Untuk mendapatkan parameter yang dibutuhkan untuk *tuning* yakni *ultimate gain*  $K_u$  dan *ultimate period*  $P_u$ , nilai ( $T_i = \infty$ ;  $T_d = 0$ ) dan nilai  $K_p$  dinaikkan bertahap hingga reaksi sistem berosilasi tetap.



Gambar 2.5.Kurva Osilasi.

Dengan kedua data di atas Ziegler Nichole merumuskan *Tuning* PID sebagaimana tertera dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2 *Tuning PID Metode Osilasi*

<b>Type Controller</b>	<b>Kp</b>	<b>Ti</b>	<b>Td</b>
P	Ku/2	-	-
PI	Ku/2.2	Pu/1.2	-
PID	Ku/1.7	Pu/2	Pu/8

## 2.4 *Fuzzy Logic Controller*

### 2.4.1 Definisi dan Prinsip Dasar Kendali PID

*Fuzzy Logic Controller* (FLC) adalah sistem kendali yang menggunakan logika *Fuzzy* sebagai dasar operasionalnya. Logika *Fuzzy*, pertama kali diperkenalkan oleh Lotfi Zadeh pada tahun 1965, dirancang untuk menangani ketidakpastian dan ketidakjelasan yang sering terjadi dalam sistem kontrol konvensional. FLC berbeda dari sistem kendali klasik seperti PID yang didasarkan pada model matematis yang presisi. FLC memungkinkan penggunaan aturan linguistik yang lebih fleksibel, menyerupai cara manusia mengambil keputusan berdasarkan informasi yang ambigu atau samar (Zadeh, 1965).

### 2.4.2 Prinsip Kerja *Fuzzy Logic Controller*

FLC bekerja dengan menerapkan konsep dasar logika *Fuzzy*, yaitu *fuzzification*, inferensi, dan *defuzzification*. Pada tahap *fuzzification*, nilai input dikonversi menjadi variabel *Fuzzy* menggunakan fungsi keanggotaan. Variabel *Fuzzy* ini kemudian diproses menggunakan aturan-aturan yang ditentukan sebelumnya (sering disebut sebagai *rule base*) pada tahap inferensi. Setelah itu, hasil *Fuzzy* akan dikonversi kembali menjadi nilai *crisp* atau *deterministic* pada tahap *defuzzification*. (Ross, 2004).

Tahapan utama ini memungkinkan FLC untuk menangani sistem yang kompleks dan non-linear tanpa memerlukan model matematis yang presisi. Sebagai contoh, FLC dapat digunakan untuk mengontrol suhu, kecepatan, atau proses industri lainnya yang sulit dimodelkan dengan metode konvensional.

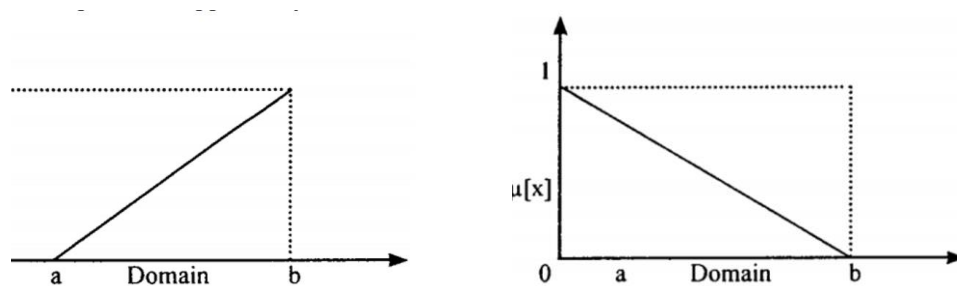


### 2.4.3 Keunggulan *Fuzzy Logic Controller*

FLC memiliki beberapa keunggulan dibandingkan metode kontrol tradisional. Pertama, FLC sangat cocok untuk sistem yang tidak memiliki model matematis yang jelas atau sulit untuk dimodelkan secara presisi. Keunggulan utama dari FLC adalah kemampuannya untuk menangani informasi yang tidak pasti dan kompleks (Kosko, 1993).

Kedua, FLC menawarkan fleksibilitas karena dapat disesuaikan dengan berbagai kondisi operasi tanpa perlu perhitungan rumit atau perubahan besar pada algoritma. FLC dapat diterapkan dalam sistem kontrol yang beragam, seperti kontrol suhu, robotika, dan aplikasi otomotif (Mamdani & Assilian, 1975).

Fungsi keanggotaan merupakan sebuah kurva yang mempresentasikan masukan data ke derajat keanggotaan yang memiliki rentang nilai antara 0 dan 1. Dengan fungsi keanggotaan yang telah dirancang, maka nilai-nilai masukan tersebut akan menjadi informasi yang berguna sebagai proses selanjutnya. Banyaknya jumlah suatu fungsi *membership* dalam input *Fuzzy* menentukan banyaknya basis aturan yang akan dibuat. Representasi linear naik dan turun dari fungsi keanggotaan disajikan pada Gambar 2.6. (Yan & Ryan, 1994)



Gambar 2.6 (a) Representasi Linear Naik, (b) Representasi Linear Turun.

*Fuzzification* merupakan suatu tahapan untuk merubah nilai input yang berupa variabel *crisp* menjadi bentuk *Fuzzy* dengan menentukan nilai derajat keanggotaan terlebih dahulu. Kemudian, input dapat dikelompokkan pada himpunan *Fuzzy* yang

tepat agar masukan *controller Fuzzy* bisa dipetakan agar sesuai dengan himpunan *Fuzzy*.

*Fuzzy rule* adalah bagian yang menggambarkan dinamika suatu sistem terhadap masukan yang karakteristik oleh sekumpulan variabel-variabel linguistik dan berbasis pengetahuan seorang operator ahli. Pernyataan tersebut umumnya dinyatakan oleh suatu pernyataan bersyarat.

Metode inferensi merupakan proses untuk mendapatkan keluaran dari suatu kondisi masukan dengan mengikuti aturan-aturan yang telah ditetapkan. Keputusan yang didapatkan pada proses ini masih dalam bentuk *Fuzzy* yaitu derajat keanggotaan keluaran. Inferensi menggunakan metode *Min–Max* aturan operasi minimum Mamdani digunakan untuk implikasi *Fuzzy*.

*Defuzzification* merupakan proses konversi dari harga-harga *Fuzzy* menjadi harga *crisp* (Anggun, Marisa, & Wijaya, 2016). Suatu himpunan *Fuzzy* didapat dari komposisi aturan-aturan *Fuzzy*, sedangkan keluaran yang didapatkan merupakan suatu bilangan dalam domain himpunan *Fuzzy*, sehingga jika diberikan himpunan *Fuzzy* dengan *range* tertentu, maka harus dapat diambil suatu nilai *crisp* tertentu sebagai keluaran. (Dwisaputra, Yumono, & Yuliana, 2021)

#### **2.4.4 FLC dalam Sistem Non-Linear**

Dalam sistem yang sangat non-linear, seperti dalam kontrol penerbangan atau kendaraan otonom, FLC dapat digabungkan dengan metode lain untuk meningkatkan keandalan dan stabilitas. Misalnya, FLC sering dikombinasikan dengan kontrol PID untuk meningkatkan respons dinamis sistem. Pada sistem *Hybrid* ini menggabungkan keuntungan dari kedua pendekatan, dengan FLC mengatasi ketidakpastian dan PID mengelola respons linear.

## 2.5 MATLAB

MATLAB (*Matrix Laboratory*) merupakan aplikasi komputer yang menggunakan dasar matrix dalam pemrosesan. MATLAB dapat digunakan untuk matematika dan komputasi, pengembangan dan algoritma, pemodelan, simulasi, dan pembuatan *prototype* (Atina, 2019). Salah satu fungsi MATLAB yang digunakan pada penelitian ini merupakan *system identification* dan Simulink. *System identification* salah satu *toolbox* untuk pemodelan sistem dinamis, analisis deret waktu, dan fungsi alih dari suatu sistem. Melalui pemanfaatan hubungan variabel terukur untuk membuat fungsi alih, model proses dan model ruang keadaan baik dalam waktu kontinu maupun diskrit menggunakan domain waktu atau frekuensi.

Simulink merupakan *toolbox* pada MATLAB untuk memodelkan sebuah sistem dengan bentuk blok diagram dari tingkat sistem, simulasi, pembuatan kode otomatis, serta pengujian dan verifikasi berkelanjutan untuk sistem tertanam. Simulink menyediakan editor grafis, pustaka blok yang dapat disesuaikan, dan pemecah masalah untuk pemodelan dan simulasi sistem dinamis. Integrasi Simulink dengan MATLAB memungkinkan untuk memasukkan algoritma MATLAB ke dalam model dan mengekspor hasil simulasi ke MATLAB untuk analisis lebih lanjut (MATLAB, n.d.).

### III. METODE PENELITIAN

Penelitian pada mesin peniris minyak goreng ini bertujuan untuk melihat pengaruh sistem kendali *Hybrid Fuzzy* PID serta melakukan perubahan nilai  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$ , dan nilai *gain* untuk dianalisa hasil respon sistem menggunakan *software* MATLAB. Parameter yang dapat terukur untuk mengetahui keunggulan kendali *Hybrid* antara lain *delay time*, *rise time*, *settling time*, *overshoot*, dan *peak time*. Adapun penelitian ini dimulai dengan mengidentifikasi bahan dan alat penelitian, menyusun perancangan sistem, merumuskan parameter pengamatan, kemudian menganalisa data yang didapat dari fenomena penambahan kendali pada sistem mesin peniris minyak bawang goreng.

#### 3.1 Bahan dan Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan antara lain Motor PG28 sebagai aktuator serta sensor kecepatan yang sudah terpasang di motor tersebut untuk mengukur kecepatan putaran motor. Kemudian terdapat *Driver* motor BTS 7960 sebagai pengatur kecepatan motor dengan Raspberry Pi 4B sebagai otaknya sistem untuk memudahkan dalam pengambilan data. Selain itu, juga berbagai peralatan lainnya, termasuk multimeter dan potentiometer. Raspberry Pi diprogram menggunakan *software* python 3 yang sudah ter-*install* di laptop dengan bantuan VNC untuk menghubungkan laptop dan Raspberry Pi. Simulasi fungsi alih dari mesin peniris minyak bawang goreng dilakukan melalui *software* MATLAB. Laptop yang digunakan yakni Acer E24 RAM 12 GB dan HDD 1 TB, yang tidak hanya untuk melakukan pemrograman, tetapi juga berfungsi untuk membuat laporan akhir dari penelitian ini.

### 3.2 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang dilakukan terdiri atas dua langkah, yaitu perancangan sistem dan diagram alir penelitian. Adapun deskripsi dari masing-masing langkah prosedur penelitian yaitu sebagai berikut:

#### 3.2.1. Perancangan Sistem

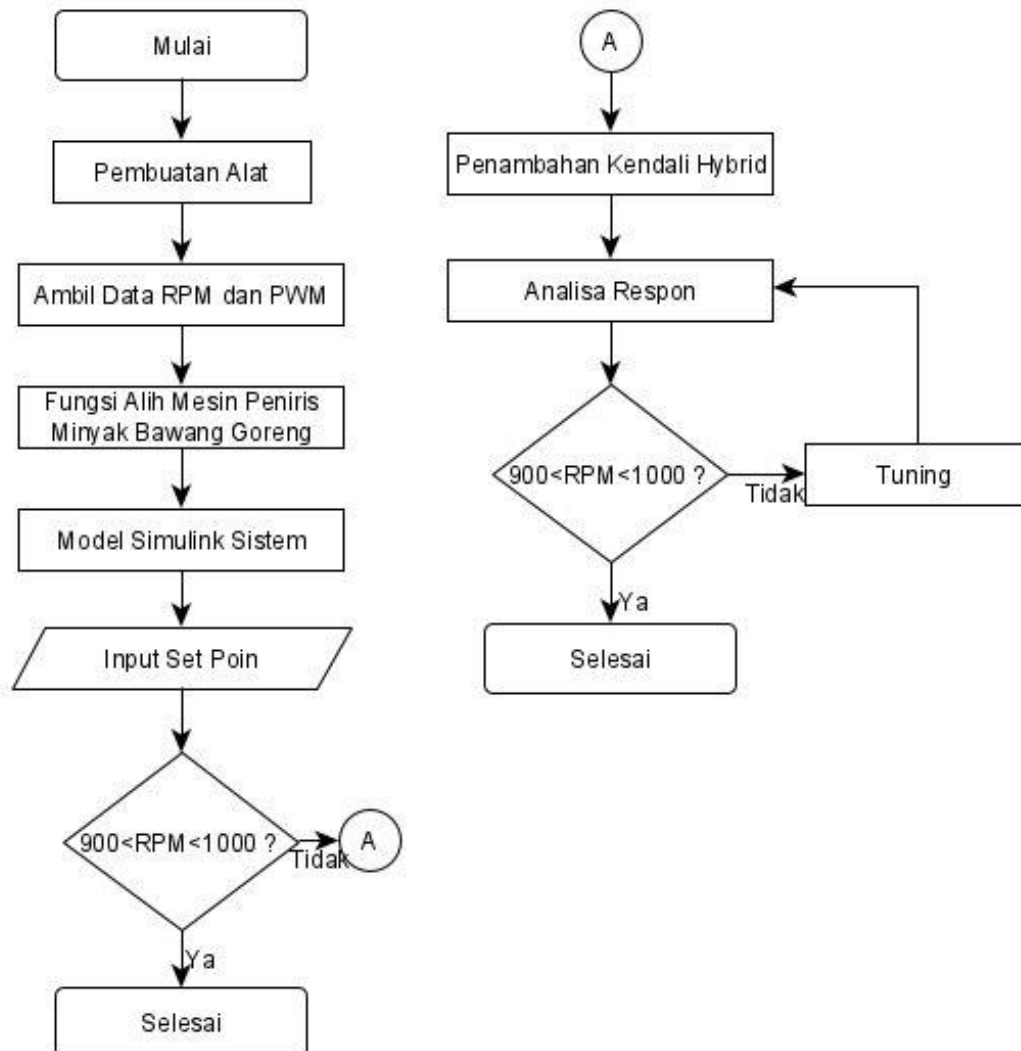
Perancangan sistem dimulai dengan studi pustaka yaitu mencari literatur jurnal dan buku yang berhubungan dengan kendali mesin peniris minyak bawang goreng. Selanjutnya, membuat mesin peniris minyak bawang goreng, menguji coba alat apakah sudah berfungsi dengan baik atau belum, dan menyiapkan bawang yang telah digoreng sebanyak 50 gram.

Objek yang akan diteliti yakni analisis hasil kendali metode *Hybrid* atau *Fuzzy* PID untuk kendali kecepatan motor alat peniris minyak bawang goreng. Hasil dari setiap pengujian akan digunakan untuk optimasi *tuning Fuzzy* PID pada uji coba selanjutnya hingga didapatkan hasil yang sesuai.

#### 3.2.2. Diagram Alir Penelitian

Untuk mendapatkan hasil yang diteliti maka diperlukan diagram alir sehingga penelitian dapat dilakukan secara sistematis. Hal pertama yang dilakukan yaitu melakukan pembuatan alat yang kemudian data dari alat tersebut akan diolah di MATLAB sehingga didapatkan fungsi alih mesin peniris minyak bawang goreng. Selanjutnya, fungsi alih sistem yang telah dibuat dimodelkan dalam rangkaian Simulink untuk dilakukan simulasi awal untuk melihat respon dari sistem tersebut. Ketika sistem tidak menghasilkan output dalam hal ini kecepatan putaran motor (RPM) sesuai dengan set poin, maka akan ditambahkan kendali *Hybrid*. Kendali *Hybrid* memerlukan pengaturan 2 kendali, yakni PID dan *Fuzzy*. Ketika pengaturan dari kedua kendali belum sesuai dengan kriteria, maka akan dilakukan *tuning* baik pada PID maupun kendali FLC. Setelah respon yang dihasilkan sudah sesuai dengan

kriteria, maka penelitian akan selesai. Adapun diagram alir penelitian dari mesin peniris minyak bawang goreng disajikan dalam Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Sistem Kendali *Hybrid* Mesin Peniris Minyak Bawang Goreng.

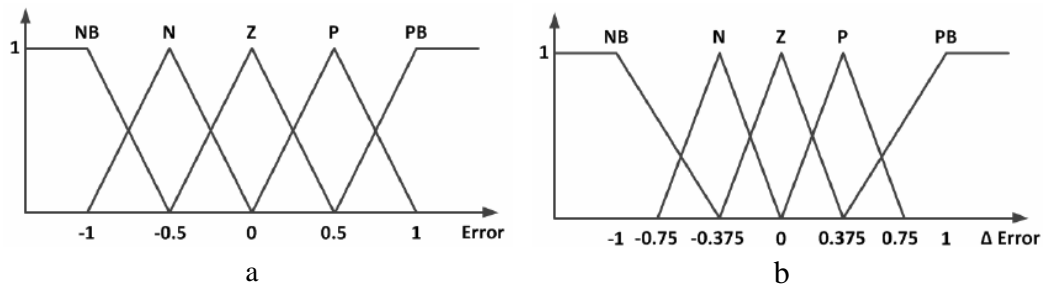
Pada pengaturan awal untuk kendali *fuzzy* diperlukan penentuan *membership function* dan aturan *Fuzzy*, di mana perancangan logika *Fuzzy* terdiri dari *fuzzification*, *rule base* logika *Fuzzy*, dan *defuzzification*. Pada proses *fuzzification* ini menggunakan metode *Min-Max* dengan input pembacaan sensor kecepatan kemudian diolah menggunakan Persamaan 3.1.

$$Error(t) = SP - PV(t) \quad (3.1)$$

Di mana,  $Error(t)$  merupakan *error* pada waktu  $t$ ,  $SP$  atau Set Poin dalam hal ini kecepatan yang diinginkan,  $PV(t)$  adalah *present value* pada waktu  $t$  (waktu aktual), sedangkan selisih *error* pada waktu  $t$  dapat dilihat pada Persamaan 3.2.

$$dError(t) = Error(t) - Error(t - 1) \quad (3.2)$$

Di mana,  $Error(t - 1)$  adalah *error* pada waktu  $t - 1$ . Berdasarkan Persamaan 3.1 dan Persamaan 3.2, diperoleh nilai  $Error$  dan  $dError$  yang digunakan sebagai himpunan masukan *Fuzzy*. Himpunan masukan logika *Fuzzy* ditampilkan dalam Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Gambar MF (a)  $Error$  (b)  $dError$ .

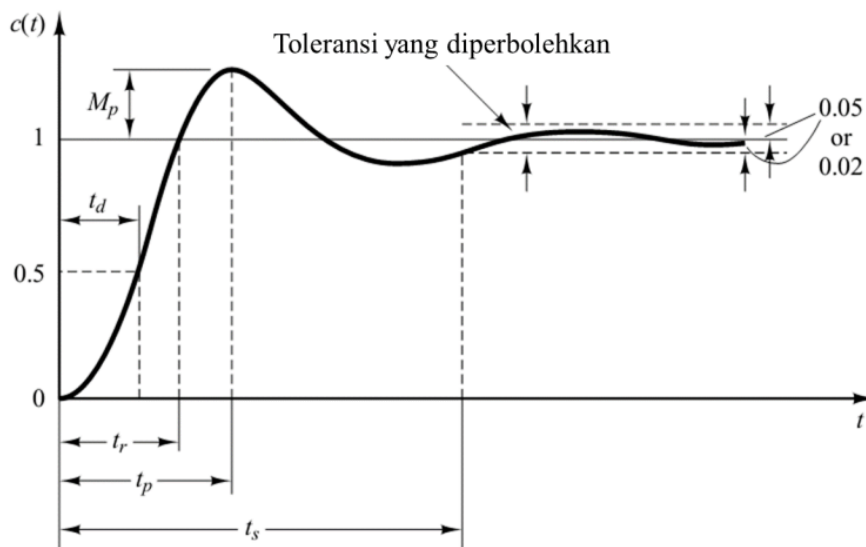
Adapun fungsi keanggotaan keluaran yaitu berdasarkan metode Sugeno di mana menggunakan nilai tegas dengan rentang nilai -1 sampai dengan 1. Variabel linguistik yang ditetapkan sama seperti fungsi keanggotaan pertama “*Error*” masukan dengan nilai *Negative Big* (NB) = -1, *Negative Small* (NS) = -0,5, *Zero* (Z) = 0, *Positive Small* (PS) = 0,5, dan *Positive Big* (PB) = 1. Setelah merancang fungsi keanggotaan masing – masing input dan output, langkah selanjutnya adalah menetapkan basis aturan. Fungsi keanggotaan kedua dengan nama “*error*” masukan memiliki lima variabel linguistik, sehingga jumlah basis aturan yang ditetapkan adalah sebanyak 25 buah. Adapun *rule base Fuzzy logic* dari sistem ini disajikan dalam Tabel 3.2. (Tahtawi, 2021)

Tabel 3.1 Rule Base Fuzzy Logic

E/dE	NB	NS	Z	PS	PB
NB	NB	NB	NB	NS	Z
NS	NB	NB	NS	Z	PS
Z	NB	NS	Z	PS	PB
PS	NS	Z	PS	PB	PB
PB	Z	PS	PB	PB	PB

### 3.3 Parameter Pengamatan

Pada penelitian ini akan akan dijelaskan parameter terukur yang diamati sehingga pembuatan kendali dapat diketahui hasilnya secara terukur sesuai dengan tujuan dari penelitian ini. Gambar 3.3 menjelaskan parameter yang diamati.



Gambar 3.3 Parameter Pengamatan Pada Respon Sistem Orde 2.

(Susanto & Wibowo, 2017)

Pada Gambar 3.3 terdapat 5 parameter yang terukur, terdiri dari  $t_d$  (*delay time* (D)),  $t_r$  (*rise time* (R)),  $t_p$  (*peak time* (P)),  $t_s$  (*settling time* (S)), dan  $M_p$  (*Overshoot* (O)). Adapun penjelasan dari masing-masing parameter yaitu sebagai berikut:

1. Waktu *delay*,  $t_d$ : waktu yang diperlukan respons untuk mencapai setengah dari nilai akhir saat kali pertama.



2. Waktu naik (*rise time*),  $tr$ : waktu yang dibutuhkan respons dari 10% – 90%, atau 5% – 95%, atau 0% – 100% dari nilai akhir.
3. Waktu puncak (*peak time*),  $tp$ : waktu yang diperlukan respons untuk mencapai puncak pertama pada kondisi *overshoot*.
4. *Overshoot* maksimum (% $Mp$ ): persentase nilai puncak maksimum terhadap respons keadaan tunaknya.

$$\%Mp = c(tp) - c(\infty) \times 100\% \quad (3.3)$$

5. Waktu menetap (*settling time*),  $ts$ : waktu yang diperlukan respons untuk mencapai *range* nilai akhir mutlak (2% atau 5%). (Susanto & Wibowo, 2017)

Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk mendapatkan semua parameter tersebut dengan menggunakan *software* MATLAB. Rangkuman parameter disajikan dalam Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Parameter Pengujian

Tipe <i>Controller</i>	Parameter				
	D	R	P	S	O
PID					
FLC					
<i>Hybrid</i>					

Keterangan:

D = *Delay time*

R = *Rise time*

P = *Peak time*

S = *Settling time*

O = *Overshoot*

### 3.4 Perancangan Alat

Perancangan alat akan dibagi menjadi desain alat dan desain sistem. Desain alat untuk melakukan perancangan alat, mulai dari bentuk, kapasitas bawang yang digunakan, daya yang dibutuhkan, dan diagram blok alat. Selanjutnya, desain sistem sebagai uji aktuator, uji sensor, dan cara membuat fungsi alih dari alat peniris bawang minyak goreng.

#### 3.4.1 Desain Alat

Pada penelitian ini dibutuhkan tabung peniris yang dapat menampung bawang goreng dengan kapasitas ( $m$ ) 100 g. Menurut Septiyan, diketahui massa jenis bawang ( $\rho$ ) yakni  $0,752 \text{ g/cm}^3$ . Persamaan massa jenis ditulis sebagaimana Persamaan 3.4.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (3.4)$$

Jika

$$m = 100 \text{ g}$$

maka volume ( $V$ ) tabung yakni:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$0,752 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = \frac{100 \text{ g}}{V}$$

$$V = \frac{100 \text{ g}}{0,752 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}}$$

$$V = 132.98 \text{ cm}^3 \approx 135 \text{ cm}^3$$

Menurut Septiyan, untuk pengoptimalan pengeringan diperlukan perbandingan 1:3 volume tabung, sehingga minimal volume tabung yang harus dibuat yakni:

$$V = 135 \text{ cm}^3 \cdot 3$$

$$V = 405 \text{ cm}^3$$

Perancangan ukuran tabung:

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h \quad (3.5)$$

$$405 = 3,14 \cdot r^2 \cdot h$$

$$r^2 \cdot h = 128.98 \text{ cm}^3$$

Untuk mempermudah pembuatan alat dengan acuan Persamaan 3.5 maka dibuatlah tabung dengan ukuran jari – jari ( $r$ ) dan tinggi tabung ( $h$ ):

$$r = 10 \text{ cm}$$

$$h = 10 \text{ cm}$$

sehingga

$$V = \pi \cdot 10^2 \cdot 10 \quad (3.6)$$

$$V = 3140 \text{ cm}^3$$

Kebutuhan daya ( $P$ ) pada motor DC yakni:

Diketahui:

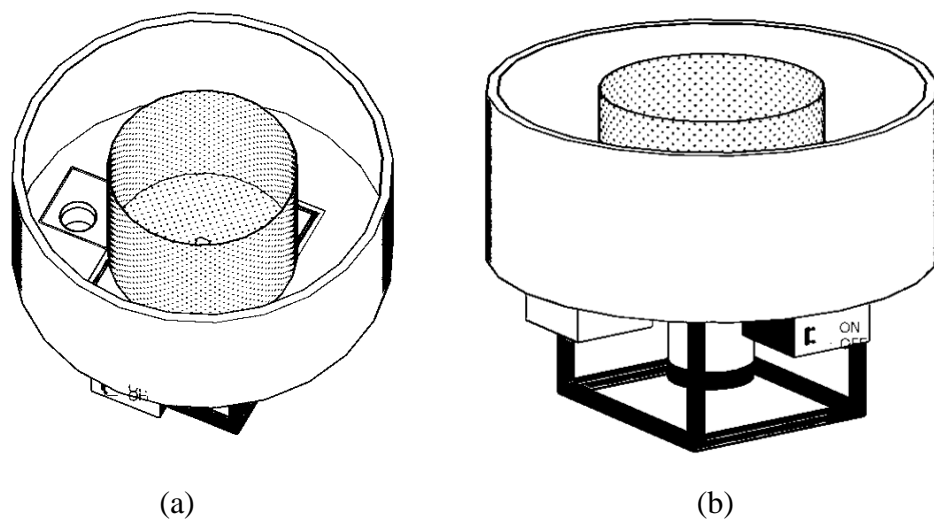
$$P = Vdc \cdot I \quad (3.7)$$

$$Vdc = 24 \text{ V}$$

$$I = 2 \text{ A}$$

$$P = 48 \text{ Watt}$$

Adapun bentuk rancangan alat peniris bawang dengan acuan beberapa persamaan di atas dapat dilihat dalam bentuk 3D pada Gambar 3.4 a) dan Gambar 3.4 b).



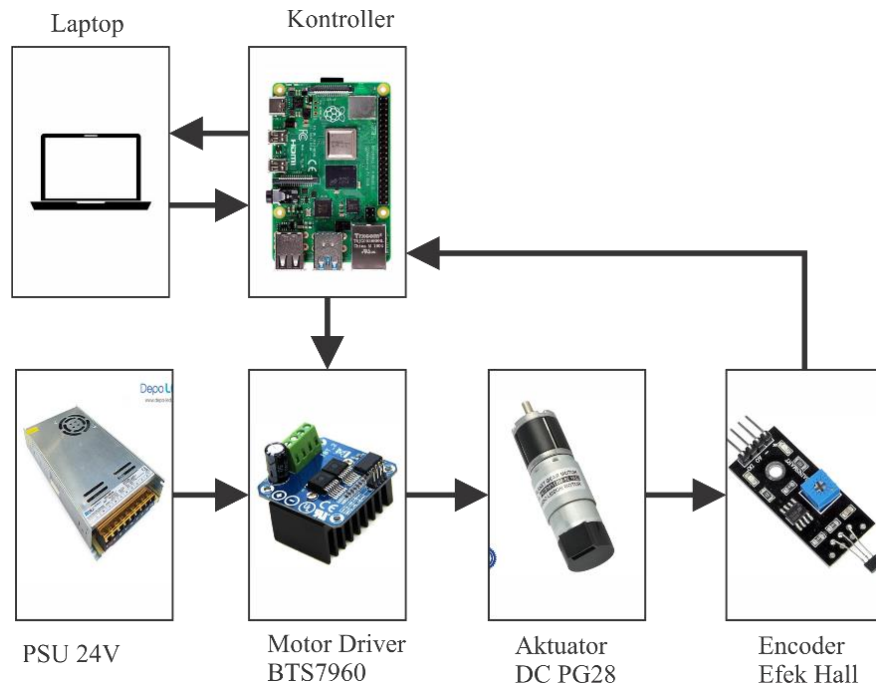
Gambar 3.4 Rancangan Alat Peniris Bawang a) Tampak Atas b) Tampak Samping.

Berdasarkan Gambar 3.4 a) dan b), secara singkat ketika mesin motor dinyalakan proses penirisan minyak bawang akan dimulai. Minyak hasil tirisan bawang goreng akan dialirkan ke *oil tank* yang berada di bawah tabung luar alat, sehingga dapat diukur seberapa banyak minyak yang dapat ditiriskan oleh alat ini. Penggerak tabung peniris menggunakan motor PG28 dengan spesifikasi yang disajikan dalam Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Spesifikasi Motor

Spesifikasi	Keterangan
Nama Motor	Motor DC PG28
Vdc	24 V
Arus	2 A
Torsi	7 Kgfc <sub>m</sub>
Gearbox Rasio	1:15
Kecepatan Tanpa Beban	1000 rpm
Encoder	7 ppr

Berdasarkan Tabel 3.3, diketahui bahwa kecepatan maksimal dari motor PG28 yakni  $\pm 1000$  rpm, selain itu juga motor sudah dilengkapi dengan encoder dengan resolusi 7 ppr yang berarti dalam 1 putaran terdapat 7 perubahan data digital yang akan diproses oleh *controller* adapun setelah mengetahui cara kerja dari ketiga komponen tersebut dibuat dalam blok diagram sehingga mempermudah alur kerja dari setiap alat.

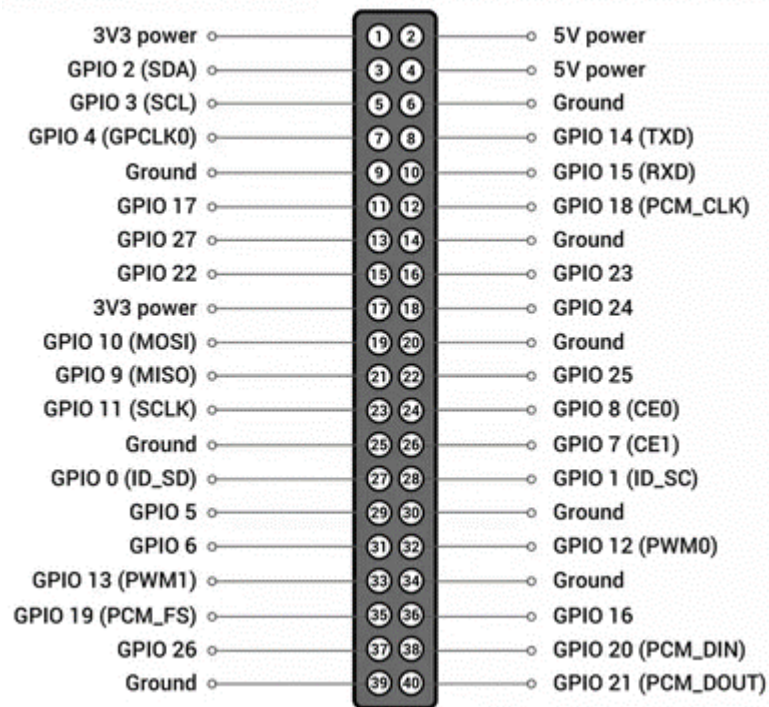


Gambar 3.5 Blok Diagram Alat Peniris Minyak Bawang Goreng

Pada Gambar 3.5, raspberry Pi 4B sebagai *controller* yang dihubungkan dengan motor *driver* BTS7960 akan mengendalikan PWM (*Pulse Width Modulation*) motor PG28. Kecepatan yang dihasilkan oleh motor PG28 akan dibaca oleh sensor efek *hall* yang terintegrasi di motor tersebut. Motor PG28 langsung dihubungkan dengan tabung peniris sehingga seluruh beban tabung dan bawang goreng akan menjadi beban motor tanpa ada reduksi. Hasil dari pembacaan sensor akan diproses oleh *controller* dan disimpan dalam ekstensi “.csv” untuk diolah oleh komputer melalui *software* MATLAB.

### 3.4.2 Desain Sistem

Sistem yang diterapkan pada penelitian ini diuji menggunakan *software* python dan GPIO raspberry Pi sebagai *controller*. Adapun GPIO yang dimiliki oleh Raspberry Pi 4B seperti pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 GPIO Raspberry Pi 4B

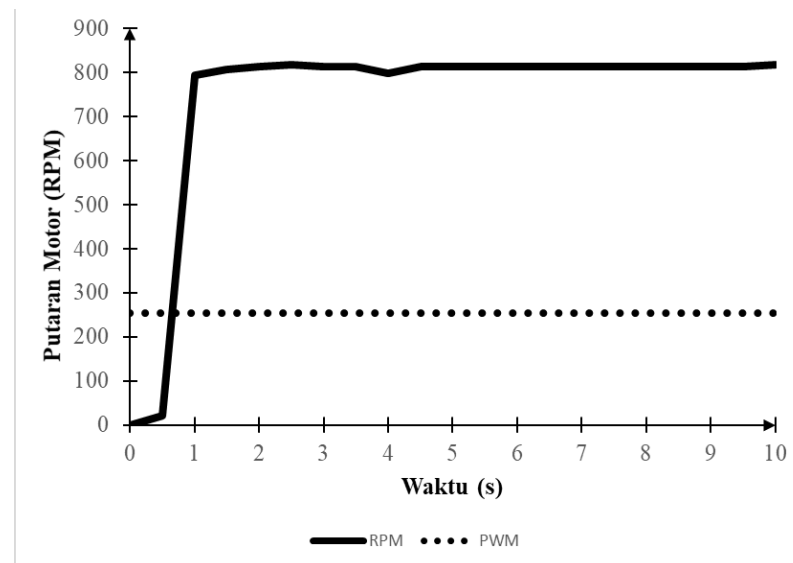
Terdapat 40 pin GPIO dengan 2 jenis yakni sebagai suplai tegangan dan input/output (I/O) seperti yang tertampil pada Gambar 3.6. Pada penelitian ini digunakan 7 buah pin 6 I/O dan 1 buah pin GND. Untuk menghindari terjadinya tegangan turun atau tegangan referensi sensor terganggu ketika pembacaan sinyal, maka sumber tegangan dibuat terpisah dan terkhusus dari PSU (*Power Supply Unit*) dengan detail pin dan fungsi seperti pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Pin I/O Sistem Alat Peniris Minyak Bawang Goreng

PIN	Fungsi
+24 V PSU	M+ Motor
-24 V PSU	M- Motor
+5 V PSU	Vcc Encoder
-5 V PSU	GND Encoder
6	GND
15 (GPIO 22)	R PWM
16 (GPIO 223)	L PWM
18 (GPIO 24)	L Enable
22 (GPIO 25)	R Enable
29 (GPIO 5)	Channel A Encoder

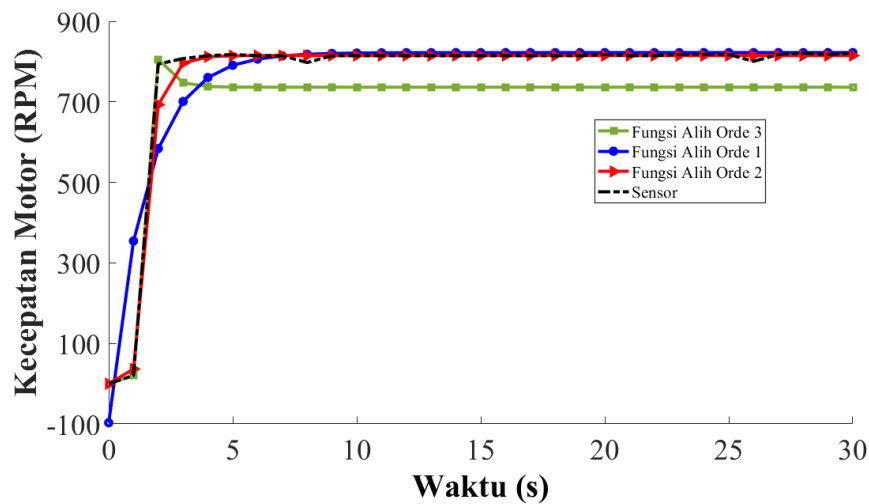
PIN	Fungsi
31 (GPIO 6)	Channel B Encoder

Menggunakan baris kode python (terlampir) didapatkan data RPM dari beberapa RPM (terlampir), kemudian data tersebut dimasukkan ke dalam *system identification* MATLAB.



Gambar 3.7 Hasil Pembacaan Sensor Encoder

Pada Gambar 3.7 diperlihatkan hasil pembacaan kecepatan pada PWM maksimal yakni 255 atau 100%. Berdasarkan data, dilakukan proses identifikasi menggunakan MATLAB. Kemudian akan diestimasi fungsi alih dari data pembacaan sensor. Estimasi fungsi alih menggunakan 3 tipe yakni orde 1, 2, dan 3.



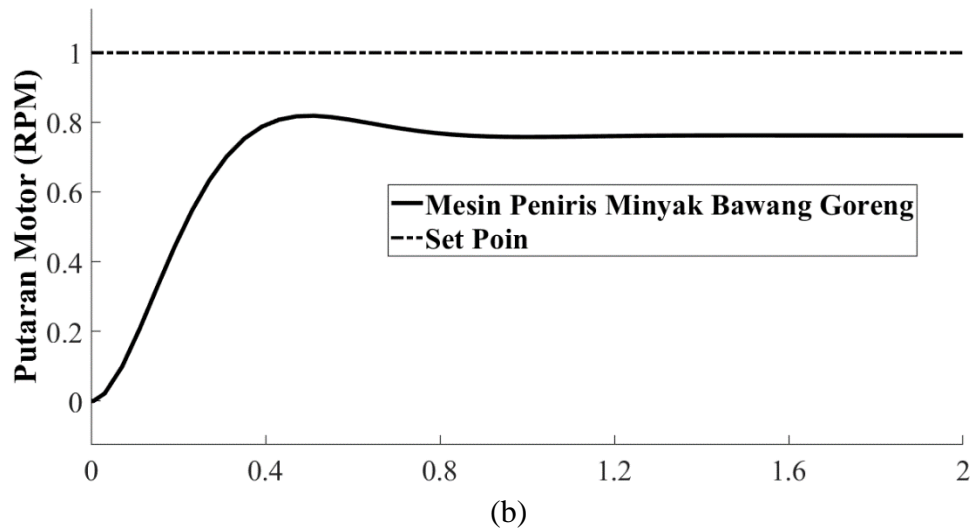
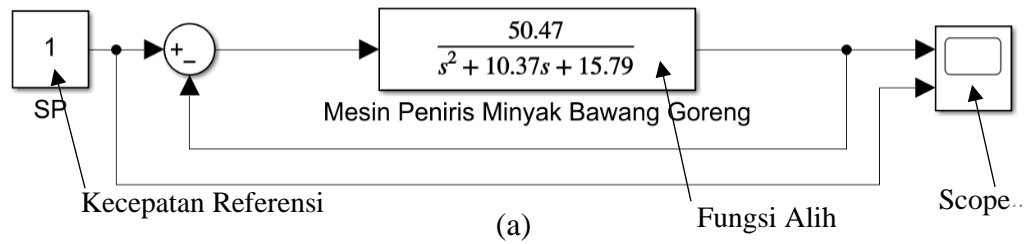
Gambar 3.8 Hasil Respons 3 Jenis Orde Fungsi Alih

Gambar 3.8 merupakan proses penentuan alih fungsi menggunakan sistem identifikasi MATLAB, di mana alih fungsi yang dihasilkan kemudian divalidasi dengan data sensor. Dari ketiga percobaan estimasi fungsi alih, orde 2 memiliki nilai kemiripan terbesar yakni 90.36% sedangkan untuk orde 1 dan 3 berturut-turut adalah 61.59% dan 62.59%. Dengan demikian, dipilih orde 2 sebagai fungsi alih yang digunakan pada rangkaian Simulink untuk sistem mesin peniris minyak bawang goreng. Adapun model matematika yang didapatkan dari *system identification* orde 2 diperlihatkan pada Persamaan 3.8.

$$F(s) = \frac{50.47}{s^2 + 10.37s + 15.79} \quad (3.8)$$

Setelah mendapatkan fungsi alih, sistem bisa dibuat dengan menggunakan MATLAB Simulink yang terdapat 3 bagian utama dari model Simulink itu sendiri, sebagaimana pada Gambar 3.9.a.





Gambar 3.9 (a) Model Simulink MATLAB Mesin Peniris Minyak Bawang Goreng, (b) Hasil dari Sistem *Close Loop* Blok Diagram

Gambar 3.9 b memperlihatkan output dari sistem belum sesuai dengan nilai yang telah diatur dalam hal ini set poin = 1. Dengan demikian, diperlukan sebuah kendali yang berfungsi untuk membuat RPM yang dicapai oleh mesin peniris minyak bawang goreng sesuai dengan RPM set poin. Terdapat 3 jenis kendali yang akan digunakan pada penelitian ini yakni kendali PID (Proporsional, Integratif, Derivatif), kendali FLC (*Fuzzy Logic Controller*) dan kendali *Hybrid* yang merupakan gabungan kendali PID dan FLC.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Kendali *Hybrid* memiliki kinerja lebih baik dibandingkan dengan kendali PID atau Fuzzy, di mana *delay time* sebesar 0.0138 detik, *rise time* 0.0479 detik, *settling time* 0.0491 detik, *peak time* 0.9843 detik dan dapat meredam *overshoot*.
2. Kendali *Hybrid* bekerja dengan pola penjumlahan, sementara output PID dan FLC selalu bertolak belakang. Dengan demikian, FLC dapat meredam lonjakan perubahan *error* yang terlalu tinggi, tetapi tidak mengurangi kecepatan *respond time* dari tingginya nilai Kp kendali PID.
3. Penelitian dengan melakukan peningkatan nilai Kp s/d 600 akan mempercepat *delay* dan *rise time*. Selain itu, perlu dilakukan penambahan *gain* sesuai dengan set poin agar kendali FLC dapat memproses sistem.

### 5.2.Saran

Adapun saran yang didapatkan dari hasil penelitian ini sehingga bisa menjadi acuan penelitian berikutnya yaitu sebagai berikut:

1. Implementasikan ke dalam mesin peniris minyak bawang goreng
2. Menambahkan logika “jika maka” pada sistem sehingga perubahan *gain* pada kendali FLC bisa menyesuaikan dengan nilai *error*.
3. Penggunaan sensor *optical* untuk membuat hasil data yang akan diolah untuk menjadi fungsi alih lebih presisi.
4. Memanfaatkan keandalan FLC sebagai penalaan parameter Kp, Ki, dan Kd.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adam Tirta Kusuma, I. A. (2017). Sistem Kendali Fuzzy-Pid Pada Robot Wall Follower. *Jurnal Amplifier*, 7(1), 1-5.
- Anggun, A., Marisa, F., & Wijaya, I. (2016). Sistem Penunjang Keputusan Pembelian Smartphone dengan Menggunakan Metode Fuzzy Tsukamoto. *JOINRECS (Journal Inf. Technol. Comput. Sci)*, 1(1).
- Astrom, K. J., & Murray, R. M. (2009). *Feedback Systems: An Introduction for Scientists and Engineers*. Oxford: Princeton University Press.
- Atina. (2019). Aplikasi Matlab pada Teknologi Pencitraan Medis. *JUPITER: Jurnal Penelitian Fisika dan Terapannya*, 1(1), 28-34.
- Bahtiar, A. H., Arifin, M., Muhaimin, M., & Arifin, M. (2022). Pengolahan Bawang Merah Goreng Untuk Meningkatkan Perekonomian Masyarakat Di Desa Tegalrejo. *Development*, 1(2), 65-76.
- BPS. (2023). *Statistik Hortikultura*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- BPS. (2024, February 7). *Rata-Rata Konsumsi per Kapita Seminggu Beberapa Macam Bahan Makanan Penting, 2007-2023*. (Bada Pusat Statistik) Retrieved September 7, 2024, from <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/1/OTUwIzE=/rata-rata-konsumsi-per-kapita-seminggu-beberapa-macam-bahan-makanan-penting--2007-2023.html>
- Dwisaputra, A. S., Yumono, F., & Yuliana, D. E. (2021). Kontrol Kecepatan Motor DC Menggunakan Fuzzy Logic Controller Pada Ayunan Bayi. *JASEE*, 2(1), 1-14.
- Elfiana, E., Ridwan, Prihatin, N., Rahmawati, C. A., Pardi, Zaini, H., & Sami, M. (2023). Penerapan Teknologi Spinner Untuk Meningkatkan Kualitas Bawang Goreng. *Jurnal Vokasi*, 7(1), 120-127.
- Gohiya, C., S.A, A., Sadistap, S., & Botre, B. A. (2012). Design and development of digital PID controller for DC motor drive system using embedded platform for mobile robot. *2013 3rd IEEE International Advanced Computing Conference (IACC 2013)* (pp. 52-55). Research Gate.
- Hakim, M., Poniman, & Akbar, R. (2023). Pembuatan Mesin Spinner Dengan Pengatur Kecepatan Berbasis IoT Untuk Meningkatkan Perekonomian Petani Pisang Lumajang. *Humanism*, 4(3), 217-227.

- Harjuma, Arisandi, D., & F. F. (2023). Optimalisasi Tabung Peniris Mesin Peniris Minyak. *Jurnal Vokasi Teknik Mesin dan Fabrikasi Logam*, 2(1), 44-53.
- Hutasoit, A. M., Hermanto, T., & Sinurat, R. F. (2024). Perancangan Mesin Peniris Minyak Bawang Goreng Otomatis. *IRA Jurnal Teknik Mesin dan Aplikasinya (IRAJTMA)*, 3(1), 38-46.
- Kosko, B. (1993). Fuzzy Thinking: The New Science of Fuzzy Logic . *Reason Papers* , 183-187.
- M., H. S. (2004). PID Fuzzy Logic Controller System for DC Motor Speed Control . *Makara Journal of Technology*, 8(1), 25-34.
- Mamdani, E. H., & Assilian, D. S. (1975). An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller. *Int. J. Man-Machine Studies*, 7, 1-13.
- MATLAB. (n.d.). *System Identification Toolbox*. Retrieved Desember 26, 2025, from <https://www.mathworks.com/help/ident/index.html>
- Mufti, M., Santoso, E., & Maulana, M. (2020). Penyuluhan Mesin Peniris Minyak Keripik Pisan. *SHARE*, 76-80.
- Muhammad Bagas Indrawansyah, N. Y. (2023). Mesin Peniris Minyak (Spinner) Bawang Goreng. *SEMNASTI*, 154-162.
- Mumtazah, & Kusuma, S. H. (2022). Arahana Pengembangan Produk Olahan Bawang Merah Berdasarkan Konsep Pengembangan Ekonomi Lokal (PEL) di Kecamatan Wonoasih, Kota Probolinggo. *Jurnal Penataan Ruang*, 17(1), 48-53.
- Nagrath, I., & Gopal, M. (2010). Control System Engineering. *New age International*.
- Nur, R. (2010). Rancang Bangun Mesin Peniris Bawang Goreng Untuk Meningkatkan Produksi Bawang Goreng pada Industrirumah Tangga. *Sinergi*, 2(8), 115-129.
- Ogata, K. (2010). *Modern Control*. New Jersey: Prentice Hal.
- Permana, Y., & Riyadi, S. (2021). Perancangan Mesin Peniris Minyak dengan Sistem Putar. *Jurnal Media Teknologi*, 9-22.
- Prasidya, G., Sitepu, R., & Andyardja, W. (2019). Mesin Peniris Tiga Jenis Kripik Berbasis Motor Listrik Tiga Fasa Dan Mikrokontroler Arduino Uno. *Jurnal Ampere*, 4(2), 288-296.
- Probolinggo, B. P. (2023). *Kajian Analisa Nilai Tukar Petani*. Kabupaten Probolinggo: Badan Perencanaan Penelitian dan Pengembangan Daerah Kabupaten Probolinggo.
- Ross, T. J. (2004). *Fuzzy Logic with Engineering Applications*. USA: John Wiley & Sons, Ltd.

- Sumarji. (2011). Studi Perbandingan Ketahanan Korosi Stainless Steel Tipe Ss 304 Dan Ss 201 Menggunakan Metode U-Bend Test Secara Siklik Dengan Variasi Suhu Dan PH. *Jurnal ROTOR*, 4(1), 1-8.
- Susanto, E., & Wibowo, A. S. (2017). *Perancangan Model Kendali*. Jakarta: Fakultas Teknik Elektro Universitas Telkom.
- Tahtawi, A. R. (2021). Kendali Posisi Motor DC Menggunakan. *TELKA*, 7(1), 1-10.
- Wijaya, E. C., Setiawan, I., & Wahyudi. (2011). *Auto Tuning PID Berbasis Metode Osilasi Ziegler-Nichols*. Semarang: Doctoral dissertation, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Undip.
- Wijayanti, L., Kartadinata, B., Fretes, A. d., Indriati, K., & Budima, B. N. (2021). Penerapan Mesin Peniris Minyak (Spinner) Untuk Meningkatkan Produksi Abon Lele di Desa Sampora. *SENAPENMAS*, (pp. 263-270). Jakarta.
- Yan, J., & Ryan, M. (1994). J. Power Using Fuzzy Logic. *Prentice Hall International*.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8, 338-353.
- Ziegler, J., & Nichols, N. B. (1942). Optimum Settings for Automatic Controllers. *Transactions Of The A.S.M.E.*, 759 - 765.