

**SISTEM KENDALI PADA MESIN *EXTRUDER STRAW*
BERBASIS *THERMOCOUPLE* DAN EVALUASI KUALITAS
PRODUK BERBASIS *FUZZY LOGIC***

TESIS S-2

Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Gelar Magister Teknik

Program Magister Teknik Elektro



Disusun Oleh :

DANY SUCIPTO (20602300007)

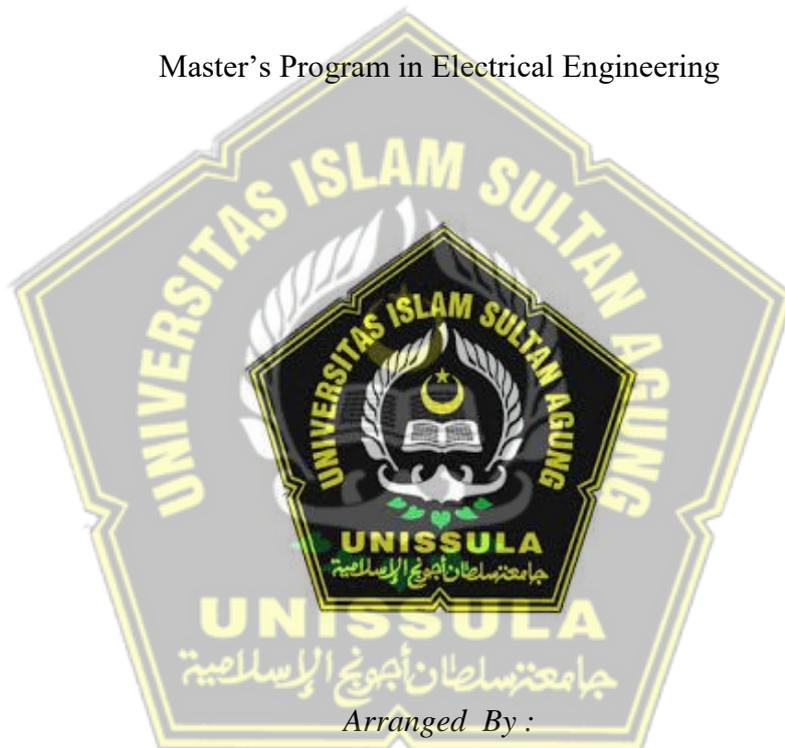
**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG
2024**

***CONTROL SYSTEM ON THE STRAW EXTRUDER MACHINE
BASED ON THERMOCOUPLE AND PRODUCT QUALITY
EVALUATION BASED FUZZY LOGIC***

Thesis S-2

To Fulfill the Requirements For Obtaining a Master of Engineering Degree

Master's Program in Electrical Engineering



Arranged By :

DANY SUCIPTO (20602300007)

***MASTER'S PROGRAM IN ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SULTAN AGUNG ISLAMIC UNIVERSITY
SEMARANG***

2024

LEMBAR PENGESAHAN

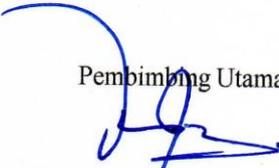
Sistem Kendali Pada Mesin *Extruder Straw* Berbasis *Thermocouple* dan Evaluasi Kualitas Produk Berbasis *Fuzzy Logic*

Yang di persiapkan dan disusun oleh
Dany Sucipto
20602300007

Telah dipertahankan di depan dewan Penguji
Pada Tanggal: 1 Maret 2024

Susunan Dewan Penguji

Pembimbing Utama



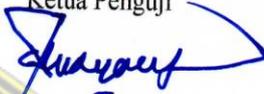
Muhammad Qomarudin, ST, M.Sc, Ph.D
NIDN. 0631057101

Pembimbing pendamping



Arief Marwanto, ST, M.Eng, Ph.D, IPM
NIDN. 0628097501

Ketua Penguji



Dr. Eka Nuryanto Budisusila, ST, MT
NIDN. 0619107301

Penguji 1



Ir. Suryani Alifah, MT, Ph.D
NIDN. 0625036901

Penguji 2



Dr. Ir. Agus Adhi Nugroho, MT
NIDN. 0628086501

Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Magister Teknik

Tanggal 1 Maret 2024

Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro



Prof. Dr. Ir. Sri Artini Dwi Prasetyowati, M.Si
NIDN. 0620026501

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dany Sucipto
NIM : 20602300007
Program Studi : Magister Teknik Elektro
Fakultas : Teknologi Industri

Dengan ini menyatakan bahwa Tesis yang saya buat dalam rangka menyelesaikan Pendidikan Strata dua (S2) **Magister Teknik Elektro di Fakultas Teknologi UNISSULA Semarang** dengan judul “**Sistem Kendali Pada Mesin Extruder Straw Berbasis Thermocouple dan Evaluasi Kualitas Produk Berbasis Fuzzy Logic**” adalah asli (original) dan bukan menjiplak (plagiat) dan belum pernah diterbitkan/dipublikasikan dimanapun dalam bentuk apapun baik sebagian atau keseluruhan, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab. Apabila di kemudian hari ternyata terbukti bahwa Karya Tesis tersebut adalah hasil karya orang lain atau pihak lain, maka saya bersedia dikenakan sanksi akademis.

Semarang, 7 Maret 2024

Yang Menyatakan
Mahasiswa



Dany Sucipto
20602300007

PERNYATAAN PERNYATAAN PUBLIKASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Dany sucipto

NIM : 20262300007

Program Studi : Magister Teknik Elektro

Fakultas : Fakultas Teknik Industri

Dengan ini menyatakan bahwa Tesis dengan judul :

**Sistem Kendali Pada Mesin *Extruder straw* Berbasis *Thermocouple* dan
evaluasi Kualitas Produk Berbasis *Fuzzy Logic***

Telah terbit di JTE- <https://publikasi.mercubuana.ac.id/index.php/jte/article/view/23105>, *Vol 15, No 1 (2024)*, januari 2024, dengan Judul “Sistem Kendali Closed Loop Pada Mesis Extruder Straw Berbasis Logika Fuzzy”.

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/Plagiarisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan pihak Universitas Islam Sultan Agung.

Semarang, 7 Juni 2024

Yang menyatakan,



(Dany Sucipto)

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmannirrahim

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur Alhamdulillah, penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan karunia-Nya lah penulis diberikan kesehatan rohani dan jasmani sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tesis yang berjudul **“Sistem Kendali Pada Mesin Extruder Straw Berbasis Thermocouple dan Evaluasi Kualitas Produk Berbasis Fuzzy Logic”** ini dengan baik dan lancar.

Penulisan Tesis ini adalah salah satu syarat yang menjadi kewajiban kita untuk meraih Gelar Sarjana (S2) Magister Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Dalam penulisan Laporan Tesis ini, tentunya banyak orang yang membantu dan mendukung. Oleh karena itu penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua Orang Tua Saya Bapak Karso dan Ibu Datih serta keluarga yang sangat Saya cintai dan kagumi yang senantiasa memberikan support, doa, perhatian, dan kasih sayang yang tiada hentinya kepada penulis dalam penyusunan Laporan Tesis ini.
2. Ibu Dr. Hj. Novi Marlyana, ST., MT Selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Prof. Dr. Sri Arttini Dwi Prasetyowati, M.Si Selaku Ketua Program studi Magister Teknik Elektro, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
4. Muhammad Qomarudin, ST, M.Sc, Ph.D Selaku Dosen Pembimbing pertama yang telah membimbing, mengarahkan, serta memotivasi dengan sangat baik dalam penyusunan Laporan Tesis ini.
5. Arief Marwanto, ST, M.Eng, Ph.D,IPM Selaku Dosen Pembimbing kedua yang juga telah membimbing dan mengarahkan dengan sangat baik dan sabar dalam penyusunan Laporan Tesis ini.
6. Istri saya Fidya Maulida yang telah memberikan doa, dukungan, dan semangat pada saat penyusunan Laporan Tesis hingga selesai.

7. Dan juga kepada semua pihak yang telah membantu, mendukung dan mendoakan dalam penyusunan Laporan Tesis ini, yang tidak bisa saya sebutkan satu-persatu.

Penulis juga menyadari bahwa dalam penyusunan Laporan Tesis ini masih banyak kekurangan, baik segi materi maupun penyajiannya. Penulis meminta maaf dan membutuhkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak, sehingga kedepanya laporan ini dapat menjadi lebih baik. Penulis sangat berharap semoga laporan ini dapat memberikan manfaat dan menambah wawasan bagi para pembaca dan khususnya bagi para penulis juga.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.



Semarang, 1 Maret 2024

Yang menyatakan
Mahasiswa

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Dany Sucipto', is written over a horizontal line.

Dany Sucipto
20602300007

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
ABSTRAK	xi
ABSTRAC	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan	2
1.5. Keaslian Penelitian	2
1.6. Kontribusi Thesis	3
BAB II DASAR TEORI	4
2.1. Tinjauan Pustaka.....	4
2.2. Dasar Teori	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	54
3.1. Arsitektur Model Penelitian.....	54
3.2. Langkah-Langkah Tahap perancangan.....	56
3.3. Perancangan <i>Hardware</i>	58
3.4. <i>Flow Chart</i> diagram alur <i>Prototype</i>	61
3.5. Pembuatan alat dan <i>software</i>	62
3.6. Perancangan Logika <i>Fuzzy</i> Pada Mesin <i>Extruder Straw</i>	67
BAB IV PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN	75
4.1. Pengujian Dasar	75
4.2. Pengujian Perhitungan Matlab.....	79
BAB V PENUTUP	86
5.1 Kesimpulan	86
5.2 Saran	86
DAFTAR PUSTAKA	87
LAMPIRAN	93

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Absolute maximum ratings.....	51
Tabel 2. Data sheet LCD 2x16.....	53
Tabel 3. Parameter set point.....	68
Tabel 4. Tampilan Serial monitor rendah sampai tinggi.....	78



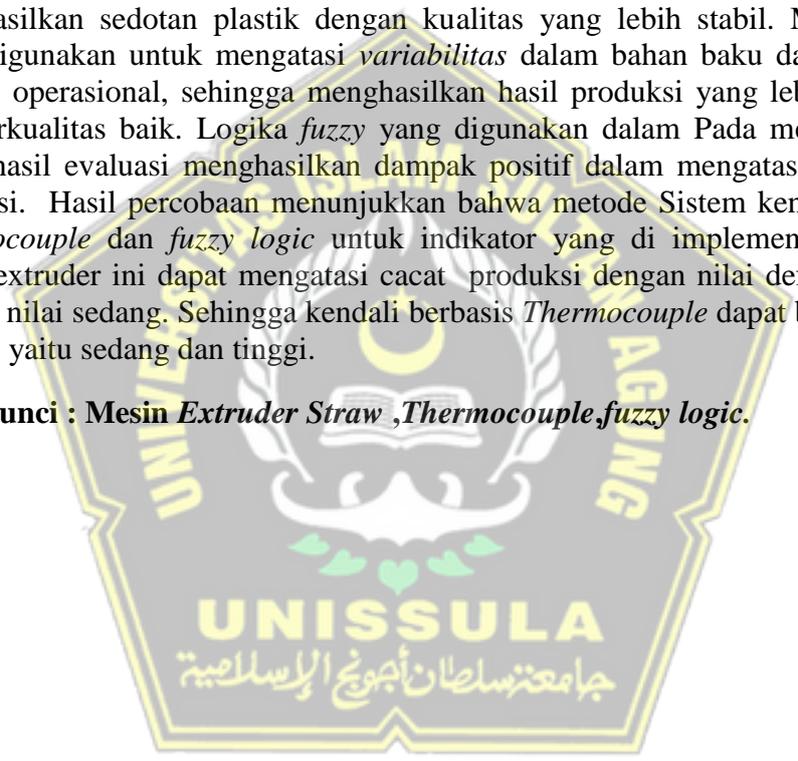
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1.Arduino Uno.....	27
Gambar 2. 2. Representasi Linier Naik.....	30
Gambar 2. 3.Representasi Linier Turun.....	30
Gambar 2. 4.Representasi Kurva Segitiga	31
Gambar 2. 5.Representasi Kurva Trapesium	31
Gambar 2. 6.Representasi Kurva Bahu	32
Gambar 2. 7.Karakteristik Fungsional Kurva PI.....	33
Gambar 2. 8.Struktur dasar Sistem <i>Fuzzy</i>	36
Gambar 2. 9.Blok Diagram Sensor Termokopel.....	38
Gambar 2. 10.Modul MAX6675.....	40
Gambar 2. 11.Grafik Datasheet MAX6675	41
Gambar 2. 12.Mesin <i>EXTRUDER STRAW</i>	42
Gambar 2. 13.Konfigurasi Motor DC	43
Gambar 2. 14.Kaidah Tangan Kiri Arah Medan Magnet Arus dan Gaya Gerak..	43
Gambar 2. 15.Komponen Utama Motor DC Konvensional.....	44
Gambar 2. 16.Motor DC Konvensional.....	45
Gambar 2. 17.Blok Diagram L298N.....	50
Gambar 2. 18.PIN Modul L298N	50
Gambar 2. 19. <i>Power Suplay</i> 5V.....	51
Gambar 2. 20.Tampilan kristal Cair (LCD).....	52
Gambar 3. 1.Diagram Model penelitian.....	54
Gambar 3. 2.Diagram Penerapan evaluasi <i>fuzzy Logic</i> pada mesin extruder straw.	55
Gambar 3. 3. <i>Flowchart</i> langkah-langkah penelitian.....	57
Gambar 3. 4.Blok diagram perancangan <i>hardware</i>	58
Gambar 3. 5. <i>Wiring diagram Prototype</i>	59
Gambar 3. 6. <i>Flowchart</i> Alur <i>Prototype</i>	61
Gambar 3. 7. <i>Prototype</i> sistem kendali pada mesin <i>extruder straw</i> berbasis <i>Thermocouple</i>	62
Gambar 3. 8.Fungsi keanggotaan suhu	68
Gambar 3. 9.Fungsi keanggotaan RPM	69
Gambar 3. 10.Fungsi keanggotaan kualitas	69
Gambar 4. 1.Uji Thermocouple Temperature Sensor MAX6675 dengan Osiloskop	75
Gambar 4. 2.Uji Tegangan motor DC dengan osiloskop.....	76
Gambar 4. 3.Uji Putaran Motor DC dengan osiloskop	76
Gambar 4. 4.Tampilan serial Monitor input Sensor.....	77
Gambar 4. 5.Fungsi keanggotaan suhu	79
Gambar 4. 6.Fungsi keanggotaan RPM	80
Gambar 4. 7.Fungsi keanggotaan kualitas	80

ABSTRAK

Akibat panas yang berlebihan pada *heater* mesin *extruder straw*, *heater* mati atau panas terlalu tinggi, tetapi motor DC pada *extruder* tetap berjalan dan mengeluarkan resin, sehingga hasil produksi tidak sesuai dengan desain. Sehingga diperlukan sebuah metode untuk pengendalian mesin *extruder* agar produksi dapat berjalan dengan baik. Penelitian dilakukan dengan mengontrol parameter operasional seperti suhu, kecepatan ekstrusi pada mesin. *implementasi* sistem kendali yang mampu beradaptasi dengan perubahan dalam proses ekstrusi. Sistem ini secara otomatis mengontrol parameter operasional berdasarkan umpan balik yang diterima dari keluaran produksi. Berdasarkan hasil pengujian bahwa sistem kendali ini memiliki potensi untuk meningkatkan efisiensi produksi dan menghasilkan sedotan plastik dengan kualitas yang lebih stabil. Metode *fuzzy logic* digunakan untuk mengatasi *variabilitas* dalam bahan baku dan perubahan kondisi operasional, sehingga menghasilkan hasil produksi yang lebih konsisten dan berkualitas baik. Logika *fuzzy* yang digunakan dalam Pada mesin *extruder straw* hasil evaluasi menghasilkan dampak positif dalam mengatasi *variabilitas* produksi. Hasil percobaan menunjukkan bahwa metode Sistem kendali berbasis *Thermocouple* dan *fuzzy logic* untuk indikator yang di implementasikan pada mesin extruder ini dapat mengatasi cacat produksi dengan nilai defuzifikasi 6,8 dengan nilai sedang. Sehingga kendali berbasis *Thermocouple* dapat bekerja didua kondisi yaitu sedang dan tinggi.

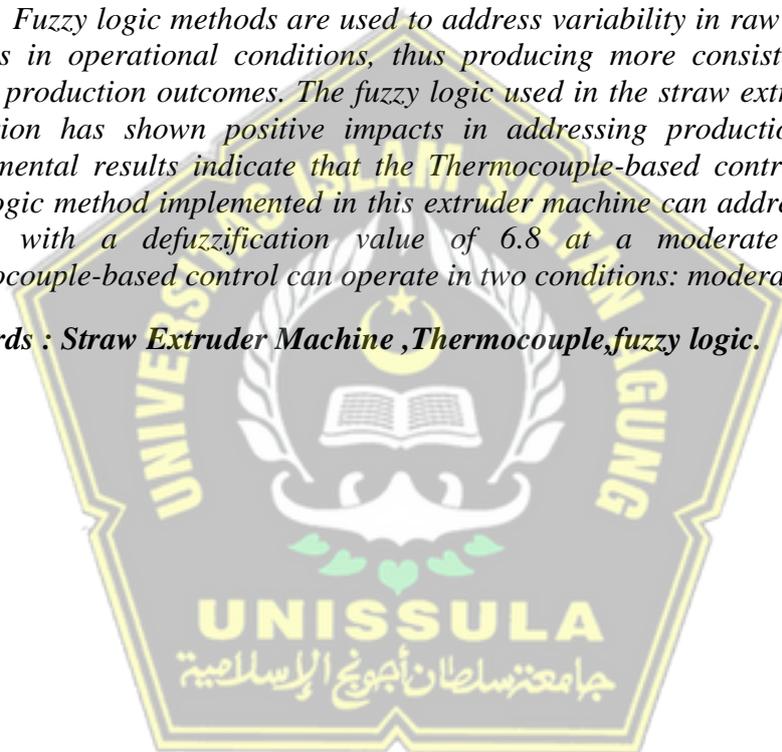
Kata kunci : Mesin *Extruder Straw* ,*Thermocouple* ,*fuzzy logic*.



ABSTRAC

Due to excessive heat in the extruder straw machine heater, the heater may fail or the heat may be too high, but the DC motor on the extruder continues to operate and emit resin, resulting in production outcomes not aligning with the design. Hence, a method for controlling the extruder machine is needed to ensure smooth production. Research is conducted by controlling operational parameters such as temperature, extrusion speed on the machine, and implementing a control system capable of adapting to changes in the extrusion process. This system automatically controls operational parameters based on feedback received from production output. Based on test results, this control system has the potential to improve production efficiency and produce plastic straws with more stable quality. Fuzzy logic methods are used to address variability in raw materials and changes in operational conditions, thus producing more consistent and high-quality production outcomes. The fuzzy logic used in the straw extruder machine evaluation has shown positive impacts in addressing production variability. Experimental results indicate that the Thermocouple-based control system and fuzzy logic method implemented in this extruder machine can address production defects with a defuzzification value of 6.8 at a moderate level. Thus, Thermocouple-based control can operate in two conditions: moderate and high.

Keywords : *Straw Extruder Machine ,Thermocouple,fuzzy logic.*



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Saat ini, penggunaan *mikrokontroler* Arduino telah meluas di berbagai sektor. Tujuannya adalah untuk mempermudah manusia dalam melakukan analisis mesin terkait. Salah satu contoh penggunaan yang signifikan adalah dalam pengukuran suhu secara digital atau termometer digital. Termometer digital ini menggunakan mikrokontroler sebagai basisnya, di mana suhu diubah menjadi data digital yang dapat diolah oleh *mikrokontroler* dalam aplikasinya[1]. Mesin *extruder straw* merupakan mesin produksi plastik membutuhkan suhu panas untuk melelehkan resin menjadi sebuah produk *straw*. Di dalam mesin *extruder* terdapat beberapa perangkat seperti motor induksi, *heater*, *screw*, *barel* dan *hopper* di dalam paper[2]. Tujuan dari perancangan sistem ini adalah untuk menciptakan kondisi panas *heater* disinkronkan dengan kecepatan motor supaya menghasilkan lelehan resin sesuai standar pembuatan *straw*. Dalam pokoknya, sistem ini dibuat dengan tujuan untuk mengendalikan serta memonitor perubahan suhu pada pemanas yang telah dilengkapi dengan sensor termokopel dan pada moto di setting kecepatan putar kemudian diubah Diubah menjadi format digital agar bisa diproses oleh *mikrokontroler* dan tampil pada layar LCD di dalam paper[3]. Aplikasi dari mengontrol dan monitoring Suhu ini, selain itu, ditampilkan di layar LCD sebagai hasil dari pengukuran, hasil pengukurannya juga dapat di analisis supaya produk *straw* sesuai standar di dalam paper[4].

1.2. Perumusan Masalah

Dengan dasar informasi yang telah diuraikan oleh penulis, maka rumusan masalah dapat diidentifikasi sebagai berikut:

1. Bagaimana kinerja sistem kendali Berbasis *Thermocouple* yang di implementasikan pada mesin *extruder straw*?
2. Apa metode evaluasi yang dapat digunakan untuk mengukur system kendali berbasis *Fuzzy logic* pada mesin *extruder straw* ?

1.3. Batasan Masalah

1. Pembacaan suhu heater dengan *sensor termokopel*.
2. Pembacaan kecepatan motor Pada LCD.
3. *Acceleration* Motor DC dengan suhu *heater*.

1.4. Tujuan

1. Merancang dan implementasi sistem kendali berbasis *Thermocouple* pada mesin *extruder straw*.
2. Mengimplementasikan *logika fuzzy* untuk indikator dan evaluasi peningkatan kinerja motor DC dan Suhu pada mesin *extruder straw*.

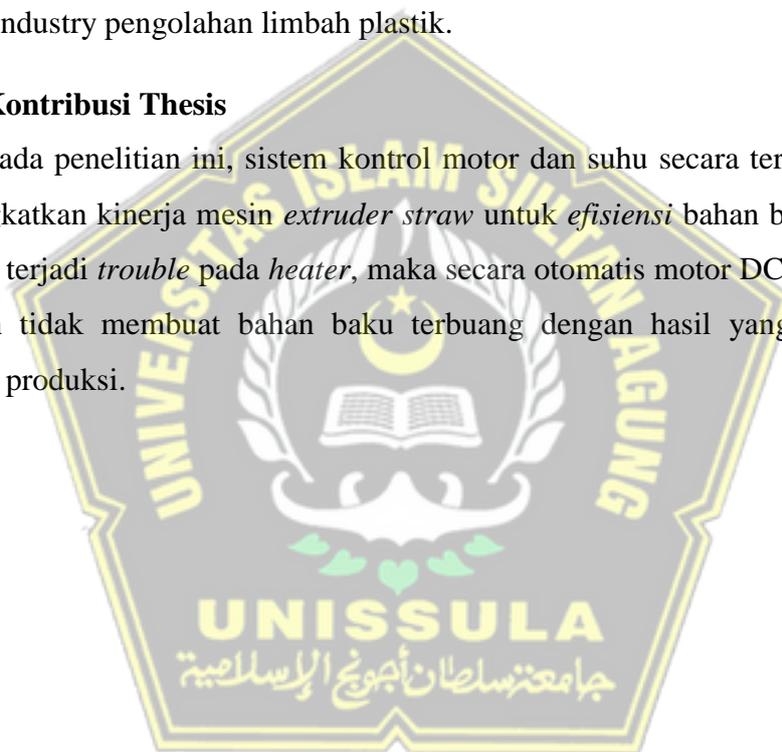
1.5. Keaslian Penelitian

Dari hasil pencarian judul penelitian yang mengadopsi judul sistem kendali pada mesin *extruder Straw* berbasis *Thermocouple* dan Evaluasi Produk Berbasis *Fuzzy Logic* terdapat beberapa penelitian, Antara lain Di dalam paper[5] telah membuat Perancangan dan pelaksanaan Sistem Operasi *Real Time* pada sistem pengendalian suhu kandang ayam dalam *mode loop* tertutup melibatkan fungsi alat ini yang akan beroperasi ketika sensor *LM33* mengontrol modul *DIMMER* lampu AC, sambil juga menyediakan informasi melalui layar LCD. Sistem inkubator dalam kandang juga menggunakan RTOS (*Real Time Operating System*) untuk menetapkan prioritas jadwal dalam pengelolaan *incubator*. Paper [6] Menggambarkan sistem pengendalian torsi motor *extruder* pada mesin *molding* mikroplastik yang menggunakan metode logika *fuzzy* berbasis *NI MyRIO*

1900 untuk mengatur kecepatan motor (RPM) pada motor *stepper*. Paper [7] melakukan penelitian dengan judul Pengendalian motor *stepper* pada mesin *molding* mikroplastik menggunakan metode logika *fuzzy* berbasis *MyRIO*. Paper [8] telah membuat penelitian Manajemen kualitas untuk mengurangi *insiden* awal yang ditolak pada mesin ekstruder dengan menerapkan metode PDCA di PT Wahana Duta Jaya Rucika. paper[9] Membuat Sistem untuk mengoptimalkan laju aliran proses *Scruw* dengan penerapan *Neuro fuzzy* dengan model mengidentifikasi dari *output* yang di inginkan dari sejumlah parameter input di dalam industry pengolahan limbah plastik.

1.6. Kontribusi Thesis

Pada penelitian ini, sistem kontrol motor dan suhu secara terintegrasi telah meningkatkan kinerja mesin *extruder straw* untuk *efisiensi* bahan baku. Sehingga apabila terjadi *trouble* pada *heater*, maka secara otomatis motor DC ekstruder akan *off* dan tidak membuat bahan baku terbuang dengan hasil yang tidak sesuai dengan produksi.



BAB II DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

2.1.1. Sistem Kendali Otomasi Berbasis Arduino

1. Artanto, Destian, *Interface Sensor dan Aktuator Menggunakan Proteus, Arduino, dan LabVIEW*, 2017. [10]

Buku ini mengandung petunjuk praktis tentang cara menghubungkan sensor dan aktuator dengan komputer menggunakan Arduino, baik dalam simulasi maupun dalam situasi nyata. Terdapat empat aspek utama yang diperlukan, yaitu visualisasi data sensor, penyimpanan data dari sensor, kendali *aktuator*, dan komunikasi tanpa kabel. Sensor yang digunakan mencakup sensor arah angin, tombol, dan potensiometer, sedangkan aktuator meliputi motor *stepper*, *buzzer*, dan *matriks* LED. Perangkat lunak *Proteus* digunakan untuk melakukan simulasi rangkaian dan mengintegrasikannya dengan komputer. Selanjutnya, perangkat lunak *LabView* digunakan untuk menampilkan data dari sensor dan *aktuator* dalam berbagai format, seperti teks, objek grafis, tabel, dan grafik. Selain itu, *LabView* digunakan untuk menyimpan data secara periodik ke dalam berkas. Setiap tahapan tutorial dalam buku dilengkapi dengan gambar tangkapan layar yang menjelaskan prosesnya, untuk mempermudah pembaca dalam mengikuti instruksi yang diberikan.

2. Kadir, Abdul, *SIMULASI ARDUINO*, 2016. [11]

Di dalam buku ini, dibimbing untuk memahami dunia *Arduino* bahkan jika Anda tidak memiliki *Arduino* fisik. Cara ini dapat dilakukan dengan memanfaatkan aplikasi simulasi bernama *123D Circuits*. Meskipun Anda tidak memiliki berbagai sensor seperti LM35, TMP36, LDR, PIR, dan lainnya, jangan khawatir.

Anda tetap bisa mencoba dan menulis kode seolah-olah Anda memiliki semua sensor tersebut melalui simulasi. Selain itu, Anda akan diajarkan cara memprogram penampil LCD, penampil LED tujuh-*segmen*, dan berbagai jenis motor.

"Sinopsis buku ini menjelaskan bahwa Arduino adalah perangkat keras dan perangkat lunak yang memudahkan siapa pun untuk membuat prototipe rangkaian elektronika berbasis *mikrokontroler* dengan mudah dan cepat.

3. Sendari, Siti, Wirawan, I Made Nasrulloh, Mokhammad, *Sensor Transduser*, 2021. [12]

Di dalam Buku Sensor dan Transduser terdapat Panduan sumber daya yang *komprehensif* dan *informatif* yang membahas berbagai aspek mengenai sensor dan *transduser*. Buku ini dirancang untuk membantu pembaca memahami konsep dasar, aplikasi praktis, dan teknologi terkini dalam dunia sensor dan *transduser*. Dalam buku ini, Anda akan menemukan penjelasan mendalam tentang berbagai jenis sensor dan *transduser* yang digunakan dalam berbagai industri dan aplikasi.

4. S. Noviyani and Sumariyah, "Rancang Bangun Sistem Pengendali Temperatur Dengan *Proporsional, Integral Dan Diferensial (Pid)* Berbasis *Mikrokontroler Arduino Uno*". Jurnal Berskala Fisika Vol. 22, no. 2, pp. 62–67, 2019. Fakultas Sains dan Matematika Universitas Diponegoro. [13]

Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan sistem pengendalian suhu menggunakan metode proporsional-integral-diferensial (PID) berbasis mikrokontroler Arduino Uno, serta mengevaluasi dampak penggunaan kontrol PID pada sistem tersebut. Metode kontrol PID didesain dengan mengidentifikasi karakteristik plant melalui metode Ziegler-Nichols, untuk menentukan parameter-parameter PID, termasuk konstanta proporsional (K_p), konstanta integral (T_i), dan konstanta turunan

(Td). Perangkat keras yang digunakan terdiri dari mikrokontroler Arduino Uno open source yang mendukung PID dan modulasi lebar pulsa (PWM), yang memungkinkan kendali dengan umpan balik dari sensor suhu. Komponen plant terdiri dari lampu pijar dan pengatur cahaya lampu AC. Sistem diimplementasikan menggunakan bahasa pemrograman C melalui perangkat lunak Arduino IDE. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem dapat mencapai tingkat stabilitas terbaik dengan nilai parameter $K_p = 0,015$, $T_i = 101,52$, dan $T_d = 25,38$. Masing-masing parameter ini memiliki peran tersendiri, yaitu K_p untuk mendeteksi kesalahan kecil, T_i untuk menjaga sistem mendekati setpoint, dan T_d untuk mempercepat respons system.

5. R. P. Yunas and A. B. Pulungan, "Sistem Kendali Suhu dan Kelembaban pada Proses Fermentasi Tempe," J. Tek. Elektro Danvokasional, vol. 06, no. 01, pp. 103–113, 2021.[14]

Penelitian ini membuat sebuah alat yang dapat mempercepat dan meningkatkan efisiensi proses pembuatan tempe. Alat ini dirancang untuk mengoptimalkan fermentasi tempe dalam rentang suhu antara 30°C hingga 37°C .

Pada kondisi suhu tersebut, proses fermentasi tempe mentah hingga menjadi tempe matang dapat diselesaikan dalam waktu 18 jam, dengan syarat bahwa tempe yang dihasilkan memiliki karakteristik warna, aroma, dan rasa yang normal. Alat miniatur ini menggunakan sensor DHT11 sebagai komponen kunci dalam pemantauan suhu dan kelembaban. Pengendalian suhu dan kelembaban dilakukan melalui tiga skema yang telah dirancang, yang mengatur besar suhu dan kecepatan kipas serta lokasi penempatan sensor. Ketika suhu dalam ruang fermentasi berada di bawah nilai yang telah ditentukan, sistem akan mengaktifkan lampu; sebaliknya, jika suhu melebihi nilai tersebut, lampu akan

dimatikan. Hal ini bertujuan untuk menjaga suhu dalam ruang fermentasi tetap sesuai dengan yang diinginkan untuk proses optimal.

6. H ISLAM, Hannif Izzatul, et al. Sistem kendali suhu dan pemantauan kelembaban udara ruangan berbasis arduino uno dengan menggunakan sensor dht22 dan passive infrared (pir). In: Prosiding Seminar Nasional Fisika (*E-Journal*). 2016. p. SNF2016-CIP-119-124.[15]

Sistem Kendali Suhu dan Monitoring Kelembaban Ruangan Berbasis Arduino Uno telah berhasil dibuat dengan menggunakan Sensor DHT22 dan *Passive Infrared* (PIR). Sensor DHT22 digunakan untuk mengukur suhu dan kelembaban ruangan, sedangkan sensor *Passive Infrared* (PIR) berfungsi sebagai pendeteksi gerakan manusia dalam ruangan. Dalam eksperimen ini, kami melakukan pengujian terhadap sensitivitas Sensor DHT22 dan termometer digital model AZ-HT-02 terhadap suhu ruangan dengan mengarahkan udara panas dari hairdryer ke sensor selama 3 menit, dengan interval pengukuran setiap 10 detik.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa suhu ruangan yang diukur oleh Sensor DHT22 memiliki rata-rata selisih sebesar 0.93 jika dibandingkan dengan termometer digital model AZ-HT-02 (yang digunakan sebagai referensi kalibrasi). Selain itu, pengujian ini juga menunjukkan bahwa Sensor DHT22 lebih responsif terhadap Perubahan Kelembaban Relatif (RH). Hal ini disebabkan oleh kemampuan sensor DHT22 untuk secara cepat menyesuaikan kelembaban ruangan, berbeda dengan termometer digital AZ-HT-02 yang memerlukan waktu lebih lama untuk menyesuaikan kelembaban udara ruangan.

7. ASMALENI, Pensi; HAMDANI, Dedy; SAKTI, Indra. Pengembangan Sistem Kontrol Kipas Angin Dan Lampu Otomatis Berbasis Saklar Suara Menggunakan Arduino Uno. *Jurnal Kumparan Fisika*, 2020, 3.1 April: 59-66.[16]

Tujuan dari penelitian ini adalah dua pertama (1) merancang sistem pengendalian otomatis untuk kipas angin dan lampu berdasarkan penggunaan saklar suara dengan menggunakan Arduino Uno, dan kedua (2) memproduksi perangkat sistem pengendalian otomatis untuk kipas angin dan lampu berdasarkan saklar suara yang menggunakan Arduino Uno. Metode penelitian yang diterapkan adalah *Research and Development*. Proses pengembangan dalam penelitian ini mencakup tahap perancangan, produksi, dan evaluasi. Sistem pengendalian otomatis kipas angin dan lampu berbasis saklar suara yang menggunakan Arduino Uno terdiri dari komponen elektronik seperti modul *Bluetooth HC-05*, yang berfungsi sebagai antarmuka antara *smartphone Android* dan Arduino Uno, relay yang digunakan sebagai pemutus aliran listrik dan Arduino Uno, yang bertindak sebagai otak dari semua komponen rangkaian tersebut. Modul *Bluetooth HC-05* memiliki jangkauan maksimum hingga 17 meter tanpa ada hambatan, dan 7 meter jika ada hambatan. Hasil dari penilaian isi dan aspek teknis dalam penelitian ini menunjukkan bahwa sistem pengendalian otomatis untuk kipas angin dan lampu berbasis saklar suara yang menggunakan Arduino Uno mencapai tingkat *validitas* sebesar 82,5%, sehingga dapat dikategorikan sebagai baik. Berdasarkan data yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa sistem pengendalian otomatis kipas angin dan lampu berbasis saklar suara dengan menggunakan Arduino Uno memiliki kualitas yang memadai untuk digunakan sebagai pengontrol lampu yang beroperasi dengan suara.

8. HADROMI, Qory; PRABOWO, Yani. SISTEM PENGENDALI TEMPERATUR PADA PANEL SURYA MENGGUNAKAN MEDIA PENYEMPROTAN AIR OTOMATIS BERBASIS *ARDUINO*. *SKANIKA: Sistem Komputer dan Teknik Informatika*, 2018, 1.2: 630-634. [17]

Penelitian ini berisi kendali temperatur pada Panel surya, panel surya ini bekerja dengan mengubah sinar matahari menjadi arus dan tegangan listrik. Namun, panel surya memiliki batas suhu maksimum tertentu, dan jika suhu di sekitar panel surya melebihi batas tersebut, hal ini dapat memengaruhi efisiensi energi yang dihasilkan oleh panel surya. Tegangan dan arus yang dihasilkan oleh panel surya sangat dipengaruhi oleh intensitas sinar matahari dan suhu lingkungan sekitar panel tersebut.

Untuk mengendalikan suhu panel surya dalam penggunaan sehari-hari, digunakan sebuah sistem kendali yang memanfaatkan *mikrokontroler Arduino Uno*. Sensor suhu yang digunakan dalam sistem ini adalah DHT 11. Sistem ini akan mengatur penyiraman air ke panel surya jika suhu udara di sekitarnya melewati batas *35 derajat Celsius*.

9. KURNIANTO, Danny; HADI, Abdul Mujib; WAHYUDI, Eka. Perancangan sistem kendali otomatis pada *smart home* menggunakan modul *arduino uno*. *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, 2016, 5.2: 260-270. [18].

Kini, banyak peneliti tertarik dalam mengkaji topik *efisiensi, efektivitas, dan penghematan energi listrik*. Terdapat banyak proposal model teknologi yang diajukan untuk meningkatkan penggunaan energi listrik yang lebih efisien dan ekonomis bagi keperluan masyarakat. Salah satu contohnya adalah teknologi *Smart Home*. Dalam penelitian ini, *Smart Home* diusulkan

dengan pengendalian terpusat yang dilakukan oleh sebuah *mikrokontroler Arduino Uno*. *Mikrokontroler* ini mampu mendeteksi sinyal dari dua sensor *magnetik* yang ditempatkan di pintu masuk. Berdasarkan sinyal dari kedua sensor *magnetik* tersebut, *mikrokontroler* mengontrol berbagai perangkat seperti lampu ruangan, kipas angin, perangkat pengusir nyamuk, dan juga menampilkan informasi pada layar LCD. Sistem ini akan beroperasi secara otomatis ketika ada seseorang yang masuk ke dalam rumah. Lampu ruangan akan menyala secara otomatis, kipas angin akan berfungsi sesuai dengan suhu ruangan, dan perangkat pengusir nyamuk akan bekerja secara otomatis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa model *Smart Home* yang diusulkan berhasil beroperasi sesuai dengan perancangan yang telah dibuat, dengan tingkat keberhasilan mencapai 100%."

10. SUWANDI, Asep; MAHFUD, Ahmad; RANTAWI, Azhar Basyir. *Prototype Sistem Kendali Otomatis Pengiriman (Dispatch) CPO di Storage Tank Berbasis Arduino Uno R3*. In: SEMNASTERA (Seminar Nasional Teknologi dan Riset Terapan). 2019. p. 98-104.[19]

Storage tank berperan sebagai tempat penampungan sementara minyak produksi sebelum pengirimannya. Di pabrik kelapa sawit, proses *Dispatch CPO* adalah tahap di mana minyak CPO diisi ke dalam truk tangki pengangkut. Pada tahap ini, operator bertugas membuka dan menutup katup pengeluaran minyak dari *storage tank* secara manual. Untuk meningkatkan efisiensi pengukuran selama proses *dispatch*, kami merancang sebuah prototipe yang menggunakan sistem kendali otomatis berbasis *mikrokontroler*. *Mikrokontroler* ini dipasang untuk mengontrol pembukaan katup *dispatch* dan juga mengendalikan suhu. Dalam prototipe ini, terdapat sensor suhu, sensor aliran, dan katup bola (*ball valve*). Kami juga membuat program yang

diunggah ke *mikrokontroler* Arduino. Program ini berisi bahasa pemrograman yang dapat mengirim dan menerima sinyal dari pengontrol yang telah diunggah programnya. Program tersebut mencakup pembacaan sensor suhu, sensor aliran, dan pengaktifan modul relay. Sistem yang kami jalankan berhasil mencapai tingkat ketelitian pengukuran suhu sebesar 94,53% dan tingkat ketelitian sensor aliran sebesar 86,93%."

11. SETIAWAN, Dean. Sistem Kendali Suhu Udara Dan Kelembaban Tanah pada *Miniatur Green House* Dengan Menggunakan Mikrokontroler Atmega 328. *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik Elektro*, 2016, 1.1.[20]

Rumah kaca, yang juga dikenal sebagai *greenhouse*, adalah sebuah struktur bangunan yang dirancang untuk memanfaatkan sinar matahari guna mendukung pertumbuhan tanaman dengan kondisi yang optimal sesuai dengan kebutuhan. Selain itu, perawatan tanaman dalam rumah kaca melibatkan pengaturan faktor-faktor seperti intensitas sinar matahari, suhu, dan tingkat kelembaban yang diperlukan. Secara umum, sistem otomatis untuk mengendalikan suhu udara dan kelembaban tanah dalam rumah kaca menggunakan *mikrokontroler Arduino Uno*. Proyek ini terbagi menjadi dua komponen utama, yaitu perancangan perangkat keras (*hardware*) dan perancangan perangkat lunak (*software*). *Mikrokontroler Arduino Uno* bertanggung jawab mengatur seluruh operasi *miniature* rumah kaca secara otomatis.

12. HANDAYANI, Yanolanda Suzantry; MARDIANA, Yessi. *Mobil Remote Control* Berbasis *Arduino* Dengan Sistem Kendali Menggunakan *Android*. In: *Prosiding SAKTI* (Seminar Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi). 2018. p. 151-158.[21]
- Sistem Operasi *Android* merupakan sebuah sistem operasi berbasis *Linux* yang bersifat *open source*, memberikan kemudahan bagi pengembang aplikasi untuk menciptakan

aplikasi mereka sendiri. Aplikasi *Boarduino Total Control* adalah aplikasi yang digunakan untuk mengontrol *Arduino* melalui perangkat *Android*. *Mobil Remote Control* adalah konstruksi yang memiliki ciri khas, yaitu dilengkapi dengan *actuator* berupa roda yang memungkinkan robot tersebut berpindah dari satu titik ke titik lainnya. Pengendalian *Mobil Remote Control* dilakukan melalui sebuah *smartphone Android* yang menggunakan aplikasi yang sesuai untuk menggerakkan robot. *Arduino Uno* digunakan sebagai perantara antara perangkat dan *smartphone Android* serta berkomunikasi melalui koneksi *Bluetooth*. Perintah yang diberikan melalui *smartphone Android* dengan aplikasi *Boarduino* menggerakkan *Mobil Remote Control*.

Hasil analisis pengujian *Mobil Remote Control* berbasis *Arduino* dengan kendali menggunakan *Android* menunjukkan bahwa sistem ini menggunakan *Arduino Uno* sebagai mikrokontroler, dan modul *Bluetooth HC-05* untuk menerima perintah dari *smartphone Android*. Motor DC digunakan untuk menggerakkan mobil, yang dikendalikan melalui aplikasi *Boarduino* yang diunduh dari *Playstore*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa koneksi *Bluetooth* memiliki jangkauan hingga 25 meter, dengan penurunan kualitas sinyal di antara 25 hingga 32 meter, dan koneksi terputus ketika jarak lebih dari 32 meter, sehingga *Mobil Remote Control* tidak dapat dikendalikan lagi.

2.1.2. Sistem Kendali Otomasi Berbasis Logika *Fuzzy*

1. NABA, DR Eng Agus. Tutorial Cepat & Mudah *Fuzzy Logic* dengan *Matlab*. Agus Naba, 2009.[22]

Dengan menggunakan konsep *fuzzy logic*, kemampuan berpikir yang biasanya terkait dengan manusia telah dengan mudah diimplementasikan ke dalam berbagai perangkat seperti robot,

komputer, serta peralatan elektronik sehari-hari seperti mesin cuci, kamera, dan *microwave*. *MATLAB* menyediakan *Fuzzy Logic Toolbox* yang berisi beragam fungsi yang dapat digunakan secara instan untuk merancang dan membangun sistem *fuzzy*. Untuk individu yang tidak memiliki latar belakang komputer, *MATLAB* juga menyediakan *Graphical User Interface* (GUI) yang merupakan alat interaktif yang dirancang khusus untuk memudahkan perancangan sistem *fuzzy logic*, bahkan bagi pemula. Buku ini akan memberikan panduan langkah demi langkah yang sederhana dan cepat untuk memahami konsep *fuzzy logic*. Selain itu, Anda akan dapat menguasai penggunaan *MATLAB*, terutama dalam penggunaan *Fuzzy Logic Toolbox*, karena buku ini akan memandu Anda melalui langkah-langkah yang melibatkan interaksi langsung *dengan MATLAB*. Dengan buku ini, Anda akan memiliki kemampuan dan kesiapan untuk merancang sendiri sistem *fuzzy logic* yang sesuai dengan aplikasi dalam bidang Anda.

2. PUTRA, Achmad Rochman; YUDANINGTYA, Erni; GOEGOES DWI, N. Sistem Pengendalian Suhu Pada Tungku Bakar Menggunakan Kontrol Logika Fuzzy. Jurusan Teknik Elektro–Universitas Brawijaya, Malang, 2013.[23]

Pengendalian suhu dalam tungku pembakaran biasanya dilakukan dengan memutar katup secara manual berdasarkan pengamatan warna api, tetapi ini seringkali menyebabkan tingkat kesalahan yang tinggi. Untuk mengatasi masalah ini, digunakan metode kontrol *logika fuzzy* agar kesalahan dapat dikurangi, sehingga suhu dalam tungku dapat lebih akurat sesuai dengan yang diinginkan. Dalam pengujian menggunakan kontroler *logika fuzzy*, metode *fuzzifikasi* yang digunakan adalah metode *minmax*, sementara metode *defuzzifikasi* menggunakan metode *center of gravity* (COG). Hasil dari pengujian ini

menghasilkan persentase error yang bervariasi, yaitu 1.652408% pada detik 0-4500, -0.01049% pada detik 4500-5400, 1.051091% pada detik 5400-8640, -0.11519% pada detik 8640-9000, dan secara keseluruhan sistem memiliki error sebesar 1.201615%.

3. ANTONY, Heriyanto, et al. Sistem Otomasi Rumah Berbasis Logika *Fuzzy* Menggunakan *Arduino Uno R3* untuk Mengoptimalkan Penggunaan Listrik. *Jurnal Tematika*, 2017, 5.1: 17-25.[24].

Penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem otomatisasi rumah dengan tujuan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik. Sistem otomatisasi rumah ini mencakup empat fitur utama, yakni kontrol otomatis, kontrol manual, kontrol berdasarkan kebiasaan penghuni, dan kontrol adaptif berdasarkan *logika fuzzy Tsukamoto*. Fungsi *logika fuzzy Tsukamoto* digunakan untuk menghitung suhu yang harus diatur oleh AC, dengan mempertimbangkan data masukan dari sensor LM35 yang terpasang di dalam dan di luar ruangan. Hal ini bertujuan agar suhu yang dihasilkan oleh AC tetap nyaman tanpa terlalu panas atau terlalu dingin. Selain sensor LM35, sistem otomasi rumah ini juga menggunakan tiga sensor lainnya, yaitu sensor PIR, sensor LM35, dan sensor LDR, yang digunakan sebagai sumber data masukan untuk sistem. Sistem otomasi rumah ini bertujuan untuk mengendalikan peralatan listrik seperti pendingin ruangan dan pencahayaan secara optimal.

4. MAULANA, Vhickey. SISTEM KENDALI Pengereman Otomatis pada Sepeda Motor Berbasis Pengukuran Jarak Menggunakan Metode *Fuzzy*. 2019. PhD Thesis. University of Technology Yogyakarta.[25]

Dalam tugas akhir ini, telah dikembangkan sebuah sistem pengendalian pengereman pada roda sepeda motor menggunakan *logika fuzzy*. Sistem ini terdiri dari komponen-komponen seperti rangkaian pengereman sepeda motor, mikrokontroler *Arduino Uno ATmega328*, rangkaian sensor jarak, rangkaian motor *servo*, dan rangkaian motor DC. Logika *fuzzy* yang diterapkan dalam sistem ini adalah *Fuzzy Mamdani*. Input untuk pengendalian logika *fuzzy* adalah sinyal jarak, dan output dari kendali logika *fuzzy* adalah nilai sudut motor *servo* untuk mengatur pengereman serta nilai kecepatan putaran roda untuk mencapai kecepatan yang diinginkan. Dengan menggunakan kendali logika *fuzzy*, setiap variabel input dan output disesuaikan dengan 5 fungsi keanggotaan. Proses *fuzzyfikasi* menggunakan metode *Mean of Maximum*. Hasil yang berhasil dicapai adalah sistem pengereman sepeda motor yang dapat beroperasi secara otomatis ketika jarak antara sepeda motor dan objek di depan mencapai 100 cm, sehingga pengereman pada sepeda motor dapat dilakukan dengan efisien.

5. GAFUR, Abd; PK, Iradiratu Diah; DEWANTARA, Belly Yan. RANCANG BANGUN KENDALI KECEPATAN MOTOR BERBASIS LOGIKA FUZZY UNTUK SISTEM PROPULSI ELEKTRIK PADA KAPAL MENGGUNAKAN PULSE WIDTH MODULATION (PWM). MEDIA ELEKTRIKA, 2020, 13.1: 24-32.[26]

Sistem propulsi kapal mengacu pada mekanisme yang mengatur putaran baling-baling kapal. Saat ini, motor induksi tiga fasa telah menjadi pilihan utama untuk kendaraan listrik, termasuk mobil listrik dan sebagai sistem propulsi pada kapal. Namun, motor induksi memiliki kelemahan yang perlu diatasi, yaitu kesulitan dalam mengendalikan kecepatannya karena sifatnya yang tidak linier. Motor induksi sebenarnya beroperasi pada

kecepatan yang tetap, dan perubahan beban akan mempengaruhi kecepatan motor.

Oleh karena itu, dalam penelitian ini, kami mengembangkan sebuah alat kendali berbasis logika *fuzzy* untuk mengatur kecepatan motor pada sistem propulsi listrik kapal menggunakan teknik *pulse width modulation* (PWM). Untuk mengevaluasi kinerja alat ini, kami melakukan beberapa pengujian. Pengujian pertama membandingkan respons kecepatan motor dengan menggunakan logika *fuzzy* dan tanpa logika *fuzzy*. Hasilnya menunjukkan bahwa, dalam kondisi tanpa kontrol logika *fuzzy*, waktu yang diperlukan untuk mencapai kecepatan stabil rata-rata adalah 23 detik, sementara dengan penggunaan kontrol logika *fuzzy*, waktu yang dibutuhkan adalah 17 detik. Selain itu, rata-rata nilai kesalahan (*error*) kecepatan stabil tanpa penggunaan kontrol logika *fuzzy* adalah sekitar 97 rpm, sedangkan dengan penggunaan kontrol logika *fuzzy*, rata-rata nilai kesalahan adalah sekitar 78 rpm. Untuk waktu yang dibutuhkan mencapai kecepatan maksimum, tanpa logika *fuzzy* adalah sekitar 4 detik, sedangkan dengan penggunaan kontrol logika *fuzzy* memerlukan waktu rata-rata 2 detik.

6. YUNARDI, Ricky Tri, et al. Pengembangan Sistem Kontrol dan Pemantauan Tetesan Cairan Infus Otomatis Berbasis *Labview* dengan Logika *Fuzzy*. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 2018, 5.4.[27]

Dalam bidang instrumentasi medis, infus adalah alat yang digunakan untuk mengatur aliran cairan, obat, atau nutrisi ke dalam tubuh secara intravena. Fungsi utama dari alat infus adalah memberikan cairan secara berkala kepada pasien. Saat ini, pengendalian kecepatan aliran cairan infus masih dilakukan secara manual oleh tenaga medis. Masalah yang sering muncul adalah adanya kemungkinan penyumbatan atau kehabisan cairan

infus, yang jika tidak segera ditangani dapat menjadi risiko bagi pasien.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan prototipe sistem otomatis untuk mengendalikan dan memantau aliran cairan infus. Dalam penelitian ini, kami menggunakan perangkat *LabVIEW National Instruments* untuk memantau laju aliran cairan infus. Sistem kontrol menggunakan logika *Fuzzy* dan diimplementasikan melalui *mikrokontroler* berbasis *ATmega*. Sistem ini dilengkapi dengan pompa udara, motor *stepper*, dan sensor aliran cairan. Hasil pengujian dari prototipe sistem pemantauan aliran cairan infus secara otomatis menunjukkan tingkat keberhasilan sebesar 96,75% dengan target aliran sebanyak 20 tetes dalam waktu 1 menit.

7. PRATIWI, Reni; WARIS, Abdul; SALENGKE, Salengke. Rancang Bangun Sistem Kendali Kecepatan Putaran Motor Dc Berbasis Logika *Fuzzy* Untuk Mesin Pengaduk Hasil Pertanian (Studi Kasus Pengadukan Biji Kedelai). *Jurnal Agritechno*, 2019, 44-55.[28]

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem kontrol kecepatan motor DC yang memiliki kinerja yang optimal untuk mesin pengaduk yang digunakan oleh UKM Arbi. Metode penelitian ini melibatkan langkah-langkah seperti identifikasi masalah, studi literatur, perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, serta pengujian dengan menggunakan biji kedelai sebagai beban. Pengujian dilakukan dengan mengatur kecepatan target pada 130 rpm, 190 rpm, dan 252 rpm, dengan beban sebesar 2.23 Nm dan 3.73 Nm.

Hasil pengujian tanpa penggunaan sistem kontrol menunjukkan bahwa motor tidak mampu mencapai kecepatan target pada ketiga setting kecepatan tersebut. Namun, ketika menggunakan sistem kontrol logika *fuzzy*, motor mampu mencapai kecepatan

target dengan lancar, mengalami peningkatan kecepatan secara bertahap (*softstarting*), tanpa terjadinya *overshoot* atau lonjakan arus yang berlebihan, tidak memiliki *offset*, dan menghasilkan kinerja sistem kontrol yang stabil.

8. YAZID, Edwar. Penerapan kendali cerdas pada sistem tangki air menggunakan logika *fuzzy*. Jurnal Fisika Himpunan Fisika Indonesia, 2009, 9.2: 11-23.[29]

Dalam penelitian ini, dilakukan implementasi kendali cerdas menggunakan logika *fuzzy* pada sistem tangki air. Sistem yang dikendalikan merupakan model dari proses kontrol yang melibatkan satu sensor dan satu aktuator pada tangki air. Kendali logika *fuzzy* dalam penelitian ini dirancang dan diterapkan dengan tujuan membuat ketinggian air mengikuti perubahan ketinggian air referensi sesegera mungkin dan menjaga agar ketinggian air selalu mendekati ketinggian air referensi, meskipun ada variasi lingkungan.

Proses perancangan kendali logika *fuzzy* dilakukan dengan menggunakan nilai *error* (e) dan perubahan *error* (de) dalam ketinggian air yang diukur oleh sensor, sedangkan hasil kendali adalah tegangan masukan untuk menggerakkan motor pompa (u). Dalam konteks *matematis*, operasi *fuzzy set* dan aturan *fuzzy* digunakan pada input dan output ini untuk meminimalkan nilai *error* dan perubahan *error*.

Hasil *eksperimen* menunjukkan bahwa kendali logika *fuzzy* menggunakan 7 *set fuzzy* untuk input *error*, 3 *set fuzzy* untuk perubahan *error*, dan 21 aturan *fuzzy* untuk mengatur tindakan kendali. Sebagai hasilnya, *error "steady state"* yang dihasilkan lebih kecil sebesar 37.5% dibandingkan dengan pengendali konvensional PI (*Proporsional dan Integral*) yang digunakan sebagai pembanding. Meskipun *respons* terhadap variasi

ketinggian air cukup cepat, kendali logika *fuzzy* sedikit lebih lambat sekitar 55.5% dibandingkan dengan pengendali PI.

9. AMRI, MUTIARA NISA. Pengaruh pengendalian suhu berbasis logika *fuzzy* dan kecepatan pengadukan pada *evaporator vakum double jacket* terhadap karakteristik fisik permen susu. Jurnal Bioproses Komoditas Tropis, 2015, 3.2: 9-16.[30]

Permen susu merupakan produk yang dihasilkan dari pengolahan susu dan gula, yang melibatkan proses *karamelisasi* yang memerlukan suhu tinggi. Salah satu inovasi teknologi dalam meningkatkan kualitas produk pangan adalah penggunaan rekayasa penurunan tekanan hingga di bawah 1 atm (*vakum*). Penurunan tekanan ini memiliki dampak pada penurunan titik lebur *sukrosa* menjadi di bawah 140°C. Kontrol suhu dan kecepatan pengadukan dalam proses pembuatan permen susu bertujuan untuk mencegah terbentuknya kekosongan dalam permen serta untuk meningkatkan nilai gizi dari produk permen susu.

Dalam penelitian ini, diterapkan sistem kontrol cerdas berbasis logika *fuzzy* untuk mengendalikan suhu. Penggunaan profil suhu berbasis kontrol *fuzzy* memberikan hasil dengan profil suhu yang lebih stabil dan tingkat kesalahan yang lebih rendah. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi dampak dari pengendalian suhu berbasis logika *fuzzy* dan kecepatan pengadukan terhadap karakteristik fisik permen susu. Percobaan ini melibatkan dua faktor, yaitu suhu (80, 85, 90°C) dan kecepatan pengadukan (150, 300, 450 RPM).

Hasil analisis menunjukkan bahwa perlakuan terbaik terjadi pada suhu 85°C dan kecepatan pengadukan 300 RPM, dengan kadar air sebesar 6.61%, tekstur sebesar 3.53%, kadar abu sebesar 1.87%, warna (B) sebesar 464.0, dan pH sebesar 7.0. Selain itu, analisis kandungan gizi permen susu mengungkapkan

bahwa produk ini mengandung protein sebanyak 6.47%, lemak sebanyak 7.81%, dan karbohidrat sebanyak 77.23%.

10. ROHAYANI, Hetty. Analisis sistem pendukung keputusan dalam memilih program studi menggunakan metode logika *fuzzy*. JSI: Jurnal Sistem Informasi (E-Journal), 2013, 5.1.[31]

STIKOM Dinamika Bangsa Jambi merupakan sebuah perguruan tinggi yang saat ini sedang mengalami perkembangan di Provinsi Jambi. Tertariknya sejumlah calon mahasiswa untuk mendaftar di perguruan tinggi ini terus meningkat. Oleh karena itu, pihak akademik perlu melakukan seleksi calon mahasiswa dengan cepat dan lebih cermat. Tujuannya adalah agar pihak akademik dapat memutuskan apakah seorang calon mahasiswa cocok untuk diterima di salah satu Program Studi yang ada atau tidak. Dalam pemilihan Program Studi, penting untuk mempertimbangkan minat dan bakat calon mahasiswa.

Dalam rangka mencapai tujuan tersebut, logika *fuzzy* digunakan sebagai metode untuk menghasilkan keputusan berdasarkan berbagai input. Beberapa metode logika *fuzzy* yang diterapkan dalam penelitian ini meliputi metode *Fuzzy Multi-Attribute Decision Making* (FMADM) dan metode *Fuzzy Multi-Criteria Decision Making* (FMACM). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sistem pendukung keputusan yang dapat memberikan alternatif Program Studi terbaik. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk membandingkan hasil antara kedua metode tersebut dalam proses pemilihan Program Studi.

11. NASUTION, Hefi. *Implementasi Logika Fuzzy pada Sistem Kecerdasan Buatan*. jurnal ELKHA, 2012, 4.2..[32]

Makalah ini bertujuan untuk memberikan pemahaman mengenai logika *fuzzy*. Logika *fuzzy* telah dikenal dan digunakan dalam berbagai bidang oleh para ahli dan insinyur selama bertahun-tahun. Awalnya, logika *fuzzy* digunakan dalam sejumlah bidang

seperti diagnosa penyakit (dalam bidang kedokteran), pemodelan sistem pemasaran, riset operasi (dalam bidang ekonomi), pengendalian kualitas air, prediksi gempa, klasifikasi, dan pengenalan pola (dalam bidang teknik). Penggunaan logika fuzzy juga telah diterapkan dalam bidang sistem tenaga, termasuk *analisis probabilitas*, prediksi dan pengendalian beban, identifikasi kesalahan pada generator, dan perencanaan jadwal perawatan generator. Makalah ini akan menjelaskan lebih lanjut tentang penerapan logika *fuzzy* dalam bidang kecerdasan buatan.

2.1.3. Mesin *Extruder Straw*

1. FATONI, Mahrus Ali. Perancangan dan *Fabrikasi Mesin Single Screw Extruder* untuk Daur Ulang Plastik pada *Filament Feed 3D Printing*. 2019. PhD Thesis. Institut Teknologi Kalimantan.[33]

Bahan mentah yang sering digunakan dalam proses pencetakan 3D adalah polimer seperti *Acrylonitrile Butadine Styrene* (ABS) dan *Polylactic Acid* (PLA), yang termasuk dalam kategori polimer termoplastik yang memiliki harga relatif mahal. Di sisi lain, ada polimer termoplastik lain yang umumnya menjadi sampah dalam kehidupan sehari-hari, seperti *Low-Density Polyethylene* (LDPE). Salah satu pendekatan yang dapat mengatasi masalah ini adalah dengan menggunakan mesin ekstrusi.

Penelitian ini memiliki tujuan untuk merancang sebuah mesin ekstrusi dengan satu sekrup tunggal (*single screw extruder*) yang memiliki kapasitas produksi sebesar 1,2 kilogram per jam. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengkaji bagaimana suhu memengaruhi hasil ekstrusi dengan menggunakan bahan daur ulang LDPE. Dalam proses

pembuatan mesin ekstrusi satu sekrup tunggal ini, data awal mengenai desain mesin diperoleh, dan kemudian dilakukan penyesuaian skala untuk mendapatkan geometri desain mesin ekstrusi yang sesungguhnya.

Hasil yang diperoleh setelah penyesuaian skala mencakup panjang bagian pengumpan (*feed section*) sekitar 184,61 milimeter, panjang bagian kompresi (*compression section*) sekitar 207,69 milimeter, panjang bagian pengukur (*metering section*) sekitar 207,69 milimeter, lebar saluran (*channel width*) sekitar 48,2 milimeter, dan lebar *heliks* (*flight width*) sekitar 4,8 milimeter. Pengaruh suhu pada hasil ekstrusi menunjukkan bahwa filament yang dapat ditarik berhasil dihasilkan pada suhu antara 165°C hingga 170°C dan 185°C hingga 190°C, sedangkan suhu antara 205°C hingga 210°C menghasilkan produk yang tidak dapat ditarik.

2. OKATAMA, Irvan. Analisa Peleburan Limbah Plastik Jenis *Polyethylene Terphthalate (Pet)* Menjadi Biji Plastik Melalui Pengujian Alat Pelebur Plastik. *Jurnal Teknik Mesin (JTM)*, 2016, 5.3: 110 [34]

Secara umum, botol plastik yang telah digunakan dapat diolah kembali untuk menjadi barang yang serupa dengan keadaan awalnya. Plastik dapat dikelompokkan secara garis besar menjadi dua jenis, yaitu *thermoplastic* yang dapat dengan mudah dibentuk ulang dan diubah menjadi bentuk lain, serta *thermoset* yang setelah digunakan tidak bisa diproses kembali. Jenis plastik *Polyethylene Telephthalate (PET)* merupakan pilihan terbaik untuk pembuatan botol minuman ringan yang bersoda atau berkarbonasi.

Untuk meleburkan plastik ini, digunakan alat pemanas yang terdiri dari *Heater Band* dan *Heater Nozzle* dengan suhu mencapai antara 100°C hingga 300°C. Kapasitas produksi

potongan plastik dari proses ini bisa mencapai 1 kilogram. Plastik *Polyethylene Telephthalate (PET)* akan mulai melunak pada suhu 180°C dan sepenuhnya mencair pada suhu 200°C.

Pada saat menguji alat ini dengan berbagai berat plastik yang berbeda, seperti 100 gram, 200 gram, dan 300 gram, waktu yang dibutuhkan bervariasi. Proses peleburan memakan waktu 615 detik untuk 100 gram, 723 detik untuk 200 gram, dan 870 detik untuk 300 gram. Selama proses peleburan, terjadi penyusutan bahan plastik yang berkisar antara 35 gram hingga 80 gram.

3. SURYANA, Tatang. Desain Modifikasi *Screw Extruder* Untuk Meningkatkan *Outflow* Yang Optimal Dan Meninimalkan Cacat Produk Pada Plastik. *Teknobiz: Jurnal Ilmiah Program Studi Magister Teknik Mesin*, 2019, 9.1: 19-27 [35].

Screw, sebagai komponen utama dalam mesin ekstrusi plastik, memiliki peran kunci sebagai poros pendorong, pemotong, dan pengaduk dalam *barrel* mesin tersebut. Masalah yang sering dihadapi oleh industri plastik adalah tingginya tingkat produk yang tidak memenuhi standar atau dikenal sebagai "*rejeck*" atau produk cacat. Penelitian telah mengungkapkan bahwa masalah kegagalan produk ini disebabkan oleh masukkan bahan yang kurang memadai ke dalam cetakan, serta perlunya melakukan perubahan *desain* pada *screw*, karena *screw* merupakan komponen inti dari mesin *ekstruder*.

Modifikasi yang telah dilakukan pada *screw* mencakup berbagai aspek seperti *desain* pengaduk, sirip penghalang, kedalaman *kanal*, dan sudut *helix*. Tujuannya adalah untuk meningkatkan hasil produksi, terutama pada mesin yang sudah berusia lama dan sering menghasilkan produk cacat seperti bolong, sobek, atau produk dengan dimensi yang tidak sesuai.

Hasil dari *screw* yang telah dimodifikasi ini telah diuji di pabrik menggunakan bahan plastik jenis ABS dan PP. Hasil pengujian

menunjukkan bahwa pada *screw* konvensional dengan putaran 60 rpm, keluaran yang dihasilkan sekitar $151 \times 10^{-4} \text{m}^3/\text{s}$, dengan tekanan maksimum mencapai 239,1MPa, dan *viskositas* 98 Pa.s. Ketika putaran ditingkatkan menjadi 120 rpm, keluaran meningkat menjadi sekitar $302 \times 10^{-4} \text{m}^3/\text{s}$, dengan tekanan maksimum mencapai 478,2 MPa, dan *viskositas* tetap 98 Pa.s.

Pada *screw* yang telah *dimodifikasi* dengan putaran 60 rpm, keluaran mencapai sekitar $190 \times 10^{-4} \text{m}^3/\text{s}$, dengan tekanan maksimum sekitar 187,68MPa, dan *viskositas* tetap 98 Pa.s. Ketika putaran dinaikkan menjadi 120 rpm dengan *screw* yang telah *dimodifikasi*, keluaran mencapai sekitar $380 \times 10^{-4} \text{m}^3/\text{s}$, dengan tekanan maksimum mencapai 375,36 MPa, dan *viskositas* tetap 98 Pa.s. Hasil pengamatan menunjukkan perbedaan yang sangat signifikan antara kedua sampel uji, dengan penggunaan *screw* yang telah *dimodifikasi* menghasilkan keluaran sekitar 27% lebih besar dibandingkan dengan penggunaan *screw* konvensional pada putaran yang sama.

4. ISKANDAR, Dodi; SUNARYA, Aditya Sumardi; ANANTO, Gamawan. Rancang Bangun *Filament Extruder Machine* Dengan Pemanfaatan Limbah Plastik Jenis *Low Density Polyethylene* Sebagai Bahan Baku 3D Printer. J. Publ. Politek. Manufaktur Bandung, 2019 [36].

Sampah, juga dikenal sebagai *waste* dalam bahasa *Inggris*, memiliki banyak definisi dalam berbagai bidang ilmu. Namun, secara umum, sampah merujuk kepada materi yang dibuang baik dari aktivitas manusia maupun alam dan belum memiliki nilai ekonomis. Salah satu jenis sampah yang dapat didaur ulang adalah bahan plastik *Low Density Polyethylene*, yang dapat diolah menjadi plastik *filament extruder*. Hasil dari proses *filament extruder* ini adalah sebuah *filament* yang digunakan

sebagai bahan baku untuk 3D Printer. Sebelumnya, penelitian telah dilakukan dan berhasil menghasilkan filament dengan baik, namun ada masalah dengan ketidakstabilan diameter filament karena kurangnya pengendalian kecepatan pada *filament puller*. Oleh karena itu, dalam penelitian ini, dilakukan penambahan pengendalian pada *filament puller* untuk mengatasi masalah tersebut.

Proses dalam sistem ini melibatkan pendinginan *filament* yang keluar dari *extruder* menggunakan kipas, diikuti dengan pengukuran diameter menggunakan *digital caliper*. Selanjutnya, *filament* ditarik oleh motor *puller* yang berfungsi untuk menjaga diameter tetap stabil dengan mengendalikan kecepatan berdasarkan pembacaan *digital caliper*. Setelah itu, *filament* dimasukkan ke dalam bak air untuk pendinginan sebelum digulung. Proses penggulangan melibatkan pengaturan kecepatan motor menggunakan tuas sebagai pengontrol kecepatan, sementara *slider* digunakan untuk mengarahkan *filament* selama proses penggulangan. Untuk memastikan akurasi pembacaan, sensor *thermocouple* digunakan untuk membandingkan dengan nilai yang dibaca oleh digital thermometer. Hasilnya menunjukkan bahwa sensor *thermocouple* mampu membaca temperatur dengan akurasi sekitar 1.0%. Pengendalian On/Off digunakan untuk mengatur suhu. Pengukuran diameter *filament* menggunakan sensor digital *caliper* dengan tingkat kesalahan pembacaan sebesar 1.1%. *Filament puller* dalam sistem ini berhasil menjaga hasil ekstrusi dengan rata-rata diameter *filament* sekitar 1.7 mm.

5. IRAWAN, Dani; BISONO, Rahayu Mekar. Rancang bangun *prototype* mesin ekstrusi polimer *single screw*. In: Prosiding Seminar Nasional Multidisiplin. 2018. p. 13-19 [37].

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membuat mesin ekstrusi *single screw* yang akan digunakan sebagai alat pembelajaran dalam memahami proses ekstrusi di Jurusan Teknik Mesin Politeknik Kediri. Dalam penelitian ini, variasi temperatur proses digunakan untuk mempengaruhi temperatur melting, tetapi dengan putaran mesin yang tetap, yang pada akhirnya akan menghasilkan karakteristik bentuk produk yang berbeda. Variasi temperatur proses ini mencakup temperatur 165°C dan temperatur 185°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk mesin ekstrusi *single screw*, temperatur proses yang paling sesuai adalah sekitar 185°C, yang dinilai berdasarkan bentuk dan dimensi ekstruder sebagai parameter keberhasilan.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Arduino uno

Arduino adalah suatu papan *sirkuit mikro* yang berdiri sendiri dan terbuka untuk penggunaan dan pengembangan umum. Ini berasal dari *platform* perangkat keras yang disebut *Wiring* dan dirancang untuk menyediakan solusi yang lebih sederhana bagi para penggemar elektronik dalam berbagai konteks. Arduino memiliki perangkat keras dengan *prosesor* yang didukung oleh perangkat lunak yang memiliki bahasa pemrograman tersendiri, yang dikenal sebagai bahasa Arduino.[38]

Arduino Uno R3 adalah suatu papan *mikrokontroler* yang menggunakan basis ATmega328 dan memiliki kapasitas penyimpanan sebesar 32 *kilobyte*. Papan Arduino Uno bekerja dalam rentang tegangan antara 5 hingga 12 *Volt*. Arduino Uno memiliki total 20 pin Input/Output yang terdiri dari 14 pin digital dan 6 pin input analog. Papan Arduino Uno menyediakan semua yang

diperlukan untuk mendukung *mikrokontroler*, dan dapat dengan mudah dihubungkan ke komputer menggunakan kabel USB, atau diberi daya melalui adaptor AC ke DC atau bahkan menggunakan baterai. ATmega328 yang ada di Arduino Uno telah dilengkapi dengan *bootloader* yang memungkinkan pengguna untuk mengunggah kode baru ke ATmega328 tanpa memerlukan perangkat keras eksternal tambahan.[38]



Gambar 2. 1.Arduino Uno

2.2.2. Logika *Fuzzy*

Logika *fuzzy* adalah bentuk logika yang memungkinkan adanya nilai keanggotaan di antara benar dan salah. Dalam logika *fuzzy*, suatu nilai dapat memiliki tingkat kebenaran dan kesalahan secara simultan. Namun, sejauh mana tingkat kebenaran dan kesalahan dari suatu pernyataan tergantung pada bobot keanggotaan yang diberikan padanya[39].

Logika *fuzzy* merupakan sebuah pendekatan dalam pemecahan masalah sistem kontrol yang dapat diadopsi dalam berbagai jenis sistem, mulai dari sistem sederhana, sistem kecil, *embedded system*, jaringan PC, sistem *multi channel*, hingga sistem berbasis *akuisisi data* dan kontrol. Pendekatan ini dapat diterapkan baik pada perangkat keras, perangkat lunak, maupun kombinasi keduanya.[39]

Dalam logika klasik, segala sesuatu diungkapkan dalam format biner, yang hanya memiliki dua nilai mutlak, seperti "ya atau tidak," "benar atau salah," atau "baik atau buruk," dengan nilai keanggotaan

yang selalu menjadi 0 atau 1. Dalam logika fuzzy, nilai-nilai tersebut dapat berada dalam rentang antara 0 dan 1. Dengan kata lain, suatu pernyataan dapat memiliki kedua nilai "ya atau tidak," "benar atau salah," atau "baik atau buruk" secara bersamaan, namun besarnya nilai tersebut bergantung pada bobot keanggotaan yang diberikannya. Logika *fuzzy* memiliki aplikasi yang luas, termasuk dalam bidang sistem diagnosis penyakit, pemodelan sistem pemasaran, riset operasi, kendali pengairan, prediksi gempa, serta klasifikasi dan pencocokan pola.[39]

2.2.2.1. Himpunan *Fuzzy*

Himpunan fuzzy adalah sekelompok elemen yang menggambarkan suatu kondisi atau situasi tertentu dalam suatu variabel fuzzy. Himpunan fuzzy terdiri dari dua karakteristik atau ciri, yakni:

a. *Linguistik*

Linguistik Merupakan penggunaan bahasa sehari-hari untuk mengidentifikasi suatu kategori yang mewakili suatu kondisi tertentu. Sebagai contoh, istilah seperti "rendah," "sedang," dan "tinggi" digunakan untuk menggambarkan berbagai tingkat atau kondisi.

b. *Numerik*

Numerik merupakan representasi angka yang menggambarkan besarnya suatu parameter. Contohnya adalah seperti 45, 25, 50, dan lain sebagainya. Selain itu, terdapat beberapa aspek yang terkait dengan konsep dasar logika *fuzzy*, yaitu:

- a. *Variabel fuzzy* adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan variabel yang akan dianalisis dalam kerangka sistem *fuzzy*. Contoh-contoh termasuk pendapatan, Temperatur, permintaan, usia, dan lain sebagainya.
- b. Semesta pembicaraan mengacu pada kisaran nilai yang sah untuk digunakan dalam konteks variabel *fuzzy* tertentu. Sebagai contoh, semesta pembicaraan untuk variabel permintaan adalah $[0, +\infty]$, sementara semesta pembicaraan untuk variabel temperatur adalah $[10, 90]$.

Domain himpunan *fuzzy* merujuk pada kumpulan nilai yang valid dalam semesta pembicaraan suatu variabel *fuzzy* dan dapat digunakan sebagai elemen dalam suatu himpunan *fuzzy*.

2.2.2.2. Fungsi keanggotaan

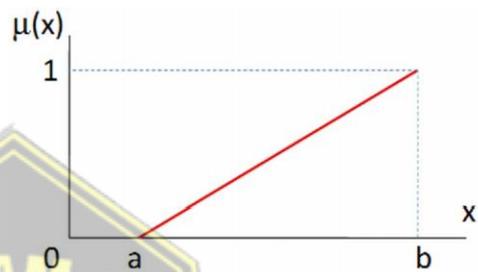
Fungsi keanggotaan merupakan sebuah *kurva* yang menunjukkan bagaimana titik-titik data input dipetakan ke dalam nilai keanggotaan mereka, yang sering kali dinyatakan sebagai derajat keanggotaan, dengan rentang antara 0 dan 1. Salah satu metode untuk menentukan nilai keanggotaan ini melibatkan penerapan berbagai jenis fungsi. Terdapat beragam fungsi yang dapat digunakan untuk tujuan ini, di antaranya adalah:

a. Representasi Linear

Dalam representasi linear, pengaitan *input* dengan derajat keanggotaannya digambarkan sebagai sebuah garis lurus. Pendekatan ini sangat berguna ketika harus mengaproksimasi konsep yang tidak terlalu jelas. Terdapat dua jenis himpunan *fuzzy* yang memiliki karakteristik linear, yaitu:

1. Representasi linear naik

Pada representasi linear naik, kenaikan himpunan dimulai pada nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan nol [0] bergerak naik menuju domain yang memiliki nilai derajat keanggotaan lebih tinggi.



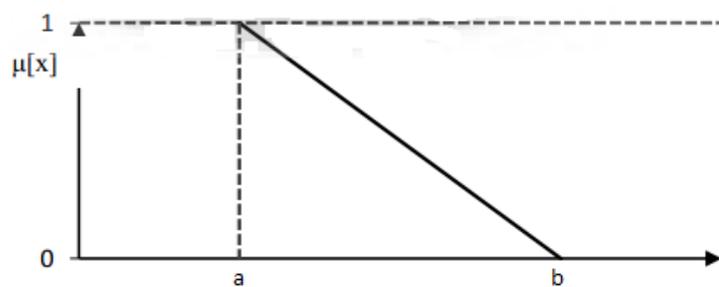
Gambar 2. 2. Representasi Linier Naik

Fungsi keanggotaan[39]:

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ 1; & x \geq b \end{cases} \dots\dots\dots (2.1)$$

2. Representasi linear turun

Pada representasi linear turun, penurunan himpunan pada nilai yang memiliki derajat keanggotaan tertinggi bergerak turun menuju domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih rendah[40].



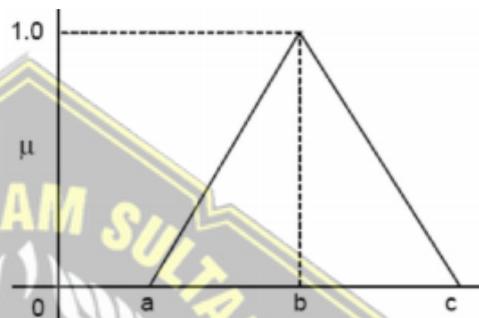
Gambar 2. 3.Representasi Linier Turun

Fungsi keanggotaan[39]:

$$\mu[x] = \begin{cases} 1; & x \leq a \\ \frac{b-x}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ 0; & x \geq b \end{cases} \dots\dots\dots (2.2)$$

b. Representasi Kurva Segitiga

Kurva segitiga pada dasarnya merupakan gabungan antara linear naik dan linear turun[40].



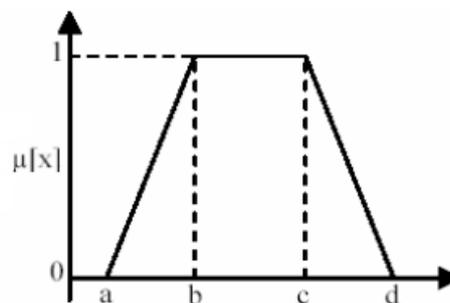
Gambar 2. 4.Representasi Kurva Segitiga

Fungsi keanggotaan[41]:

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}; & b \leq x \leq c \end{cases} \dots\dots\dots (2.3)$$

c. Representasi Kurva Trapesium

Kurva trapesium pada dasarnya seperti bentuk segitiga, hanya saja ada beberapa titik yang memiliki nilai keanggotaan 1[40].



Gambar 2. 5.Representasi Kurva Trapesium

Fungsi keanggotaan[41]:

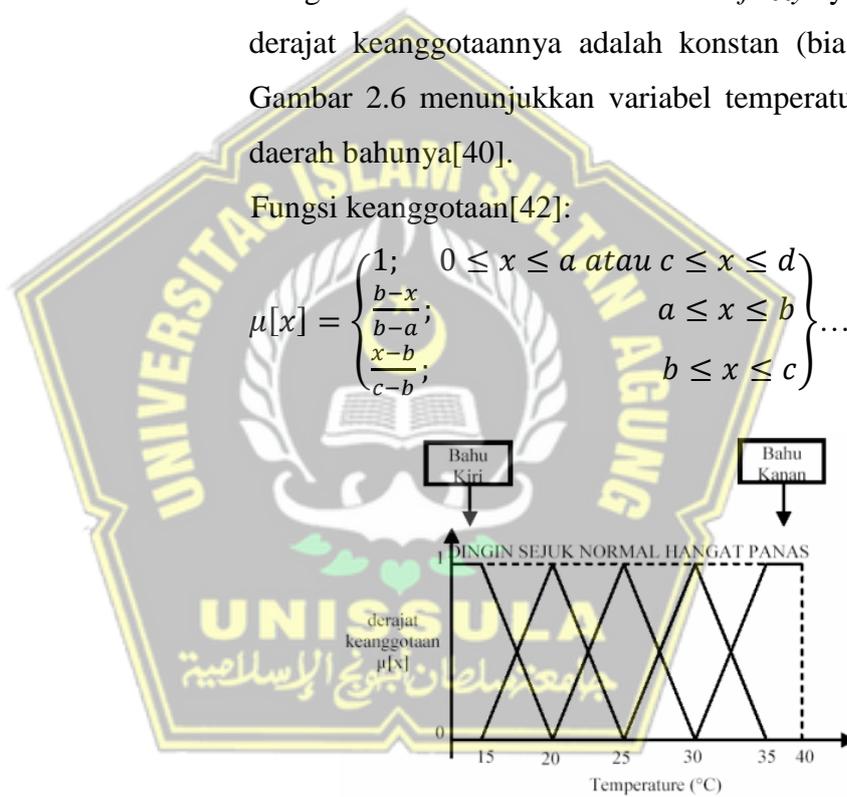
$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq d \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ 1; & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}; & c \leq x \leq d \end{cases} \dots\dots\dots (2.4)$$

d. Representasi Kurva Bahu

Grafik keanggotaan kurva bahu digunakan untuk mengakhiri variabel suatu daerah *fuzzy* yang nilai derajat keanggotaannya adalah konstan (biasanya 1). Gambar 2.6 menunjukkan variabel temperatur dengan daerah bahunya[40].

Fungsi keanggotaan[42]:

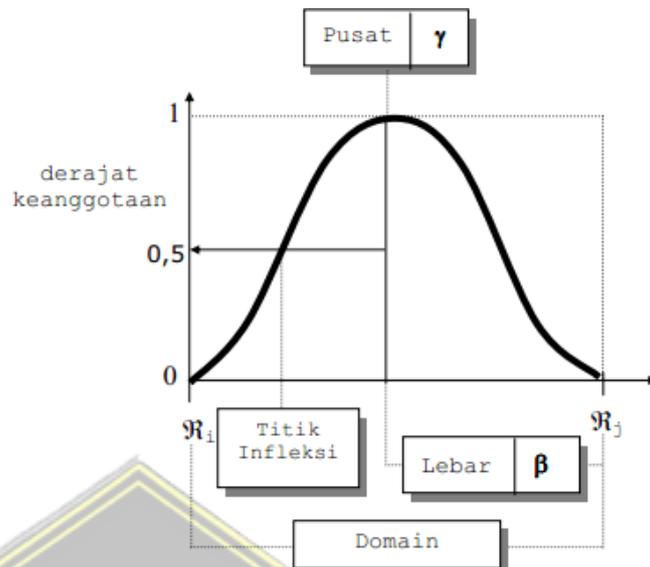
$$\mu[x] = \begin{cases} 1; & 0 \leq x \leq a \text{ atau } c \leq x \leq d \\ \frac{b-x}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ \frac{x-b}{c-b}; & b \leq x \leq c \end{cases} \dots\dots\dots (2.5)$$



Gambar 2. 6.Representasi Kurva Bahu

e. Representasi kurva PI

Pada kurva PI berbentuk lonceng dengan derajat keanggotaan 1 terletak pada pusat dengan domain (γ), dan lebar kurva (β) seperti terlihat pada gambar 2.7. Nilai kurva untuk suatu nilai domain x diberikan sebagai[43]:



Gambar 2. 7.Karakteristik Fungsional Kurva PI

Fungsi keanggotaan[43]:

$$\Pi(x, b, c) = \begin{cases} S\left(x; c - b, c - \frac{b}{2}, 2\right) & \rightarrow x \leq c \\ 1 - S\left(x; c, c + \frac{b}{2}, c + b\right) & \rightarrow x > c \end{cases} \dots\dots\dots (2.6)$$

2.2.2.3. Operator Himpunan *Fuzzy*

Domain himpunan *fuzzy* adalah keseluruhan nilai yang diijinkan dalam suatu semesta pembicaraan. Apabila terdapat dua himpunan *fuzzy* A, B pada semesta X maka untuk menentukan nilai keanggotaan antar elemen tertentu dalam semesta X mengikuti teori fungsi himpunan pada umumnya, yaitu dengan menggunakan operasi gabungan (*union*), irisan (*intersection*), dan komplemen. Operasi tersebut didefinisikan secara khusus untuk mengkombinasi dan memodifikasi himpunan *fuzzy*. Nilai keanggotaan sebagai hasil dari operasi 2 himpunan sering dikenal dengan *file strength* α -predikat. Berikut beberapa operasi dasar

yang paling sering digunakan untuk mengkombinasi dan memodifikasi himpunan *fuzzy*, yaitu[44]:

a. Operator *OR* /Gabungan (*Union*)

Operator gabungan dari himpunan *fuzzy* A dan B dinyatakan sebagai $A \cup B$. Dalam sistem logika *fuzzy*, operasi gabungan disebut sebagai *max* dan ditulis dengan persamaan[44]:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max(\mu_A[x], \mu_B[x]) \text{ untuk setiap } x \in X. \quad (2.7)$$

Derajat keanggotaan setiap unsur himpunan *fuzzy* $A \cup B$ adalah derajat keanggotaannya pada himpunan *fuzzy* A atau B yang memiliki nilai terbesar[44].

b. Operator *AND* /Irisan (*intersection*)

Operator ini berhubungan dengan operasi irisan. α -predikat sebagai hasil dari operasi dengan menggunakan operator *AND* diperoleh dengan mengambil nilai keanggotaan terkecil antar elemen pada himpunan yang bersangkutan yang dinyatakan dengan $A \cap B$ dengan operasi irisan sebagai *min*[44].

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A[x], \mu_B[x]) \text{ untuk setiap } x \in X. \quad (2.8)$$

c. Operator *NOT*

Operator ini berhubungan dengan operasi komplemen, α -predikat sebagai hasil dari operasi dengan menggunakan operator *NOT* diperoleh dengan menggunakan rumus[44]:

$$\mu_{A^c} = 1 - \mu_A(x) \dots\dots\dots (2.9)$$

2.2.2.4. Fungsi Implikasi

Tiap-tiap aturan (*rule*) pada himpunan *fuzzy* ada hubungannya dengan suatu relasi *fuzzy*. Bentuk umum dari aturan yang digunakan dalam fungsi implikasi adalah[45]:

$$\text{IF } x \text{ is } A \text{ THEN } y \text{ is } B \dots\dots\dots (2.10)$$

Dengan *x* dan *y* adalah skala *A* dan *B* adalah himpunan *fuzzy*. Aturan ini dapat diperluas dengan menggunakan operator *fuzzy*, seperti[45]:

$$\text{IF } (X_1 \text{ is } A_1) \circ (X_2 \text{ is } A_2) \circ \dots \circ X_n \text{ is } A_n \text{ THEN } y \text{ is } B.. (2.11)$$

Dengan \circ adalah suatu operator *fuzzy*. Secara umum fungsi implikasi min (minimum) merupakan salah satu fungsi implikasi yang dapat digunakan. Cara yang digunakan dalam fungsi min adalah memotong *output* himpunan *fuzzy* sesuai dengan derajat keanggotaan terkecil[45].

2.2.2.5. Penegasan (Defuzzifikasi) untuk Skalar

Defuzzifikasi yaitu suatu proses yang mengubah proses-proses sebelumnya dari himpunan *fuzzy* menjadi suatu nilai tunggal. *Input* dari proses defuzzifikasi adalah suatu himpunan *fuzzy* yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan *fuzzy*, sedangkan *output* yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada domain himpunan tersebut[46].

Ada beberapa metode defuzzifikasi yang dapat digunakan, diantaranya[46]:

- a. Metode titik tengah (*center of area*), dimana ketika diterapkan pada bilangan diskrit menggunakan rumus 2.12, dan pada bilangan kontinyu menggunakan persamaan 2.13[46].

$$z^* = \frac{\sum \mu_i z_i}{\sum \mu_i} \dots\dots\dots (2.12)$$

$$z^* = \frac{\int \mu(z)z dz}{\int \mu(z) dz} \dots\dots\dots (2.13)$$

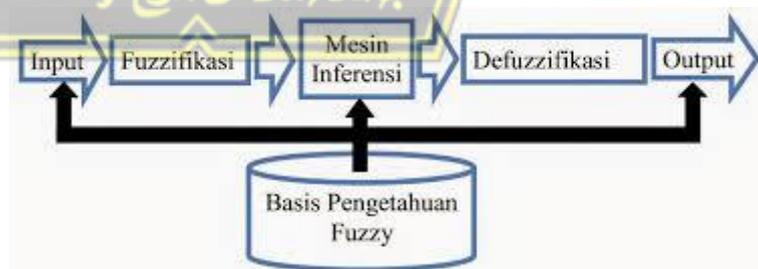
- b. Metode Bisektor, dimana solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai pada domain *fuzzy* yang memiliki nilai keanggotaan separuh dari jumlah total nilai keanggotaan pada daerah *fuzzy* dengan persamaan[46]:

$$\int_{\alpha}^{z^{BOA}} \mu(z)dz = \int_{z^{BOA}}^{\beta} \mu(z)dz \dots\dots\dots (2.14)$$

- c. MOM (*Mean of Maximum*), dimana solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai rata-rata domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum[46].
- d. LOM (*Largest of Maximum*), dimana solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai terbesar dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum[46].
- e. SOM (*Smallest of Maximum*), dimana solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai terkecil dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum[46].

2.2.2.6. Cara Kerja Logika *Fuzzy*

Untuk memahami langkah kerja logika *fuzzy*, perhatikan gambar 2.8 struktur elemen dasar sistem inferensi *fuzzy*[47]:



Gambar 2. 8.Struktur dasar Sistem *Fuzzy*

Dimana :

- Basis pengetahuan *fuzzy* merupakan kumpulan *rule-rule fuzzy* dalam bentuk pernyataan *if...then*.
- Fuzzyfikasi merupakan proses untuk mengubah *input* sistem yang mempunyai nilai tegas menjadi variabel linguistik menggunakan fungsi keanggotaan yang disimpan dalam basis pengetahuan *fuzzy*.
- Mesin inferensi merupakan proses untuk mengubah *input fuzzy* menjadi *output fuzzy* dengan cara mengikuti aturan-aturan *if-then rules* yang telah ditetapkan pada basis pengetahuan *fuzzy*.
- Defuzzifikasi merupakan mengubah *output fuzzy* yang diperoleh dari mesin inferensi menjadi nilai tegas menggunakan fungsi keanggotaan yang sesuai dengan saat dilakukan fuzzyfikasi.

2.2.2.7. Metode Mamdani

Metode *Fuzzy mamdani* merupakan salah satu metode dari *Fuzzy Inference System*, sistem pengambil keputusan. Dalam metode *fuzzy mamdani* menggunakan aturan atau *rules* berbentuk “sebab-akibat” atau “*if-then*”. Cara perhitungan dari metode *fuzzy mamdani*, pertama adalah aturan yang dibentuk mewakili himpunan *fuzzy*, kemudian dihitung derajat keanggotaan sesuai dengan aturan yang telah dibuat. Setelah mendapatkan nilai derajat keanggotaan, dicari nilai *alpha predikat* (α) dengan menggunakan fungsi *MIN* dan komposisi antar *rule* menggunakan fungsi *MAX* untuk menghasilkan himpunan *fuzzy* baru. Langkah terakhir, mencari nilai *output* yang merupakan nilai *crisp* (z) yang disebut proses defuzzifikasi

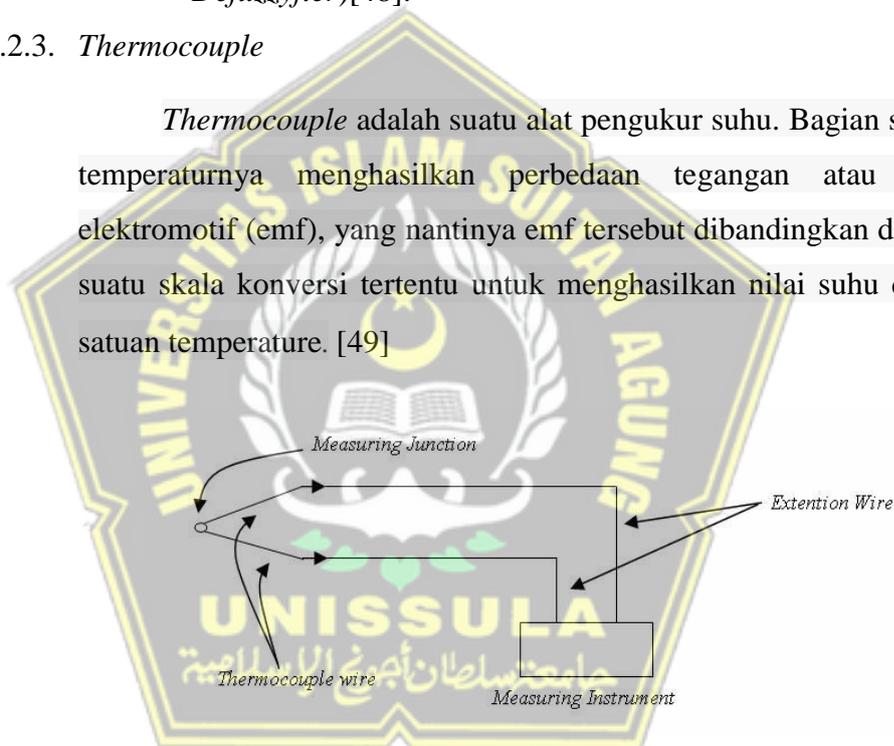
menggunakan metode *centroid*, dimana dinyatakan dalam persamaan 2.13[48].

$$z^* = \frac{\int \mu(z)zdz}{\int \mu(z)dz} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana $\alpha = \alpha$ predikat (nilai minimal dari nilai derajat kenggotaan (μ) dari ketiga parameter *fuzzy* yang dimasukkan dalam *rule base*), dan $z =$ nilai *crisp* defuzzifikasi rata-rata terpusat (*Center Average Defuzzifier*)[48].

2.2.3. Thermocouple

Thermocouple adalah suatu alat pengukur suhu. Bagian sensor temperaturnya menghasilkan perbedaan tegangan atau gaya elektromotif (emf), yang nantinya emf tersebut dibandingkan dengan suatu skala konversi tertentu untuk menghasilkan nilai suhu dalam satuan temperature. [49]



Gambar 2. 9.Blok Diagram Sensor Termokopel.

Yang berbeda yang disebut *thermo-element*, satu sama lain diisolasi kecuali pada ketika akurasi tinggi dibutuhkan, kawat *termocouple* harus dibuat lebih panjang hingga ke instrumen *display temperature*, hal ini akan mengeliminasi kesalahan yang mungkin ada akibat penggunaan kawat ekstensi yang tidak memiliki karakteristik *temperature-emf* identik dengan termokopelnya. Jika koneksi langsung tidak dimungkinkan kawat ekstensi dapat

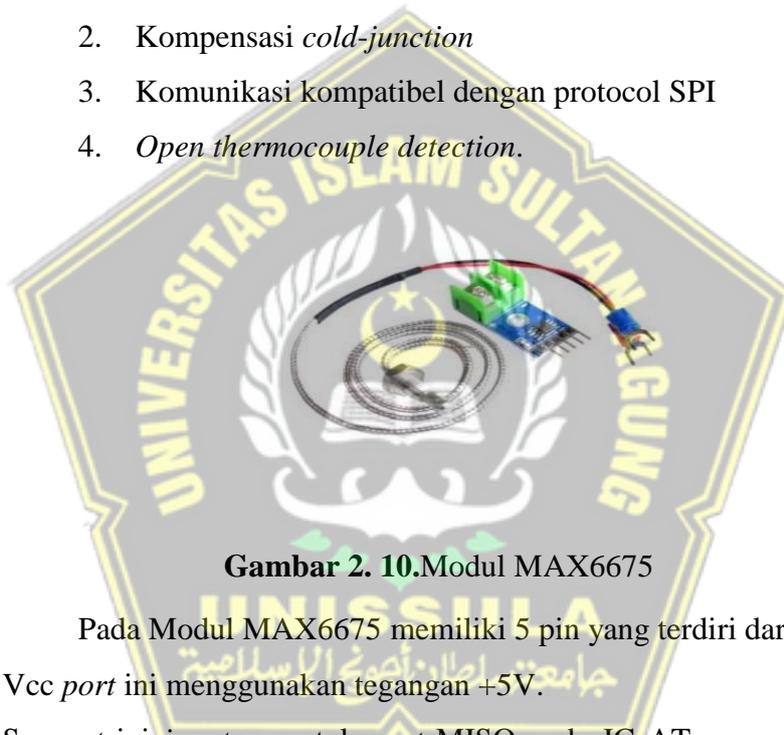
digunakan. Kabel ekstensi harus mempunyai *temperature-emf* yang ekuivalen dengan *range temperature* yang akan diukur. Untuk kabel ekstensi termokopel W3Re25 pada tungku sinter dapat digunakan paduan logam dengan *grade temperature* 0–260 °C (32– 500°F)[49]

Semua saklar yang digunakan dengan termokopel harus memiliki konstruksi kuat (dalam hal koneksi) dan di desain untuk menghubungkan dua kawat termokopel ke rangkaian berikutnya. Saklar harus ditempatkan pada lokasi yang tidak dimungkinkan terjadinya fluktuasi *temperature* yang disebabkan oleh udara atau radiasi sumber panas. Analisa unjuk kerja termokopel dilakukan dengan mengukur emf (mV) yang dibangkitkan dan membandingkannya dengan *temperature* yang ditunjukkan oleh rekorder. Rekorder diasumsikan sudah memiliki faktor konversi yang standar (oleh pabrik pembuat) yang diperuntukan untuk termokopel jenis W3Re25. Pengukuran emf dilakukan pada *lead* termokopel (titik sambung antara kawat termokopel dengan kabel ekstensi yang menghubungkannya dengan *switching*). Tungku 2 dengan menggunakan pengukur mili *volt* digital, pada setiap kenaikan *temperature* 100°C emf yang dibangkitkan dicatat beserta parameter arus dan tegangan *autotrafo*, selanjutnya data tersebut ditabelkan. Rangkaian pengukuran emf pada *lead* termokopel tungku 2 diperlihatkan pada gambar 2.9 pengukuran dilakukan pada dua kali proses penyinteraan dengan suhu puncak yang sama yaitu 1500°C saat kenaikan *temperature* (*increasing*) dan pada saat penurunan *temperature* (*decreasing*). Hal ini dilakukan untuk mengetahui pola keduanya dan mencari lonjakan-lonjakan atau anomali yang terjadi pada pembangkitan emf oleh termokopel[49].

2.2.4. MAX6675 K-Type *Thermocouple Temperature Sensor*

MAX6675 dibentuk dari kompensasi *cold-junction* yang *output*-nya didigitalisasi dari sinyal termokopel tipe-K. data *output* memiliki resolusi 12-bit dan mendukung komunikasi SPI mikrokontroler secara umum. Data dapat dibaca dengan mengkonversi hasil pembacaan 12-bit data. Fitur yang digunakan yaitu:[50]

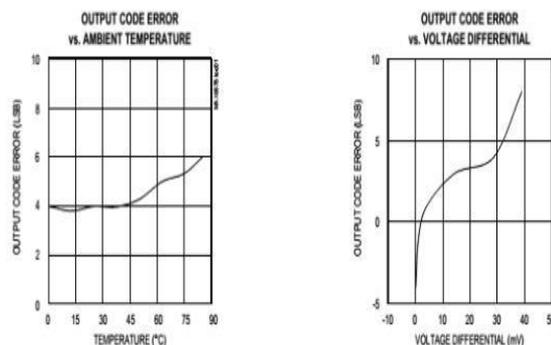
1. Konversi digital langsung dari *output* termokopel tipe-K
2. Kompensasi *cold-junction*
3. Komunikasi kompatibel dengan protocol SPI
4. *Open thermocouple detection*.



Gambar 2. 10.Modul MAX6675

Pada Modul MAX6675 memiliki 5 pin yang terdiri dari :

1. *Vcc port* ini menggunakan tegangan +5V.
 2. *So port* ini *input*-an untuk *port* MISO pada IC ATmega yang berfungsi sebagai jalur data untuk komunikasi.
 3. *Cs port* ini *input*-an untuk *port* ss pada IC ATmega yang berfungsi untuk men-*download* program atau data yang terbaca pada termokopel-K.
 4. *Csk port* ini *input*-an untuk *port* sck pada IC ATmega yang berfungsi sebagai *clock* data.
 5. *GND port* ini berfungsi sebagai saluran *ground* atau pentanahan.
- Karakteristik dari MAX6675 K-Type *Thermocouple Temperature Sensor* dapat dilihat dari grafik *datasheet* pada gambar 2.11.



Gambar 2. 11. Grafik Datasheet MAX6675

Fungsi dari termokopel adalah untuk mengetahui perbedaan *temperature* di bagian ujung dari dua bagian metal yang berbeda dan disatukan. Termokopel tipe *hot junction* dapat mengukur mulai dari 0°C sampai +1023,75°C. MAX6675 memiliki bagian ujung *cold end* yang hanya dapat mengukur -20°C sampai +85°C. Pada saat bagian *cold end* MAX6675 mengalami fluktuasi suhu maka MAX6675 akan tetap dapat mengukur secara akurat perbedaan *temperature* pada bagian yang lain. MAX6675 dapat melakukan koreksi atas perubahan pada *temperature ambient* dengan kompensasi *cold-junction*. Device mengkonversi *temperature ambient* yang terjadi ke bentuk tegangan menggunakan sensor *temperature diode*. Untuk dapat melakukan pengukuran *actual*, MAX6675 mengukur tegangan dari *output* termokopel dan tegangan dari *sensing diode*. *Performance* optimal MAX6675 dapat tercapai pada waktu termokopel bagian *cold-junction* dan MAX6675 memiliki *temperature* yang sama. Hal ini untuk menghindari penempatan komponen lain yang menghasilkan panas didekat MAX6675.[50]

Konversi temperatur digunakan untuk mendapatkan nilai suhu pada termokopel tipe-K, perubahan tegangan sebesar $41\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ dengan menggunakan pendekatan karakteristik dapat menggunakan rumus dibawah ini:[50]

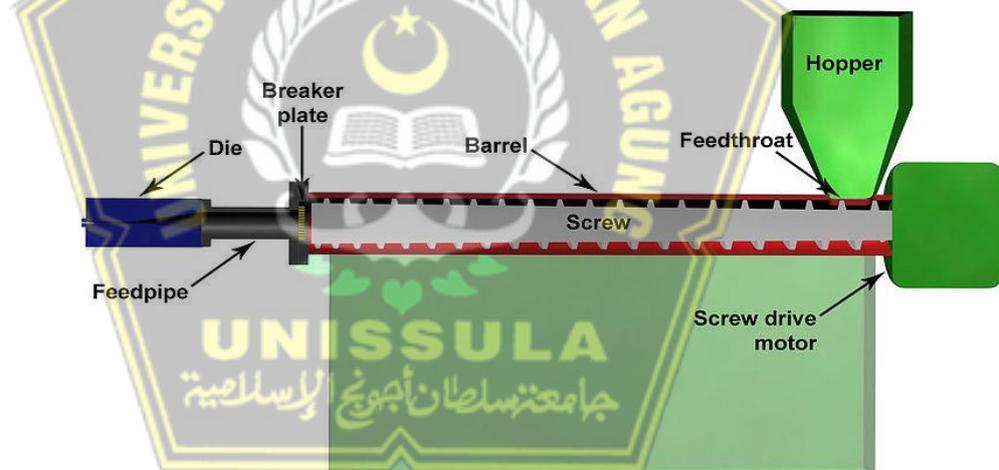
$$V_{OUT} = (41\mu V / ^\circ C) 5 (TR - T_{AMB}) \dots\dots\dots (2.16)$$

Dengan:

1. $V_{OUT} = V$ output termokopel (μV)
2. TR adalah *Temperature remote junction* ($^\circ C$)
3. TAMB adalah *temperature ambient* ($^\circ C$)

2.2.5. Mesin Extruder

Proses *Extruder* merupakan proses awal, semua bahan baku, *Polipropilen*, *pigmen*, dan beberapa bahan tambahan (*copolimer*, dll) dimasukkan dalam *hopper*, dan diproses *hot extrusi*, hingga suhu leleh PP ($\pm 160^\circ C$). Proses ini juga dilakukan penyesuaian standar diameter, warna, dan panjang *straw*. Seluruh produk hasil mesin *extruder* yaitu *straight straw*. [51]

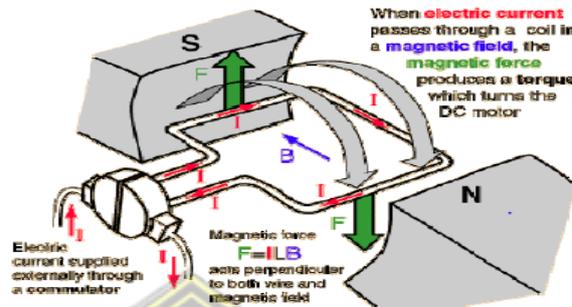


Gambar 2. 12.Mesin *EXTRUDER STRAW*

2.2.6. Motor DC

Motor dc atau sering disebut motor arus searah lebih sering digunakan untuk keperluan yang membutuhkan pengaturan kecepatan dibandingkan dengan mesin ac. Alasan utama penggunaan mesin dc terutama pada industri-industri modern adalah karena kecepatan kerja motor-motor dc mudah diatur dalam suatu rentang

kecepatan yang luas, disamping banyaknya metode-metode pengaturan kecepatan yang dapat digunakan.[53]



Gambar 2. 13.Konfigurasi Motor DC

Prinsip dasar dari motor dc, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.13, adalah jika sebuah kawat berarus diletakkan tegak lurus antara kutub magnet utara-selatan, maka pada kawat itu akan bekerja suatu gaya yang menggerakkan kawat tersebut. Arah gerak kawat tersebut ditentukan dengan kaidah tangan kiri seperti pada Gambar 2.15.



Gambar 2. 14.Kaidah Tangan Kiri Arah Medan Magnet Arus dan Gaya Gerak

Pada penelitian ini saya menggunakan motor DC Konvensional

Motor DC konvensional adalah jenis motor listrik yang menggunakan arus searah (DC) untuk menghasilkan gerakan mekanis.

Berikut ini adalah dasar-dasar teori tentang motor DC konvensional:
 Prinsip kerja : Motor DC konvensional bekerja berdasarkan prinsip gaya elektromagnetik yang dihasilkan oleh arus yang mengalir melalui gulungan kawat yang terletak di dalam medan magnet. Ketika arus mengalir melalui gulungan kawat tersebut, medan magnet di sekitar kawat akan dihasilkan. Interaksi antara medan magnet yang dihasilkan oleh gulungan kawat dan medan magnet permanen (biasanya dihasilkan oleh magnet permanen atau elektromagnet) menghasilkan gaya pada kawat yang menyebabkan gerakan rotasi pada poros.

Komponen Utama Motor DC konvensional terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu :



Gambar 2. 15.Komponen Utama Motor DC Konvensional

1. Gulungan Kawat : Gulungan kawat yang disusun pada kumparan di sekitar inti *ferromagnetik*. Ketika arus mengalir melalui gulungan ini, medan magnet dihasilkan.
2. Komutator : Komutator berfungsi sebagai alat untuk mengalihkan arus listrik dari sumber ke gulungan kawat secara bergantian sehingga menjaga arah putaran motor tetap pada satu arah.
3. Sikat (*Brush*) : Sikat adalah penghubung gesekan antara komutator dan sumber daya eksternal (biasanya berupa baterai

atau sumber listrik DC lainnya). Sikat memastikan aliran listrik terus menerus ke gulungan kawat meskipun komutator berputar.

4. Rotor : Bagian yang berputar dari motor, biasanya terdiri dari inti besi atau bahan *feromagnetik* dengan gulungan kawat di sekelilingnya.
5. Stator : Bagian motor yang diam dan menyediakan medan magnet tetap, biasanya berupa magnet permanen atau elektromagnet.

Dibawah ini gambar motor DC tyang saya gunakan :



Gambar 2. 16.Motor DC Konvensional

Teori dasar pengaturan putaran motor DC melibatkan prinsip-prinsip dasar elektromagnetik dan mekanika yang mempengaruhi kecepatan rotasi motor. Berikut ini adalah dasar teori yang relevan

1. Hukum Lorentz : Motor DC bekerja berdasarkan Hukum Lorentz, yang menyatakan bahwa gaya yang dialami oleh konduktor yang membawa arus dalam medan magnet adalah proporsional terhadap arus dalam konduktor tersebut, medan magnet yang dihasilkan, dan panjang konduktor itu sendiri. Dalam motor DC, gaya yang dihasilkan oleh interaksi antara medan magnet stator dan medan magnet rotor menyebabkan gerakan rotasi.
2. Pengaturan Tegangan : Salah satu cara paling sederhana untuk mengatur kecepatan motor DC adalah dengan mengubah tegangan

yang diberikan ke motor. Tegangan yang lebih tinggi akan menghasilkan gaya elektromagnetik yang lebih kuat di dalam motor, yang pada gilirannya akan meningkatkan kecepatan rotasi motor.

Tegangan yang diberikan pada motor DC dapat diatur untuk mengatur kecepatannya. Rumus dasar Tegangan adalah:

$$V=I \times R + E \dots\dots\dots (2.17)$$

Dimana :

- V adalah tegangan yang diberikan ke motor (volt)
- I adalah arus yang mengalir melalui motor (ampere)
- R adalah resistansi total dalam rangkaian motor (ohm)
- E adalah tegangan balik yang dihasilkan oleh motor (volt).

Kecepatan motor DC tergantung pada tegangan yang diberikan ke motor. Ada beberapa metode untuk mengatur kecepatan motor DC, salah satunya adalah mengatur tegangan yang diberikan ke motor. Rumus umum untuk kecepatan motor DC adalah:

$$\text{Kecepatan} = \frac{K \times V}{\Phi} \dots\dots\dots (2.18)$$

Dimana :

- Kecepatan adalah kecepatan motor DC (rpm)
- K adalah konstanta motor
- V adalah tegangan yang diberikan ke motor (volt)
- Φ adalah fluks magnetik (weber)

3. Pengaturan Arus : Selain tegangan, arus yang mengalir melalui motor juga mempengaruhi kecepatan rotasi. Semakin besar arus yang mengalir, semakin besar gaya yang dihasilkan, yang dapat menyebabkan peningkatan kecepatan rotasi motor.

4. Pengaturan Siklus Tugas (PWM) : Metode ini menggunakan modulasi lebar pulsa (PWM) untuk mengontrol kecepatan motor. PWM mengatur siklus tugas sinyal pulsa, yaitu waktu di mana sinyal aktif dibandingkan dengan total periode sinyal. Dengan mengatur siklus tugas, rata-rata daya yang diberikan ke motor dapat diubah, sehingga mengatur kecepatan rotasi motor.
5. Pengaturan Resistansi : Dalam pengaturan ini, resistor variabel (rheostat) dapat digunakan untuk mengatur jumlah arus yang mengalir melalui motor. Dengan meningkatkan resistansi, arus yang mengalir ke motor akan berkurang, dan demikian pula kecepatan rotasi motor.
6. Pengaturan Beban : Kecepatan rotasi motor DC juga dapat dipengaruhi oleh beban yang ditempatkan pada poros motor. Semakin besar beban, semakin lambat kecepatan rotasi motor. Dalam aplikasi nyata, pengaturan beban dapat dilakukan dengan menggunakan gearbox atau mekanisme pengungkit.

PWM (*Pulse Width Modulation*) adalah metode pengendalian yang umum digunakan untuk mengatur kecepatan motor DC dengan mengatur siklus tugas dari sinyal PWM yang diberikan ke motor.

Berikut adalah dasar teori PWM pada motor DC:

1. Prinsip PWM : PWM adalah teknik pengaturan yang memanfaatkan sinyal digital dengan mengubah lebar pulsa sinyal tetapi mempertahankan frekuensi tetap. Dalam konteks motor DC, PWM mengontrol rata-rata tegangan yang diberikan ke motor dengan memodulasi lebar pulsa sinyal yang diberikan ke dalamnya.
2. Modulasi lebar Pulsa : PWM mengatur kecepatan motor DC dengan mengatur modulasi lebar pulsa sinyal PWM. Jika siklus tugas sinyal PWM diperpanjang, rata-rata daya yang diberikan ke motor meningkat, dan sebaliknya. Dengan demikian, dengan

memodulasi lebar pulsa sinyal PWM, kecepatan motor DC dapat diatur secara proporsional.

3. Respon Motor : Dalam motor DC, rata-rata tegangan yang diterima oleh motor dipengaruhi oleh siklus tugas sinyal PWM. Semakin tinggi siklus tugas, semakin lama sinyal PWM berada pada tingkat tinggi, yang menghasilkan tegangan rata-rata yang lebih tinggi dan akhirnya meningkatkan kecepatan rotasi motor.
4. Frekuensi PWM : Frekuensi PWM (jumlah siklus sinyal PWM per detik) juga memengaruhi respon motor. Frekuensi yang lebih tinggi biasanya menghasilkan respon yang lebih halus dan kecepatan motor yang lebih stabil, tetapi membutuhkan perangkat keras yang lebih canggih.

Untuk mengaitkan frekuensi PWM (f_{PWM}) ke dalam rumus, kita perlu mengingat bahwa frekuensi PWM mengontrol seberapa sering pulsa PWM diberikan dalam satu detik. Lebar pulsa (dalam detik) dari sinyal PWM kemudian menjadi invers dari frekuensi PWM ($T_{PWM} = \frac{1}{f_{pwm}}$) Oleh karena itu, rata-rata tegangan efektif (V_{rms}) yang diberikan ke motor dapat dihitung sebagai fungsi dari lebar pulsa PWM:

$$V_{rms} = V_{max} \times \text{Duty Cycle} \dots \dots \dots (2.19)$$

Dimana :

- V_{max} adalah tegangan maksimum yang tersedia (volt)
- Duty Cycle adalah siklus tugas PWM, yaitu rasio waktu di mana sinyal PWM dalam keadaan tinggi terhadap periode sinyal PWM.

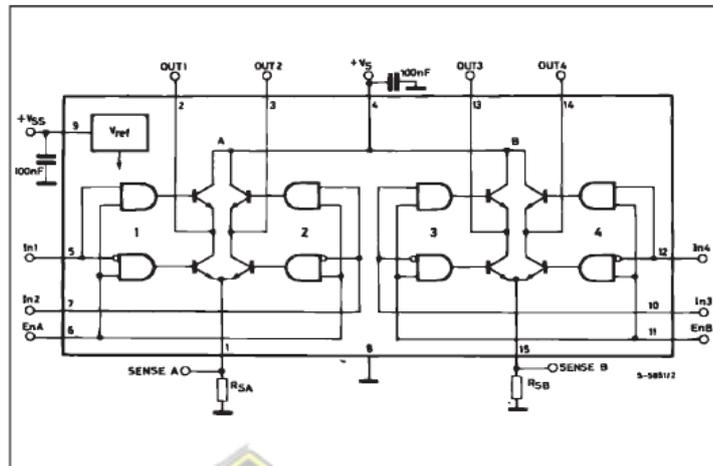
Maka, rumus akhir untuk menghitung kecepatan motor DC dengan frekuensi PWM adalah:

$$\text{Kecepatan} = \frac{KxV_{max} \times \text{Duty cycle}}{\Phi} \dots\dots\dots(2.20)$$

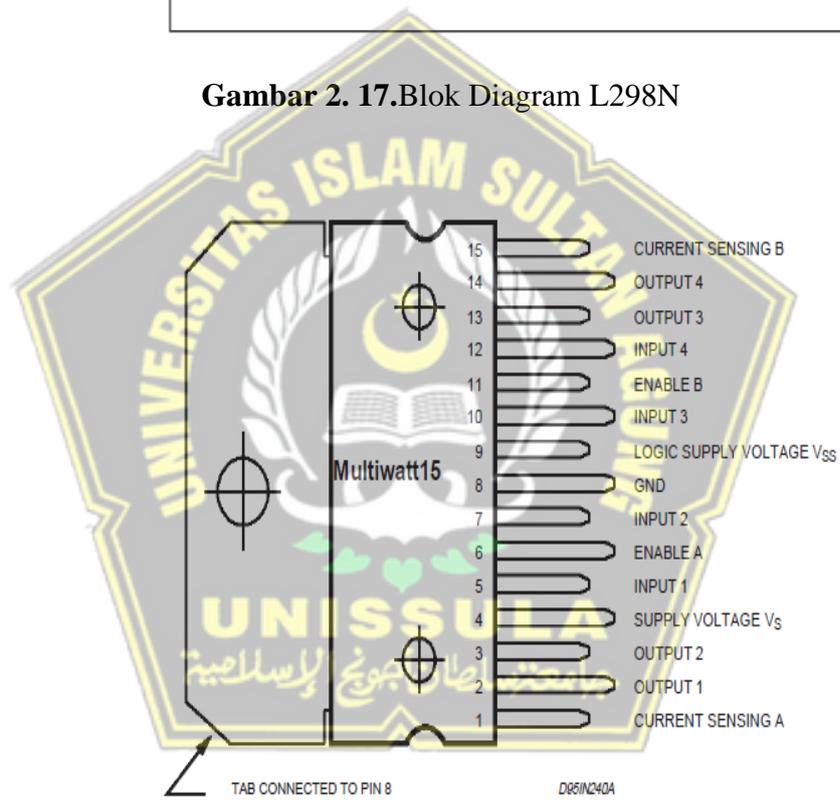
5. Efisiensi energi: Pengaturan kecepatan motor DC dengan PWM memiliki keuntungan efisiensi energi dibandingkan dengan metode pengaturan lain yang menggunakan pengurangan tegangan atau arus. Dalam PWM, daya yang diserap oleh motor secara efektif hanya berubah dalam waktu pendek saat siklus tugas pulsa sinyal berubah.
6. Perlunya Filter : Sinyal PWM sering kali memiliki komponen frekuensi tinggi yang dapat menciptakan gangguan elektromagnetik (EMI) atau noise pada sistem. Oleh karena itu, sering kali diperlukan filter untuk meredam gangguan tersebut dan memastikan operasi motor DC yang stabil.

2.2.7. Driver Motor L298N

Driver motor L298N sering digunakan untuk mengatur pergerakan motor, sehingga motor dapat dikendalikan dengan bantuan *mikrokontroler*, memungkinkan kontrol putaran motor dan penyesuaian kecepatan, serta mengatur arah putar motor. Fungsi utama Driver Motor L298N adalah untuk memperkuat arus dan tegangan sehingga motor menerima pasokan daya yang sesuai. L298N adalah driver motor DC jenis *H-Bridge* yang sangat sederhana dan mudah digunakan, sehingga membuat desain rangkaian menjadi lebih simpel dan sederhana [54].



Gambar 2. 17. Blok Diagram L298N



Gambar 2. 18. PIN Modul L298N

Tabel 1. Absolute maximum ratings.

<i>symbol</i>	<i>parameter</i>	<i>value</i>	<i>unit</i>
V_S	Power supply	50	V
V_{SS}	Logic supply voltage	7	V
V_I, V_{en}	Input and enable	-0.3 to 7	V
I_O	Peak output current (each channel)		
	– Non repetitive ($t = 100\text{ms}$)	3	A
	– Repetitive (80% on –20% off; $t_{on} = 10\text{ms}$)	2.5	A
	– DC operation	2	A
V_{sens}	Sensing voltage	-1 to 2.3	V
P_{tot}	Total power dissipation ($T_{case} = 75^\circ\text{C}$)	25	W
T_{op}	Junction operating temperature	-25 to 130	$^\circ\text{C}$
T_{stg}, T_j	Storage and junction temperature	-40 to 150	$^\circ\text{C}$

2.2.8. Power supply

Sumber daya yang dipakai untuk memberikan tegangan ke papan Arduino adalah 5 volt[55].

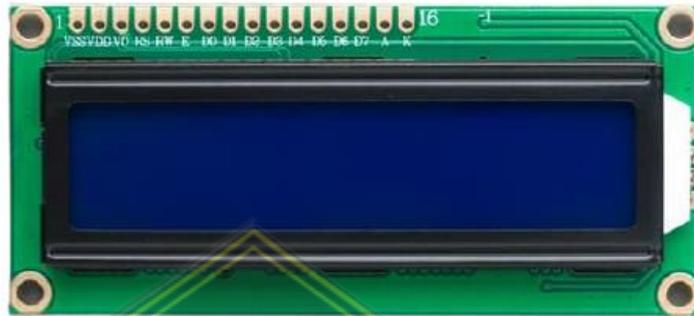
**Gambar 2. 19.** Power Supply 5V

Spesifikasi Power Supply :

1. Type : Travel Charger
2. Material : PC & Electronic Material
3. Warna : Putih
4. input : 100-240V (50-60HZ).
5. output : 5 V – 2A.

2.2.9. *Display Kristal Cair (LCD).*

Liquid Crystal Display (LCD) digunakan untuk menampilkan informasi suhu yang diperoleh dari sensor suhu, serta kecepatan motor.[56]



Gambar 2. 20.Tampilan kristal Cair (LCD)

Spesifikasi Tampilan Kristal cair (LCD)

1. Layar menampilkan 16 karakter dalam 2 baris, dengan setiap karakter memiliki resolusi 5 x 8 piksel.
2. Pengendali tampilan yang digunakan adalah HD44780 (biasa digunakan).
3. Pencahayaan latar belakang berwarna biru.
4. Tulisan yang ditampilkan berwarna putih.
5. Menawarkan sudut pandang luas dengan kemampuan mengatur tingkat kontras agar lebih terlihat jelas.
6. Tegangan kerja yang diperlukan adalah 5 Volt DC.
7. Modul memiliki dimensi sekitar 80 x 60 x 15 milimeter.
8. Ukuran layar tampilan adalah sekitar 64,5 milimeter x 16 milimeter.

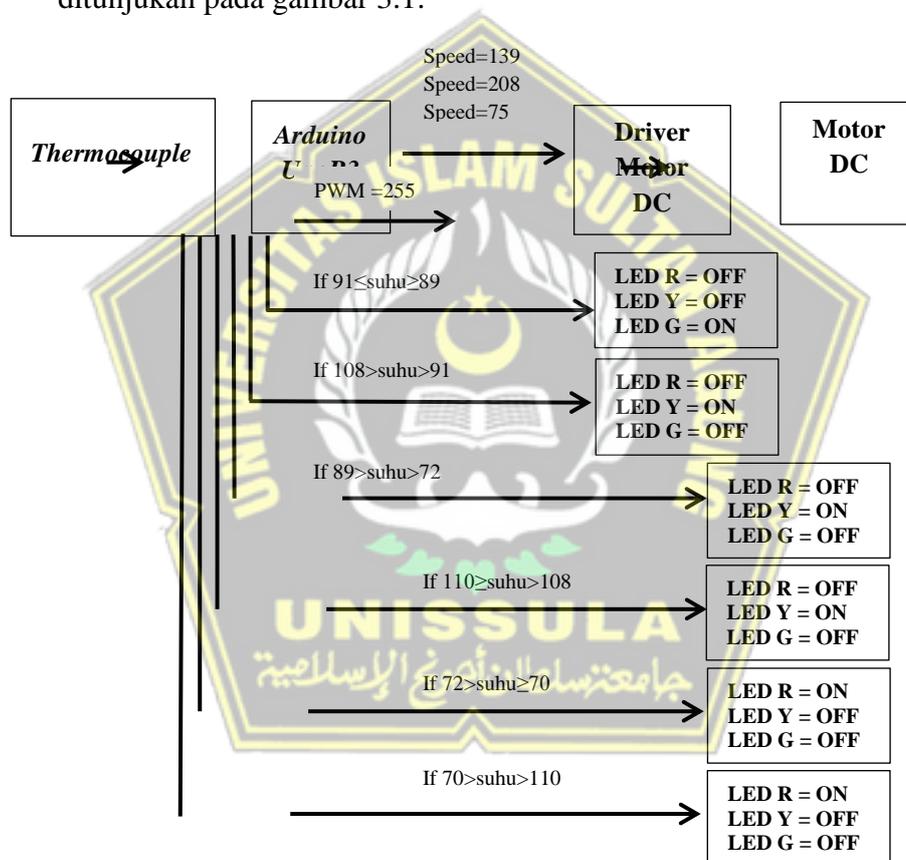
Tabel 2. Data sheet LCD 2x16

<i>pin</i>	<i>name</i>	<i>Function</i>
1	VSS	<i>Ground Voltage</i>
2	VCC	+5V
3	VEE	<i>Contrast Voltage</i>
4	RS	<i>Register Select Register Select</i> <i>0= Intruction Register</i> <i>1= Data Register</i>
5	R/W	<i>Read /Write,to choose Read or write mode</i> <i>00= Read Mode</i> <i>1 = Write Mode</i>
6	E	<i>Enable</i> <i>0 = Start to launch data to LCD character</i> <i>1 = Disable</i>
7	DB0	LSB
8	DB1	-
9	DB2	-
10	DB3	-
11	DB4	-
12	DB5	-
13	DB6	-
14	DB7	MSB
15	BPL	<i>Back Plane Light</i>
16	GND	<i>Ground Voltage</i>

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

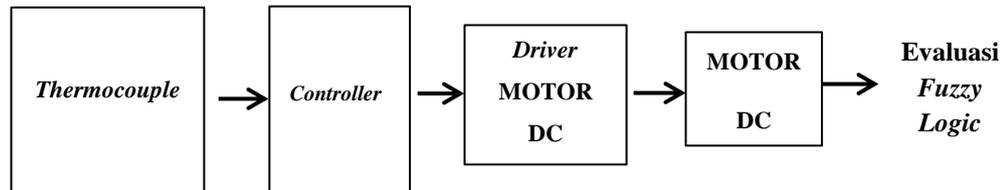
3.1. Arsitektur Model Penelitian

Model rancangan penelitian ini berupa perancangan *prototype* untuk sistem kendali pada mesin *extruder straw* berbasis *Thermocouple* dan *evaluasi* kualitas produk berbasis *fuzzy Logic* untuk mengatur kecepatan motor seperti ditunjukkan pada gambar 3.1.



Gambar 3. 1.Diagram Model penelitian

Setelah membuat Diagram model penelitian kendali Pada Mesin *Extruder Straw* berbasis *Thermocouple* kita membuat rancangan diagram alur penerapan validasi *fuzzy Logic* untuk di terapkan pada mesin *extruder straw* seperti di tunjukan pada gambar 3.2 .



Gambar 3. 2.Diagram Penerapan evaluasi *fuzzy Logic* pada mesin ekstruder straw.

Cara kerja :

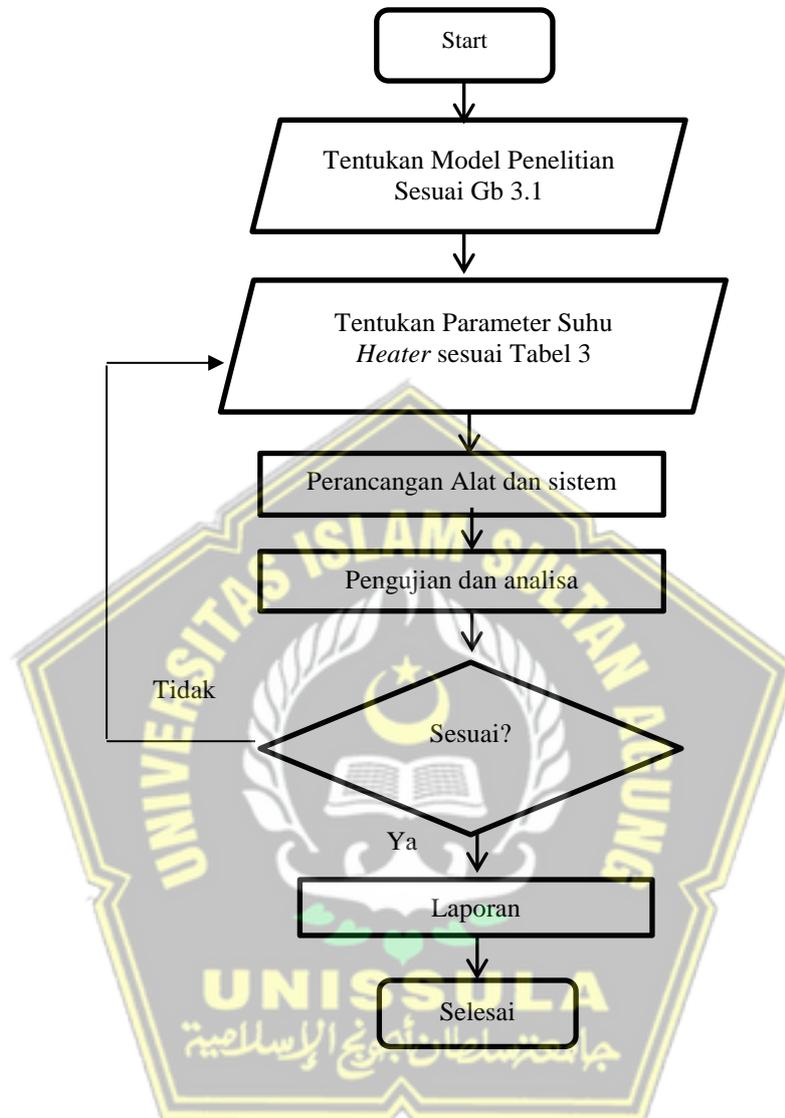
1. Pertama *Heater* menyala dan di deteksi oleh sensor suhu *termocouple*.
2. Setelah suhu naik pada 70°C untuk proses pemanasan bahan baku resin pada mesin *extruder*.
3. Kemudian Di deteksi oleh inputan sensor suhu *Termocouple* untuk masukan ke *Controller Arduino*
4. Selanjutnya dari *controller* di proses ke Driver Motor DC
5. Maka Motor DC baru akan mulai berjalan pada suhu di atas 70°C
6. Kemudian data putaran motor DC di tampilan ke dalam layar LCD
7. Jadi hasil naik turunnya kecepatan Motor DC di tentukan dari hasil penelitian derajat suhu pada mesin *extruder* dan dari deteksi layar LCD,
8. Terakhir *output* data naik turunnya suhu dan kecepatan Motor Dc di proses dengan Evaluasi *Fuzzy Logic* untuk mengetahui kualitas hasil *Straw*.

Alat dan bahan yang di butuhkan dalam pembuatan *Prototype* system kendali *Void loop* Mesin *Extruder straw* adalah:

1. Arduino uno R3
2. *Power supply*
3. Termokopel
4. Modul Max 6675
5. Motor DC
6. LCD 2x16
7. *Driver Motor* L298N
8. Tombol *reset*
9. Tombol *emergensi*
10. Kabel Pelangi
11. *Box Prototype*

3.2.Langkah-Langkah Tahap perancangan

Di dalam perancangan pembuatan prototype sistem kendali pada mesin extruder *Straw* berbasis *Thermocouple* dan evaluasi kualitas Produk berbasis *fuzzy Logic* penulis menyusunnya dengan Membuat diagram alur (*flowchart*) ini bertujuan untuk memfasilitasi penulis dalam menjalankan penelitian dan mengembangkan sistem kontrol pada mesin *extruder straw*.



Gambar 3. 3.Flowchart langkah-langkah penelitian.

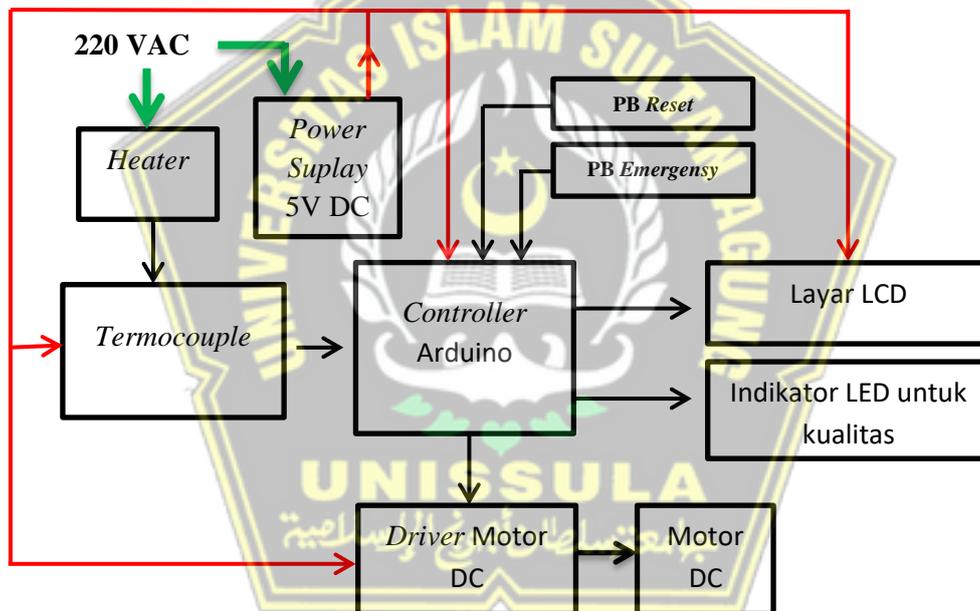
Penjelasan dari *flowchart* langkah-langkah penelitian :

- Pertama yaitu menentukan model penelitian seperti pada gambar 3.1
- Kemudian Menentukan Parameter dari hasil pembacaan suhu dari *heater* pada mesin *extruder Straw* sesuai Tabel 3.1
- Membuat sebuah alat dan sistem kendali Untuk di terapkan mesin *Extruder Straw*
- Kemudian melakukan pengujian alat dan menganalisa hasil pengujian

- Terakhir jika hasil pengujian sesuai di lanjutkan ke tahap pembuatan laporan Dan jika hasil pengujian tidak sesuai maka kembali parameter pembacaan *Thermocouple* dari *heater*
- Membuat laporan
- Selesai

3.3. Perancangan *Hardware*

Di dalam perancangan *Hardware prototype* penulis menyusun dengan membuat blok diagram perancangan *Hardware* untuk di terapkan sistem kendali pada mesin *extruder straw* berbasis *Thermocouple* dan evaluasi kualitas produk berbasis *Fuzzy logic* seperti di tunjukan pada gambar 3.4 di bawah ini.

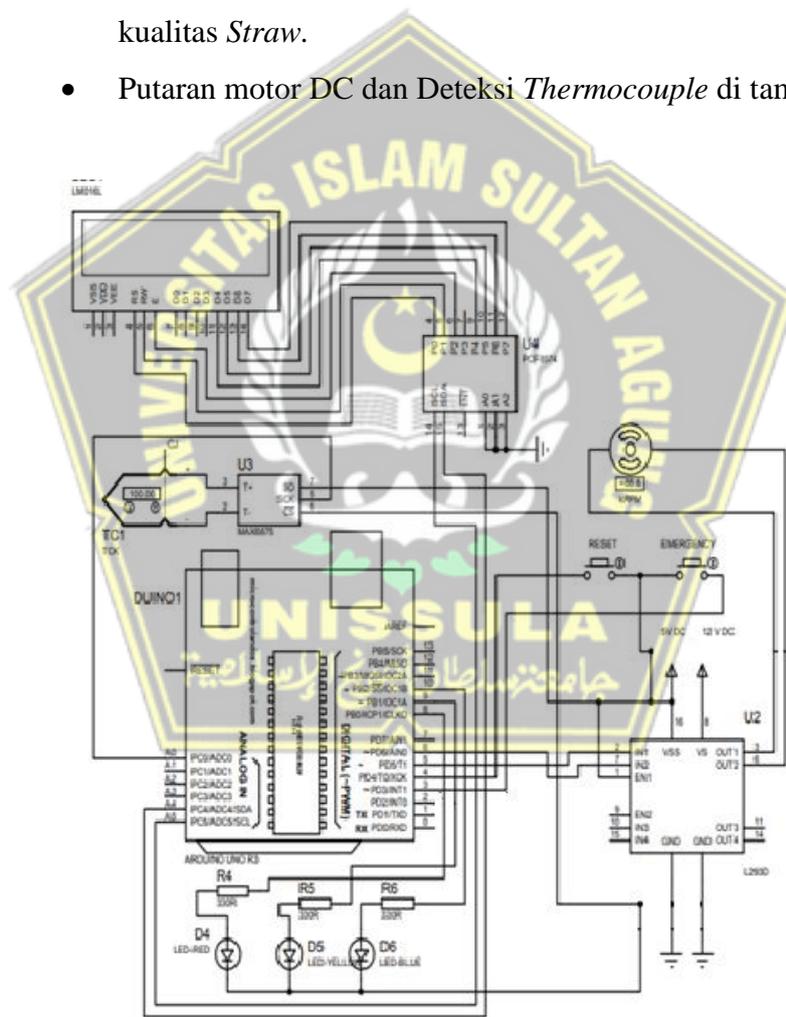


Gambar 3. 4.Blok diagram perancangan *hardware*.

Penjelasan Blok diagram perancangan hadwere:

- Pertama yaitu sumber tegangan 220V untuk sumber tegangan inputan *power suplay* dan *Heater*
- *Heater* dan *Power suplay* ON.
- Tegangan *Output power suplay* di salurkan ke *Controller Arduino*, *Layar LCD*, *Sensor thermocouple* dan *Driver Motor* dc

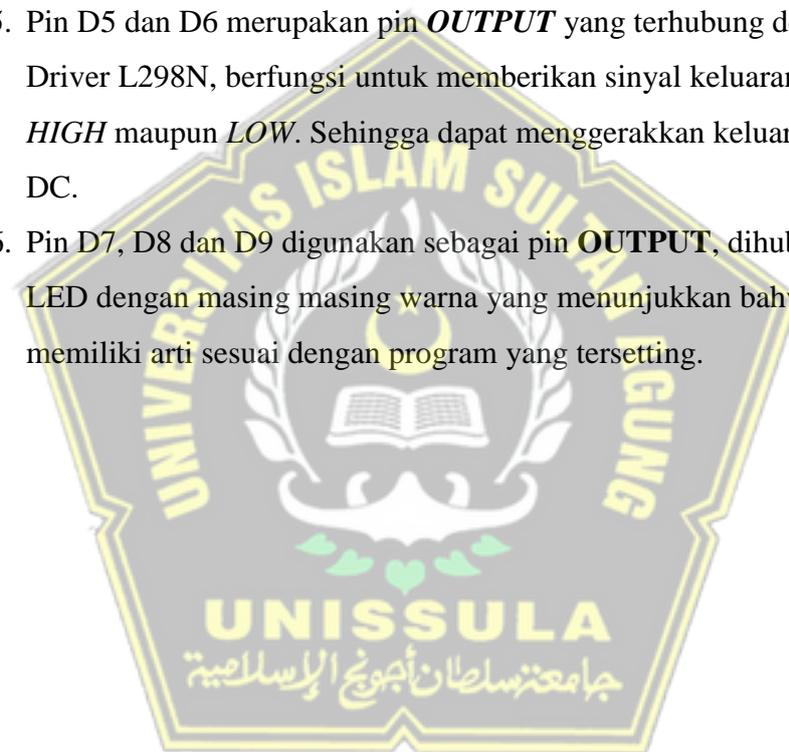
- Kemudian deteksi *thermocouple* Untuk inputan data ke *controller arduino*,
- Pada *controler arduino* di proses, Keluaran arduino di salurkan ke driver motor DC,dan menghidupkan motor DC
- Kemudian Pada keluaran *controler Arduino* di salurkan ke layar LCD di tampilkan proses berjalannya derajat suhu dan RPM motor DC.
- Kemuadian outputan arduino di salurkan ke LED untuk penentuan kualitas *Straw*.
- Putaran motor DC dan Deteksi *Thermocouple* di tampilkan ke LCD.



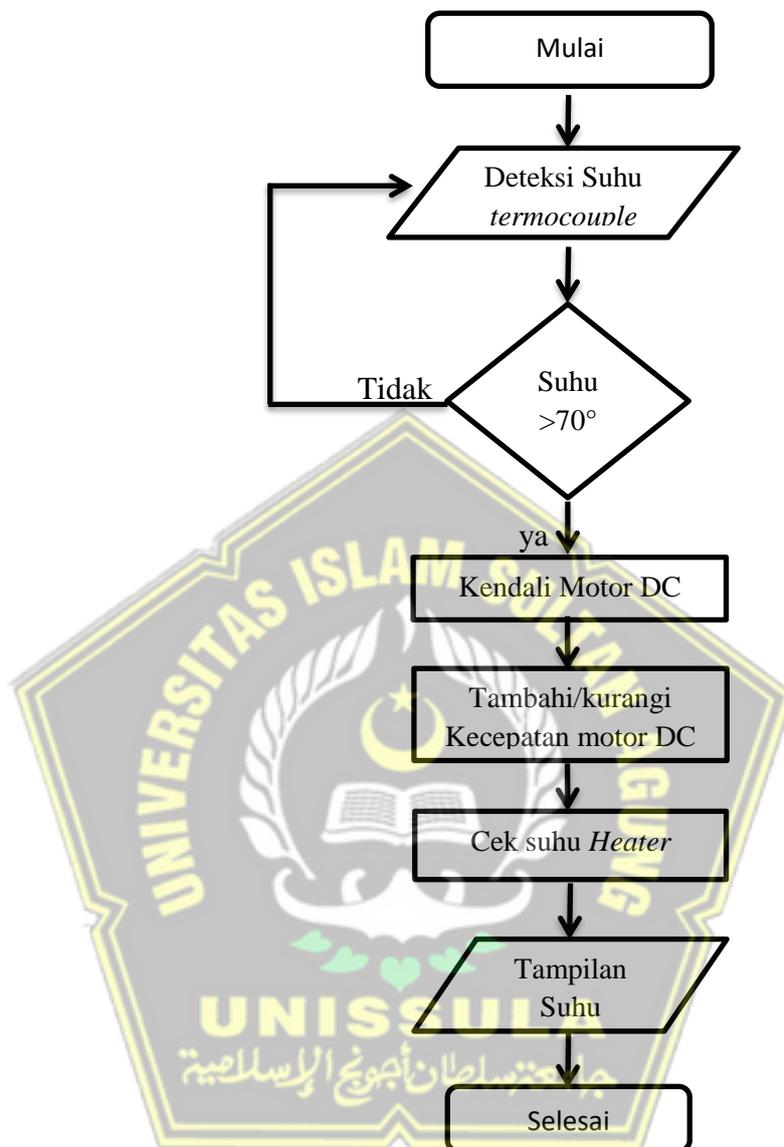
Gambar 3. 5. Wiring diagram Prototype

Penjelasan wiring diagram :

1. Arduino digunakan sebagai kontroler dari sebuah sistem.
2. Pin A0 digunakan sebagai **INPUT** dari sensor MAX6675 (*termocouple ADC*), untuk memonitoring keadaan suhu untuk kendali motor DC.
3. Pin A4 A5 digunakan sebagai jalur **serial data** dari arduino menuju LCD I2C, agar data dapat ditampilkan kedalam LCD.
4. Pin D3 dan D4 merupakan **input PULL UP** yang difungsikan sebagai tombol *reset* dan *emergency*.
5. Pin D5 dan D6 merupakan pin **OUTPUT** yang terhubung dengan input Driver L298N, berfungsi untuk memberikan sinyal keluaran berupa nilai *HIGH* maupun *LOW*. Sehingga dapat menggerakkan keluaran MOTOR DC.
6. Pin D7, D8 dan D9 digunakan sebagai pin **OUTPUT**, dihubungkan menuju LED dengan masing masing warna yang menunjukkan bahwa setiap warna memiliki arti sesuai dengan program yang tersetting.



3.4. Flow Chart diagram alur Prototype.



Gambar 3. 6.Flowchart Alur Prototype

Penjelasan dari *flowchart* alur *prototype*

- Pertama yaitu mendeteksi input suhu dari sensor *termocouple*
- Kemudian suhu naik jika suhu masih di bawah 80°C maka kembali ke pembacaan sesor *termocouple* dan jika suhu di atas 80°C di teruskan untuk mengendalikan Motor DC
- Kemudian kecepatan motor di kendalikan menambah kecepatan atau mengurangi kecepatan di lanjutkan ke pengecekan suhu
- Kemudian penampilan suhu Normal dari LCD
- Selesai

3.5.Pembuatan alat dan *software*

1. Pembuatan alat *prototype*



Gambar 3. 7. *Prototype* sistem kendali pada mesin *extruder straw* berbasis *Thermocouple*

2. Pembuatan *software*

Pada sistem ini pada dasarnya adalah deteksi suhu panas hasil deteksi diolah untuk kecepatan motor. Ketika alat deteksi suhu mulai dioperasikan, yang pertama kali dideteksi adalah program untuk pembacaan suhu. List program untuk membaca suhu *heater* adalah sebagai berikut.

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h> // call library LCD I2C
#include <max6675.h> // call library max6675 (thermocouple)
#include <AFMotor.h> // call library AFMotor.h (L293D shield)
#include <EEPROM.h> // call library EEPROM.h (memori)

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27 , 16, 2);
AF_DCMotor motor(4); // set pin M4 sbg output motor

#define memori_1 1 // set alamat memori pada ruang memori
EEPROM 1
#define memori_2 3
#define memori_3 7

#define e_button A0 // set pin A0 sbg tombol emergency
#define res_button A1 // set pin A1 sbg tombol reset

int led_red = 3; // set pin D3 sbg led merah
int led_yellow = 6; // set pin D6 sbg led kuning
int led_green = 11; // set pin D11 sbg led hijau

int SO = 9; // set pin SO di pin-D 9
int CS = 10; // set pin CS di pin-D 10
int CLK = 13; // set pin CLK atau SCK ke pin-D 13
MAX6675 thermocouple(CLK, CS, SO); // mapping pin module
thermocouple ke library MAX776.h
float suhu = 0; // variabel untuk menampung nilai suhu
int j=0; // variabel untuk menampung nilai suhu, diteruskan ke
rumus kecepatan
int i; // variabel untuk menampung nilai memori
int k;
int l;
int m;

float rev=0; // variabel untuk menampung nilai kenaikan pin
interrupt
int rpm; // variabel untuk menampung nilai rpm motor
```

```

int oldtime=0;    // variabel untuk menampung nilai perbandingan
                 waktu deteksi objek
int time;        // variabel untuk menampung nilai waktu/clock internal

void setup(){

  Serial.begin(9600);
  lcd.init();           // initialize LCD
  lcd.backlight();     // menyalakan lampu backlight LCD
  attachInterrupt(0,isr,RISING); // set pin interrupt pada pin D2(0) //
  attaching interrupt pin

  pinMode(e_button, INPUT_PULLUP); // set pin e_button sbg
  INPUT an
  pinMode(res_button, INPUT_PULLUP); // set pin res_button sbg
  INPUT an

  pinMode(led_red, OUTPUT); // set pin led_red sbg OUTPUT an
  pinMode(led_yellow, OUTPUT); // set pin led_yellow sbg
  OUTPUT an
  pinMode(led_green, OUTPUT); // set pin led_green sbg
  OUTPUT an

  EEPROM.get(memori_1, i); // membaca nilai variabel i dari
  EEPROM
  EEPROM.get(memori_2, k);
  EEPROM.get(memori_3, l);
}

void loop()
{
  motor.run(FORWARD);
  button(); // memanggil sub-program button()
  motor_speed(); // memanggil sub program motor_speed();
  suhu = thermocouple.readCelsius(); // variabel suhu merupakan
  pembacaan nilai temperatur dalam derajat C
  delay(1000); // tunda 1 detik
  detachInterrupt(0); //detaches the interrupt
  time=millis()-oldtime; //finds the time
  rpm=(rev/time)*60000; //calculates rpm
  oldtime=millis(); //saves the current time
  rev=0; //nilai variabel rev = 0

  lcd.clear(); // hapus tampilan LCD
  lcd.setCursor(0,0); // set penulisan awal LCD

```

```

    lcd.print("SUHU : "); // LCD menampilkan format SUHU
    lcd.print(suhu);      // LCD menampilkan nilai variabel suhu
    lcd.print(" C");      // LCD menampilkan format C
    lcd.print("\337");    // LCD menampilkan format simbol \337 --->
ASCII for DERAJAT
    lcd.setCursor(0,1);  // set penulisan awal LCD
    lcd.print("SPEED : "); // LCD menampilkan format SPPED :
    lcd.print(rpm);      // LCD menampilkan nilai varibel rpm
    lcd.print(" RPM");   // LCD menampilkan format RPM
    lcd.print(" ");      // LCD meanmpilkan format (space)
    Serial.println();
    Serial.print("SUHU : ");
    Serial.print(suhu);
    Serial.println(" C");
    Serial.print("SPEED : ");
    Serial.print(rpm);
    Serial.println(" RPM");

    attachInterrupt(0,isr,RISING); //set pin interupt pada pin D2(0) //
    attaching interupt pin
}

void isr() //interrupt service routine
{
    rev++;
}

void motor_speed(){ //sub program untuk kecepatan motor
    if ((suhu >= 89)&&(suhu <= 91)&&(i == 0)&&( k == 0)&&(l == 0)){
        motor.setSpeed(139);          // set PWM untuk kecepatan motor (
        max PWM 255, min 0 = motor mati)
        digitalWrite(led_red, LOW);    // LOW = mati
        digitalWrite(led_yellow, LOW); //
        digitalWrite(led_green, HIGH); // HIGH = hidup
    }
    else if ((suhu > 91)&&(suhu < 108)&&(i == 0)&&( k == 0)&&(l ==
    0)){
        j=139+(72/(109 - suhu)), DEC; // rumus nilai PWM berdasarkan
        nilai suhu yang terbaca
        motor.setSpeed(j);             // set PWM untuk kecepatan motor
        (nilai PWM adalah nilai variabel j)
        digitalWrite(led_red, LOW);
        digitalWrite(led_yellow, HIGH);
    }
}

```

```

digitalWrite(led_green, LOW);
}
else if ((suhu > 72)&&(suhu < 89)&&(i == 0)&&( k == 0)&&(l == 0)){
j=139-(72/(200 - suhu)), DEC;
motor.setSpeed(j);
digitalWrite(led_red, LOW);
digitalWrite(led_yellow, HIGH);
digitalWrite(led_green, LOW);
}
else if ((suhu > 108)&&(suhu <= 110)&&(i == 0)&&( k == 0)&&(l ==
0)){
motor.setSpeed(208);
digitalWrite(led_red, LOW);
digitalWrite(led_yellow, HIGH);
digitalWrite(led_green, LOW);
}
else if ((suhu >= 70)&&(suhu <72)&&(i == 0)&&( k == 0)&&(l ==
0)){
motor.setSpeed(75);
digitalWrite(led_red, HIGH);
digitalWrite(led_yellow, LOW);
digitalWrite(led_green, LOW);
}
else if ((suhu > 110)|| (suhu < 70)|| (i == 1)|| (k == 0)|| (l == 1)){
motor.setSpeed(0);
digitalWrite(led_red, HIGH);
digitalWrite(led_yellow, LOW);
digitalWrite(led_green, LOW);
}
if (suhu >110){
k = 1;
EEPROM.put(memori_2, k);
}
if (suhu >73){
m = 1;
}
if ((m == 1)&&(suhu < 69)){
l = 1;
EEPROM.put(memori_3, l);
}
Serial.print(k);
}

void button(){

```

```

int e_state = analogRead(e_button);    // nilai variabel e_state,
marupakan nilai dari pembacaan dr INPUT an e_button
int res_state = analogRead(res_button);

if (e_state >=900){                    // jika nilai variabel e_state lebih dari
900, maka :
    i=1;                               // nilai varibel i sama dengan satu
    EEPROM.put(memori_1, i);           // update memori untuk nilai
variabel i
}
if (res_state >=900){
    i=0;
    k=0;
    l=0;
    m=0;
    EEPROM.put(memori_1, i);
    EEPROM.put(memori_2, k);
    EEPROM.put(memori_3, l);
}
if(i == 1){                            // jika variabel i bernilai 1, maka LCD
hanya akan menampilkan format EMERGENCY
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(3,0);
    lcd.print("EMERGENCY");
    Serial.println("EMERGENCY");
    digitalWrite(led_red, HIGH);
    digitalWrite(led_yellow, LOW);
    digitalWrite(led_green, LOW);
}
}
}

```

3.6. Perancangan Logika Fuzzy Pada Mesin Extruder Straw

Berdasarkan *flowchart* pada gambar 3.3 bahwa tahapan awal adalah membuat model penelitian yang menjadi acuan pada pembuatan *prototype*.

Parameter dasar Dalam penelitian ini, fokusnya adalah pada pemantauan suhu, panas, serta kecepatan putaran motor DC sebagai patokan dasar (*set point*) awal bahwa syarat mendapatkan hasil produksi *straw* yang baik kisaran suhu (89-91°C) seperti ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Parameter set point

No	Parameter	Keterangan
1	Suhu <i>Heater</i>	89-91°C
2	Kecepatan motor DC	5400 – 5900 RPM
3	Hasil kualitas <i>Straw</i>	Bagus 7 -10

Untuk menghitung suhu yang harus diberikan kepada pemanas dalam kerangka logika *fuzzy*, langkah-langkah yang diambil adalah sebagai berikut:

- 1) Fuzzifikasi adalah tahap transformasi nilai masukan dan keluaran yang tegas (*crisp*) menjadi nilai masukan dan keluaran yang kabur (*fuzzy*) dengan menggunakan fungsi-fungsi keanggotaan. Dalam konteks ini, terdapat himpunan masukan kabur yang mencakup:

- a) Suhu

Pada variabel suhu menggunakan fungsi keanggotaan segitiga dengan himpunan rendah, normal, dan tinggi.

**Gambar 3. 8.**Fungsi keanggotaan suhu

Dearajat keanggotaan untuk suhu adalah :

$$\mu_{\text{RENDAH}} x = (88 - x) / (88 - 80) = [\dots]$$

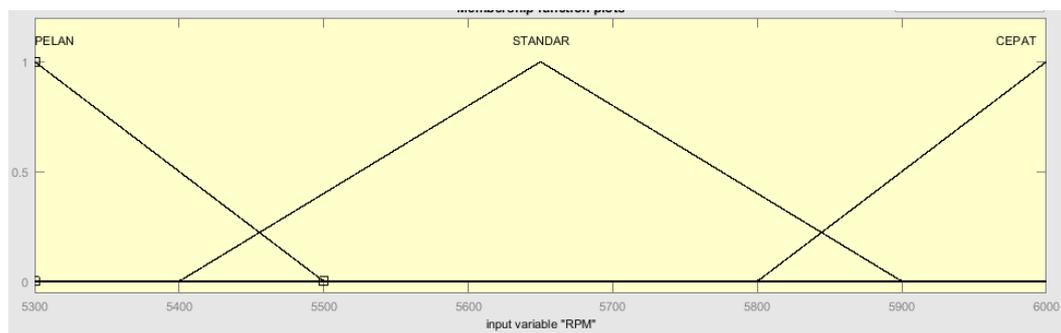
$$\mu_{\text{NORMAL}} x = (x - 86) / (90 - 86) = [\dots] \text{ atau}$$

$$x = (90 - x) / (94 - 90) = [\dots]$$

$$\mu_{\text{TINGGI}} x = (x - 92) / (100 - 92) = [\dots]$$

- b) RPM

Pada variabel RPM menggunakan fungsi keanggotaan trapesium dengan himpunan pelan, standar, dan cepat.



Gambar 3. 9.Fungsi keanggotaan RPM

Derajat keanggotaan untuk RPM adalah :

$$\mu_{\text{PELAN}} \quad x = (5500 - x) / (5500 - 5300) = [\dots]$$

$$\mu_{\text{STANDAR}} \quad x = (x - 5400) / (5650 - 5400) = [\dots] \text{ atau}$$

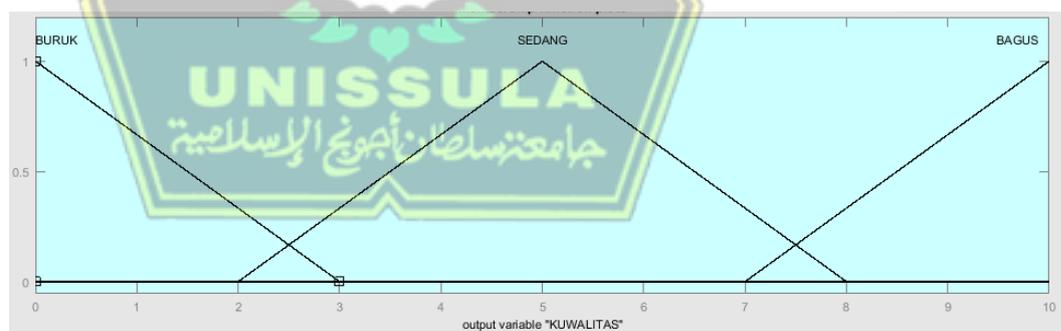
$$x = (5650 - x) / (5900 - 5650) = [\dots]$$

$$\mu_{\text{CEPAT}} \quad x = (x - 5800) / (6000 - 5800) = [\dots]$$

Adapun himpunan *output fuzzy* berupa:

c) kualitas

Pada variabel kualitas menggunakan fungsi keanggotaan segitiga dengan himpunan buruk, sedang, dan bagus.



Gambar 3. 10.Fungsi keanggotaan kualitas

Derajat keanggotaan untuk kualitas adalah :

$$\mu_{\text{BURUK}} \quad \alpha = (3 - x) / (3 - 0)$$

$$x = 3 - (\alpha * 3)$$

$$\mu_{\text{SEDANG}} \quad \alpha = (x - 2) / (5 - 2)$$

$$x = (\alpha * 3) + 2$$

atau

$$\alpha = (8 - x) / (8 - 5)$$

$$x = 8 - (\alpha * 3)$$

$$\mu_{\text{BAGUS}} \quad \alpha = (x - 7) / (10 - 7)$$

$$x = (\alpha * 3) + 7$$

2) Pembentukan *RULE*

1. If (SUHU is RENDAH) and (RPM is PELAN) then (KUWALITAS is BAGUS) (1)
2. If (SUHU is RENDAH) and (RPM is CEPAT) then (KUWALITAS is BURUK) (1)
3. If (SUHU is RENDAH) and (RPM is STANDAR) then (KUWALITAS is SEDANG) (1)
4. If (SUHU is NORMAL) and (RPM is PELAN) then (KUWALITAS is SEDANG) (1)
5. If (SUHU is NORMAL) and (RPM is CEPAT) then (KUWALITAS is SEDANG) (1)
6. If (SUHU is NORMAL) and (RPM is STANDAR) then (KUWALITAS is BAGUS) (1)
7. If (SUHU is TINGGI) and (RPM is PELAN) then (KUWALITAS is BURUK) (1)
8. If (SUHU is TINGGI) and (RPM is CEPAT) then (KUWALITAS is BAGUS) (1)
9. If (SUHU is TINGGI) and (RPM is STANDAR) then (KUWALITAS is SEDANG) (1)

Dalam hal ini *Rule –Rule* yang di bentuk sesuai dengan fuzzifikasi adalah:

- R1 suhu rendah, rpm pelan, straw bagus
- R2 suhu rendah, rpm pelan, straw sedang
- R3 suhu rendah, rpm pelan, straw buruk
- R4 suhu rendah, rpm standart , straw bagus
- R5 suhu rendah, rpm pelan, straw sedang
- R6 suhu rendah, rpm standart, straw buruk
- R7 suhu rendah, rpm Cepat, straw bagus
- R8 suhu rendah, rpm Cepat, straw sedang
- R9 suhu rendah, rpm Cepat, straw buruk
- RI0 suhu normal , rpm pelan, straw bagus
- R11 suhu normal, rpm pelan, straw sedang
- R12 suhu normal, rpm pelan, straw buruk
- R13 suhu normal, rpm standart , straw bagus
- R14 suhu normal, rpm pelan, straw sedang
- R15 suhu normal, rpm standart, straw buruk
- R16 suhu normal, rpm Cepat, straw bagus
- R17 suhu normal, rpm Cepat, straw sedang

- R18 suhu normal, rpm Cepat, straw buruk
- R19 suhu tinggi , rpm pelan, straw bagus
- R20 suhu tinggi, rpm pelan, straw sedang
- R21 suhu tinggi, rpm pelan, straw buruk
- R22 suhu tinggi, rpm standart , straw bagus
- R23 suhu tinggi, rpm pelan, straw sedang
- R24 suhu tinggi, rpm standart, straw buruk
- R25 suhu tinggi, rpm Cepat, straw bagus
- R26 suhu tinggi, rpm Cepat, straw sedang
- R27 suhu tinggi, rpm Cepat, straw buruk

3) Mesin Inferensi

Dengan mengikuti pada pembentukan rule menggunakan fungsi *MIN* untuk setiap aturan sehingga akan diperoleh nilai *alpha predikat* (α). Berikut mesin *inferensi* berdasarkan *rule*.

RI	IF suhu <i>rendah</i> , RPM <i>pelan</i> THEN kualitas straw <i>bagus</i>
α_1	$= \mu$ suhu <i>rendah</i> n μ RPM <i>pelan</i> $= \min (\mu$ suhu <i>rendah</i> [...] n μ RPM <i>pelan</i> [...]) $=$ [...]
x1	$=$ x1 bagus $= (\alpha_1 * 3) + 7$ $=$ [...]
R2	IF suhu <i>rendah</i> , RPM <i>cepat</i> THEN kualitas straw <i>buruk</i>
α_2	$= \mu$ suhu <i>rendah</i> n μ RPM <i>cepat</i> $= \min (\mu$ suhu <i>rendah</i> [...] n μ RPM <i>cepat</i> [...]) $=$ [...]
x2	$=$ x2 buruk

	$= 3 - (\alpha_2 * 3)$ $= [\dots]$
R3	IF suhu <i>rendah</i> , RPM <i>standar</i> THEN kualitas straw <i>sedang</i>
α_3	$= \mu$ suhu <i>rendah</i> n μ RPM <i>standar</i> $= \min (\mu$ suhu <i>rendah</i> [...] n μ RPM <i>standar</i> [...]) $= [\dots]$
x3	$= x_3$ sedang $= (\alpha_3 * 3) + 2$ atau $x = 8 - (\alpha_3 * 3)$ $= [\dots]$
R4	IF suhu <i>normal</i> , RPM <i>pelan</i> THEN kualitas straw <i>sedang</i>
α_4	$= \mu$ suhu <i>normal</i> n μ RPM <i>pelan</i> $= \min (\mu$ suhu <i>normal</i> [...] n μ RPM <i>pelan</i> [...]) $= [\dots]$
x4	$= x_4$ sedang $= (\alpha_4 * 3) + 2$ atau $x = 8 - (\alpha_4 * 3)$ $= [\dots]$
R5	IF suhu <i>normal</i> , RPM <i>cepat</i> THEN kualitas straw <i>sedang</i>
α_5	$= \mu$ suhu <i>normal</i> n μ RPM <i>cepat</i> $= \min (\mu$ suhu <i>normal</i> [...] n μ RPM <i>cepat</i> [...]) $= [\dots]$
x5	$= x_5$ sedang $= (\alpha_5 * 3) + 2$ atau $x = 8 - (\alpha_5 * 3)$ $= [\dots]$
R6	IF suhu <i>normal</i> , RPM <i>standar</i> THEN kualitas straw <i>bagus</i>

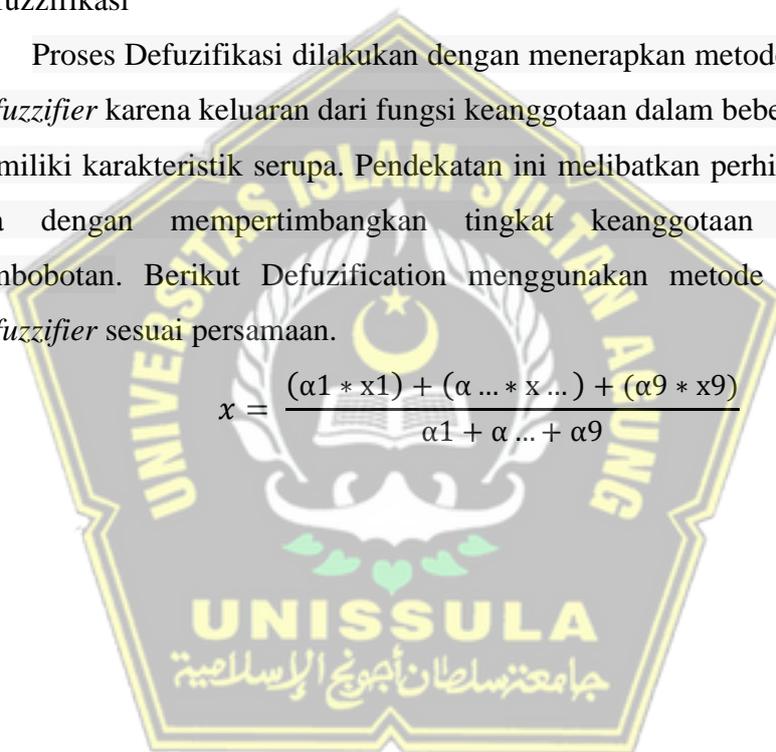
α_6	<p>= μ suhu <i>normal</i> n μ RPM <i>standar</i></p> <p>= $\min(\mu$ suhu <i>normal</i> [...] n μ RPM <i>standar</i> [...])</p> <p>= [...]</p>
x6	<p>= x6 <i>sedang</i></p> <p>= $(\alpha_6 * 3) + 2$ atau $x = 8 - (\alpha_6 * 3)$</p> <p>= [...]</p>
R7	IF suhu <i>tinggi</i> , RPM <i>pelan</i> THEN kualitas straw <i>buruk</i>
α_7	<p>= μ suhu <i>tinggi</i> n μ RPM <i>pelan</i></p> <p>= $\min(\mu$ suhu <i>tinggi</i> [...] n μ RPM <i>pelan</i> [...])</p> <p>= [...]</p>
x7	<p>= x7 <i>buruk</i></p> <p>= $3 - (\alpha_7 * 3)$</p> <p>= [...]</p>
R8	IF suhu <i>tinggi</i> , RPM <i>cepat</i> THEN kualitas straw <i>bagus</i>
α_8	<p>= μ suhu <i>tinggi</i> n μ RPM <i>cepat</i></p> <p>= $\min(\mu$ suhu <i>tinggi</i> [...] n μ RPM <i>cepat</i> [...])</p> <p>= [...]</p>
x8	<p>= x8 <i>bagus</i></p> <p>= $(\alpha_8 * 3) + 7$</p> <p>= [...]</p>
R9	IF suhu <i>tinggi</i> , RPM <i>standar</i> THEN kualitas straw <i>sedang</i>
α_9	<p>= μ suhu <i>tinggi</i> n μ RPM <i>standar</i></p> <p>= $\min(\mu$ suhu <i>tinggi</i> [...] n μ RPM <i>standar</i> [...])</p>

x9	$= [\dots]$ $= x9 \text{ sedang}$ $= (\alpha_9 * 3) + 2 \text{ atau } x = 8 - (\alpha_9 * 3)$ $= [\dots]$
----	--

4) Defuzzifikasi

Proses Defuzzifikasi dilakukan dengan menerapkan metode *Center Average Defuzzifier* karena keluaran dari fungsi keanggotaan dalam beberapa proses *fuzzy* memiliki karakteristik serupa. Pendekatan ini melibatkan perhitungan nilai rata-rata dengan mempertimbangkan tingkat keanggotaan sebagai faktor pembobotan. Berikut Defuzzification menggunakan metode *Center Average Defuzzifier* sesuai persamaan.

$$x = \frac{(\alpha_1 * x_1) + (\alpha_{\dots} * x_{\dots}) + (\alpha_9 * x_9)}{\alpha_1 + \alpha_{\dots} + \alpha_9}$$

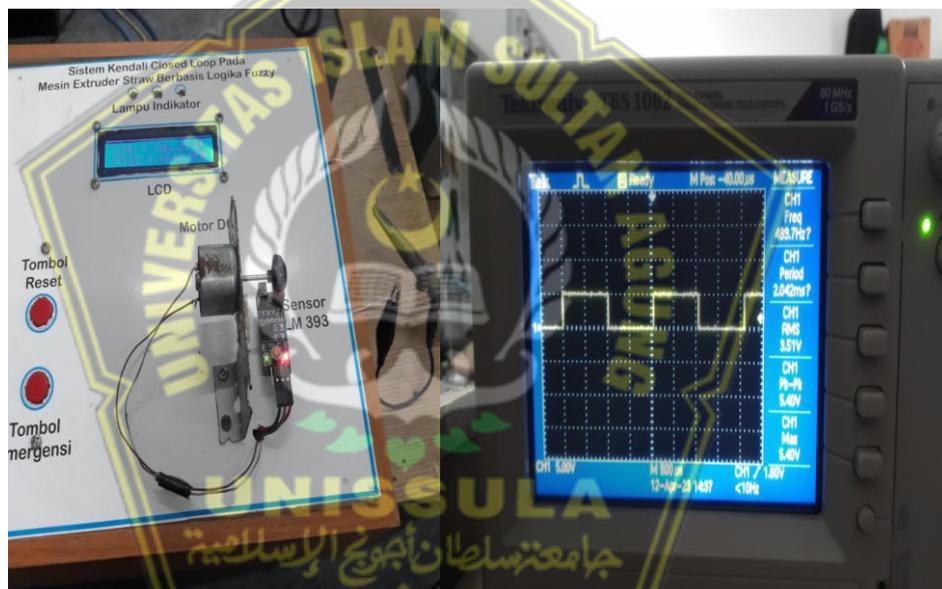


BAB IV PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengujian Dasar

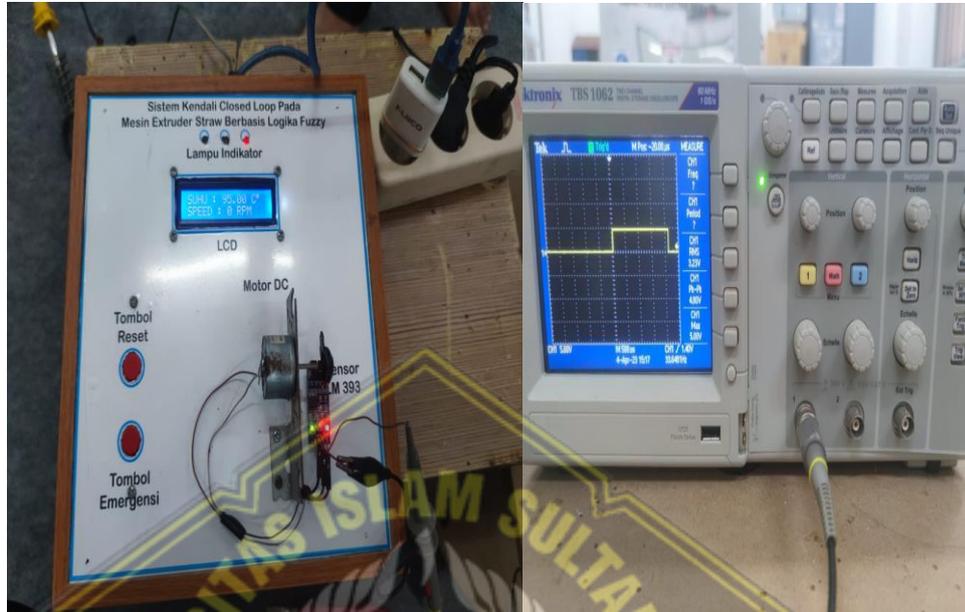
Pengujian awal pada Sistem Kendali Mesin *Extruder Straw* dilakukan pada kedua sensor dan program *board* Arduino UnoR3, hal ini dilakukan untuk memastikan komponen sensor dan *program board* pada *prototype* dapat bekerja dengan baik. Pengujian dasar yang dilakukan yaitu:

- 1) Pengujian terhadap *Thermocouple Temperature Sensor MAX6675* dengan *Osiloskop*, ditunjukkan Pada Gambar 4.1.

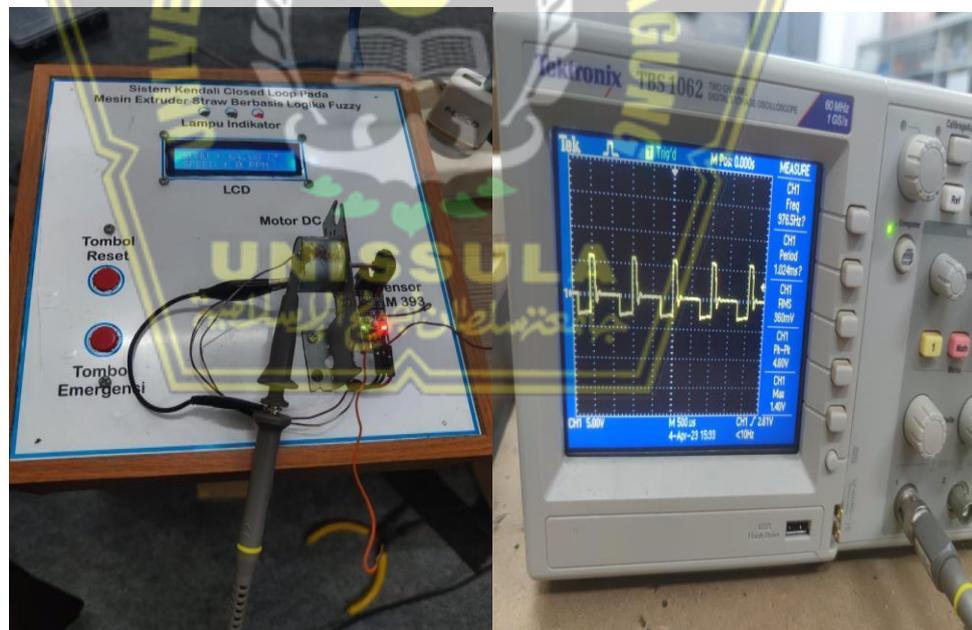


Gambar 4. 1. Uji Thermocouple Temperature Sensor MAX6675 dengan Osiloskop

2) Hasil uji *osiloscop* untuk Motor DC ditunjukkan pada Gambar 4.2 dan 4.3 berikut:

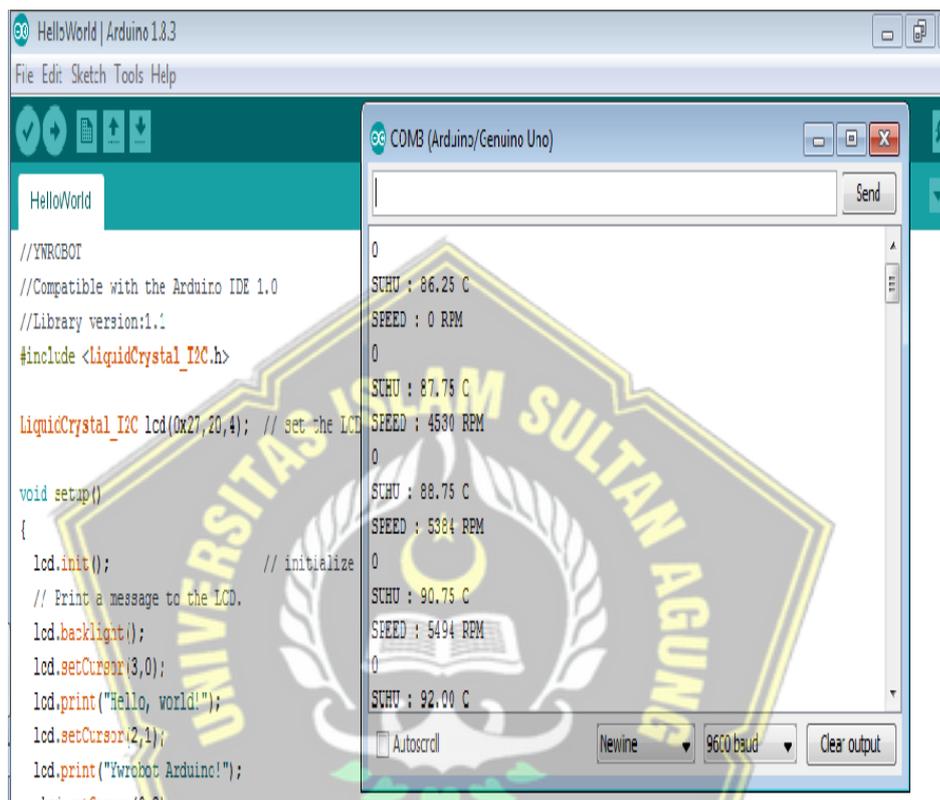


Gambar 4. 2.Uji Tegangan motor DC dengan osiloskop



Gambar 4. 3.Uji Putaran Motor DC dengan osiloskop

- 3) Pengujian dasar dilakukan untuk mengetahui nilai keluaran dari *Thermocouple Temperature Sensor MAX6675* dan *Speed RPM Motor DC* pada Serial Monitor, ditunjukkan pada Gambar 4.4.

The image shows the Arduino IDE interface with the Serial Monitor window open. The Serial Monitor displays the following data: 0, Suhu : 86.25 C, SPEED : 0 RPM, 0, Suhu : 87.75 C, SPEED : 4580 RPM, 0, Suhu : 88.75 C, SPEED : 5384 RPM, 0, Suhu : 90.75 C, SPEED : 5494 RPM, 0, Suhu : 92.00 C. The Serial Monitor settings are set to 9600 baud. The background of the image features a watermark of the Sultan Ageng Tjoto Islamic University logo.

```
0
Suhu : 86.25 C
SPEED : 0 RPM
0
Suhu : 87.75 C
SPEED : 4580 RPM
0
Suhu : 88.75 C
SPEED : 5384 RPM
0
Suhu : 90.75 C
SPEED : 5494 RPM
0
Suhu : 92.00 C
```

Gambar 4.4.Tampilan serial Monitor input Sensor

Tabel 4. Tampilan Serial monitor rendah sampai tinggi

Data Nilai Keluaran dari serial Monitor			
SUHU : 70.25 C SPEED : 0 RPM 0	SUHU : 81.00 C SPEED : 5054 RPM 0	0 SUHU : 93.50 C SPEED : 5224 RPM 0	0 SUHU : 102.00 C SPEED : 5489 RPM 0
SUHU : 71.25 C SPEED : 0 RPM 0	SUHU : 82.50 C SPEED : 5054 RPM 0	SUHU : 94.00 C SPEED : 5439 RPM 0	SUHU : 102.75 C SPEED : 5549 RPM 0
SUHU : 71.75 C SPEED : 0 RPM 0	SUHU : 83.25 C SPEED : 5059 RPM 0	SUHU : 94.25 C SPEED : 5219 RPM 0	SUHU : 103.00 C SPEED : 5544 RPM 0
SUHU : 72.50 C SPEED : 0 RPM 0	SUHU : 84.00 C SPEED : 5054 RPM 0	SUHU : 95.25 C SPEED : 5389 RPM 0	SUHU : 104.00 C SPEED : 5714 RPM 0
SUHU : 72.75 C SPEED : 4143 RPM 0	SUHU : 85.00 C SPEED : 5279 RPM 0	SUHU : 95.75 C SPEED : 5384 RPM 0	SUHU : 104.25 C SPEED : 5648 RPM 0
SUHU : 73.50 C SPEED : 5219 RPM 0	SUHU : 86.00 C SPEED : 5279 RPM 0	SUHU : 96.25 C SPEED : 5394 RPM 0	SUHU : 105.00 C SPEED : 5709 RPM 0
SUHU : 74.50 C SPEED : 5224 RPM 0	SUHU : 86.75 C SPEED : 5224 RPM 0	SUHU : 97.00 C SPEED : 5334 RPM 0	SUHU : 105.50 C SPEED : 5928 RPM 0
SUHU : 75.25 C SPEED : 5000 RPM 0	SUHU : 87.50 C SPEED : 5059 RPM 0	SUHU : 97.50 C SPEED : 5444 RPM 0	SUHU : 106.75 C SPEED : 5873 RPM 0
SUHU : 76.00 C SPEED : 5169 RPM 0	SUHU : 88.50 C SPEED : 5054 RPM 0	SUHU : 98.00 C SPEED : 5384 RPM 0	SUHU : 107.00 C SPEED : 6197 RPM 0
SUHU : 76.25 C SPEED : 5274 RPM 0	SUHU : 88.25 C SPEED : 5114 RPM 0	SUHU : 98.50 C SPEED : 5329 RPM 0	SUHU : 108.25 C SPEED : 6318 RPM 0
SUHU : 76.50 C SPEED : 5219 RPM 0	SUHU : 89.75 C SPEED : 5109 RPM 0	SUHU : 99.25 C SPEED : 5389 RPM 0	SUHU : 108.75 C SPEED : 7026 RPM 0
SUHU : 77.50 C SPEED : 5059 RPM 0	SUHU : 90.75 C SPEED : 5114 RPM 0	SUHU : 99.75 C SPEED : 5384 RPM 0	SUHU : 109.75 C SPEED : 7032 RPM 0
SUHU : 78.25 C SPEED : 5000 RPM 0	SUHU : 91.00 C SPEED : 5219 RPM 0	SUHU : 100.75 C SPEED : 5554 RPM 0	SUHU : 110.25 C SPEED : 6971 RPM 0
SUHU : 78.50 C SPEED : 5114 RPM 0	SUHU : 91.50 C SPEED : 5054 RPM 0	SUHU : 101.25 C SPEED : 5429 RPM 0	1 SUHU : 111.25 C SPEED : 1422 RPM 0
SUHU : 79.75 C SPEED : 5274 RPM 0	SUHU : 92.25 C SPEED : 5224 RPM 0	SUHU : 102.00 C SPEED : 5489 RPM 0	1 SUHU : 112.00 C SPEED : 0 RPM 0
SUHU : 80.50 C SPEED : 5279 RPM 0	SUHU : 92.50 C SPEED : 5384 RPM 0	SUHU : 101.25 C SPEED : 5429 RPM 0	

4.2. Pengujian Perhitungan Matlab

Fuzzy logic yang dipergunakan dalam *board prototype* Sistem Kendali berbasis *Thermocouple* pada *Mesin Extruder Straw* mengacu pada parameter *input*. Proses *fuzzyfikasi* terhadap input parameter yaitu suhu dan RPM Kecepatan Motor dan *output* kualitas.

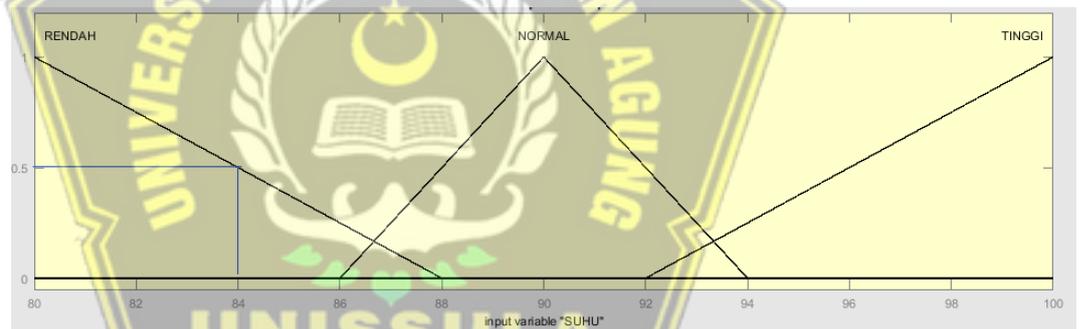
Untuk menentukan kualitas straw dengan suhu 84 dan RPM 5450 dalam logika *fuzzy*, sebagai berikut:

- 1) *Fuzzifikasi*, yaitu mengubah nilai *crisp input* dan *output* menjadi *fuzzy input* dan *output* menggunakan fungsi-fungsi keanggotaan.

Adapun himpunan *input fuzzy* berupa:

- a) Suhu

Pada variabel suhu 84 menggunakan fungsi keanggotaan segitiga dengan himpunan rendah, normal, dan tinggi.



Gambar 4. 5.Fungsi keanggotaan suhu

Derajat keanggotaan untuk suhu 84 adalah :

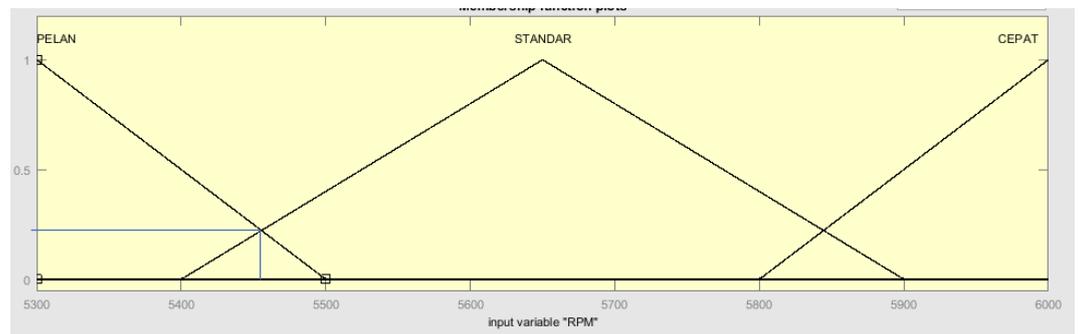
$$\mu_{\text{RENDAH}} [84] = (88 - 84) / (88 - 80) = 0,5$$

$$\mu_{\text{NORMAL}} [84] = 0$$

$$\mu_{\text{TINGGI}} [84] = 0$$

- b) RPM

Pada variabel RPM 5450 menggunakan fungsi keanggotaan segitiga dengan himpunan pelan, standar, dan cepat.



Gambar 4. 6.Fungsi keanggotaan RPM

Derajat keanggotaan untuk RPM 5450 adalah :

$$\mu_{\text{PELAN}} \quad 5450 = (5500 - 5450) / (5500 - 5300) = 0,25$$

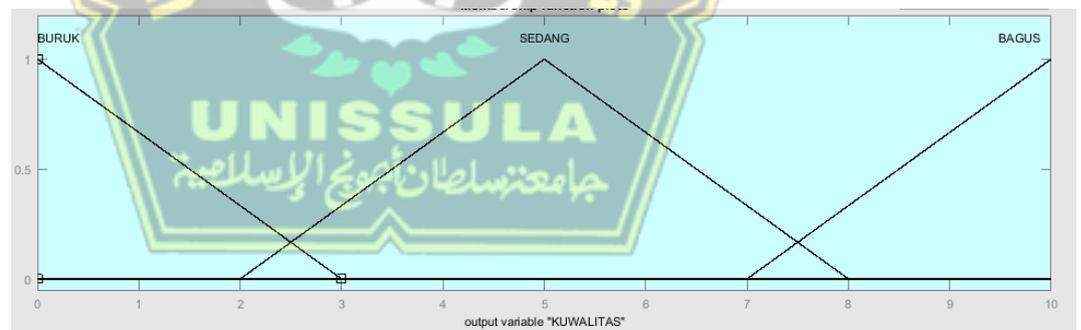
$$\mu_{\text{STANDAR}} \quad 5450 = (5450 - 5400) / (5650 - 5400) = 0,2$$

$$\mu_{\text{CEPAT}} \quad 5450 = 0$$

Adapun himpunan *output* fuzzy berupa:

c) kualitas

Pada variabel kualitas menggunakan fungsi keanggotaan segitiga dengan himpunan buruk, sedang, dan bagus.



Gambar 4. 7.Fungsi keanggotaan kualitas

Derajat keanggotaan untuk kualitas adalah :

$$\mu_{\text{BURUK}} \quad \alpha = (3 - x) / (3 - 0)$$

$$x = 3 - (\alpha * 3)$$

$$\mu_{\text{SEDANG}} \quad \alpha = (x - 2) / (5 - 2)$$

$$x = (\alpha * 3) + 2$$

atau

$$\alpha = (8 - x) / (8 - 5)$$

$$x = 8 - (\alpha * 3)$$

$$\mu_{\text{BAGUS}} \quad \alpha = (x - 7) / (10 - 7)$$

$$x = (\alpha * 3) + 7$$

2) Pembentukan *rule*

1. If (SUHU is RENDAH) and (RPM is PELAN) then (KUWALITAS is BAGUS) (1)
2. If (SUHU is RENDAH) and (RPM is CEPAT) then (KUWALITAS is BURUK) (1)
3. If (SUHU is RENDAH) and (RPM is STANDAR) then (KUWALITAS is SEDANG) (1)
4. If (SUHU is NORMAL) and (RPM is PELAN) then (KUWALITAS is SEDANG) (1)
5. If (SUHU is NORMAL) and (RPM is CEPAT) then (KUWALITAS is SEDANG) (1)
6. If (SUHU is NORMAL) and (RPM is STANDAR) then (KUWALITAS is BAGUS) (1)
7. If (SUHU is TINGGI) and (RPM is PELAN) then (KUWALITAS is BURUK) (1)
8. If (SUHU is TINGGI) and (RPM is CEPAT) then (KUWALITAS is BAGUS) (1)
9. If (SUHU is TINGGI) and (RPM is STANDAR) then (KUWALITAS is SEDANG) (1)

Dalam hal ini *RULE - RULE* yang dibentuk sesuai dengan *fuzzifikasi* adalah:

- R1 IF suhu rendah, RPM pelan THEN kualitas straw *bagus*
- R2 IF suhu rendah, RPM cepat THEN kualitas straw *buruk*
- R3 IF suhu rendah, RPM standar THEN kualitas straw *sedang*
- R4 IF suhu normal, RPM pelan THEN kualitas straw *sedang*
- R5 IF suhu normal, RPM cepat THEN kualitas straw *sedang*
- R6 IF suhu normal, RPM standar THEN kualitas straw *bagus*
- R7 IF suhu tinggi, RPM pelan THEN kualitas straw *buruk*
- R8 IF suhu tinggi, RPM cepat THEN kualitas straw *bagus*
- R9 IF suhu tinggi, RPM standar THEN kualitas straw *sedang*

3) Mesin *Inferensi*

Dengan mengikuti pada pembentukan *rule* menggunakan fungsi *MIN* untuk setiap aturan sehingga akan diperoleh nilai *alpha predikat* (α). Berikut mesin *inferensi* berdasarkan rule.

RI	IF suhu <i>rendah</i> , RPM <i>pelan</i> THEN kualitas straw <i>bagus</i>
α_1	$= \mu_{\text{suhu rendah}} \wedge \mu_{\text{RPM pelan}}$ $= \min(\mu_{\text{suhu rendah}} 0,5 \wedge \mu_{\text{RPM pelan}} 0,25)$

x1	$= 0,25$ $= (\alpha_1 * 3) + 7$ $= (0,25 * 3) + 7$ $= 7,75$
R2	IF suhu <i>rendah</i> , RPM <i>cepat</i> THEN kualitas straw <i>buruk</i>
α_2	$= \mu$ suhu <i>rendah</i> n μ RPM <i>cepat</i> $= \min(\mu$ suhu <i>rendah</i> 0,5 n μ RPM <i>cepat</i> 0) $= 0$
x2	$= x_2$ <i>buruk</i> $= 3 - (0 * 3)$ $= 3$
R3	IF suhu <i>rendah</i> , RPM <i>standar</i> THEN kualitas straw <i>sedang</i>
α_3	$= \mu$ suhu <i>rendah</i> n μ RPM <i>standar</i> $= \min(\mu$ suhu <i>rendah</i> 0,5 n μ RPM <i>standar</i> 0,2) $= 0,2$
x3	$= x_3$ <i>sedang</i> $= (0,2 * 3) + 2$ atau $x = 8 - (0,2 * 3)$ $= 2,6$ atau $7,6$ Rata – rata = $(2,6 + 7,6) / 2 = 5,1$
R4	IF suhu <i>normal</i> , RPM <i>pelan</i> THEN kualitas straw <i>sedang</i>
α_4	$= \mu$ suhu <i>normal</i> n μ RPM <i>pelan</i> $= \min(\mu$ suhu <i>normal</i> 0 n μ RPM <i>pelan</i> 0,25) $= 0$
x4	$= x_4$ <i>sedang</i>

	$= (0 * 3) + 2 \text{ atau } x = 8 - (0 * 3)$ $= 2 \text{ atau } 8$ $\text{Rata - rata} = (2 + 8) / 2 = 5$
R5	IF suhu <i>normal</i> , RPM <i>cepat</i> THEN kualitas straw <i>sedang</i>
α_5	$= \mu \text{ suhu } \textit{normal} \text{ n } \mu \text{ RPM } \textit{cepat}$ $= \min (\mu \text{ suhu } \textit{normal} \text{ 0 n } \mu \text{ RPM } \textit{cepat} \text{ 0})$ $= 0$
x5	$= x_5 \text{ sedang}$ $= (0 * 3) + 2 \text{ atau } x = 8 - (0 * 3)$ $= 2 \text{ atau } 8$ $\text{Rata - rata} = (2 + 8) / 2 = 5$
R6	IF suhu <i>normal</i> , RPM <i>standar</i> THEN kualitas straw <i>bagus</i>
α_6	$= \mu \text{ suhu } \textit{normal} \text{ n } \mu \text{ RPM } \textit{standar}$ $= \min (\mu \text{ suhu } \textit{normal} \text{ 0 n } \mu \text{ RPM } \textit{standar} \text{ 0,2})$ $= 0$
x6	$= x_6 \text{ sedang}$ $= (0 * 3) + 2 \text{ atau } x = 8 - (0 * 3)$ $= 2 \text{ atau } 8$ $\text{Rata - rata} = (2 + 8) / 2 = 5$
R7	IF suhu <i>tinggi</i> , RPM <i>pelan</i> THEN kualitas straw <i>buruk</i>
α_7	$= \mu \text{ suhu } \textit{tinggi} \text{ n } \mu \text{ RPM } \textit{pelan}$ $= \min (\mu \text{ suhu } \textit{tinggi} \text{ 0 n } \mu \text{ RPM } \textit{pelan} \text{ 0,25})$ $= 0$
x7	$= x_7 \text{ buruk}$

	$= 3 - (0 * 3)$ $= 3$
R8	IF suhu <i>tinggi</i> , RPM <i>cepat</i> THEN kualitas straw <i>bagus</i>
α_8	$= \mu \text{ suhu } \textit{tinggi} \text{ n } \mu \text{ RPM } \textit{cepat}$ $= \min (\mu \text{ suhu } \textit{tinggi} \text{ 0 n } \mu \text{ RPM } \textit{cepat} \text{ 0})$ $= 0$
x8	$= x_8 \textit{ bagus}$ $= (0 * 3) + 7$ $= 7$
R9	IF suhu <i>tinggi</i> , RPM <i>standar</i> THEN kualitas straw <i>sedang</i>
α_9	$= \mu \text{ suhu } \textit{tinggi} \text{ n } \mu \text{ RPM } \textit{standar}$ $= \min (\mu \text{ suhu } \textit{tinggi} \text{ 0 n } \mu \text{ RPM } \textit{standar} \text{ 0,2})$ $= 0$
x9	$= x_9 \textit{ sedang}$ $= (0 * 3) + 2 \text{ atau } x = 8 - (0 * 3)$ $= 2 \text{ atau } 8$ $\text{Rata - rata} = (2 + 8) / 2 = 5$

4) Defuzzifikasi

Defuzification menggunakan metode *Center Average Defuzzifier* karena output fungsi keanggotaan dari beberapa proses *fuzzy* mempunyai bentuk yang sama. Metode ini mengambil nilai rata-rata dengan menggunakan pembobotan berupa derajat keanggotaan. Berikut *Defuzification* menggunakan metode *Center Average Defuzzifier* sesuai persamaan.

$$\begin{aligned}
 & x \\
 & = \frac{(0,25 * 7,75) + (0 * 3) + (0,2 * 5,1) + (0 * 5) + (0 * 5) + (0 * 5) + (0 * 3) + (0 * 7) + (0 * 5)}{0,25 + 0 + 0,2 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0} \\
 & = \frac{2,96}{0,45} = 6,58
 \end{aligned}$$

Jadi, kualitas yang dihasilkan bernilai **6,58** maka hasilnya sedang.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Hasil Penelitian Sistem kendali pada mesin *extruder Straw* berbasis *Thermocouple* dan evaluasi kualitas produk menggunakan metode *Fuzzy logic* dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. *Prototype* Sistem kendali pada mesin *extruder straw* berhasil dibuat dengan menggunakan sensor *Termocouple Temperature Sensor*, sebagai parameter input dan ,Indikator LED sebagai *output* menunjukkan kualitas dengan memanfaatkan metode logika *Fuzzy*.
2. Mengurangi Hasil cacat Produksi dari mesin *extruder Straw* karena *prototype* ini bisa mendeteksi jika suhu *over heat* atau *down heat*, untuk mengontrol motor Dc mesin *Straw* agar bisa mati secara otomatis.
3. Hasil pengujian kendali pada mesin *extruder* berbasis *Thermocouple* dibandingkan dengan analisis Matlab,dengan metode *Center Average Defuzzifier* diperoleh nilai kualitas yang dihasilkan bernilai 6,58 maka hasilnya sedang . System dengan logika *Fuzzy* dapat bekerja pada dua kondisi kadar suhu yaitu sedang dan tinggi , dimana RPM Motor DC dapat dikontrol dengan *indicator* suhu *Heater* dalam mesin *Extruder Straw*.

5.2 Saran

Berikut saran peneliti untuk pengembangan penelitian di masa depan, yaitu:

1. *Data monitoring* dapat digunakan untuk pengembangan penelitian mesin *Extruder straw* terbaru di masa depan, yaitu dengan menambahkan metode analisis lain seperti Algoritma Genetika.
2. *Prototype kedepan* di tambahkan sensor pengaman dan Alarm sehingga alat bisa lebih baik digunakan untuk jangka waktu yang lama.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. S. Veronika Simbar and A. Syahrin, "Prototype Sistem Monitoring Temperatur Menggunakan Arduino Uno R3 Dengan Komunikasi Wireless," *J. Tek. Mesin*, vol. 5, no. 4, p. 48, 2017, doi: 10.22441/jtm.v5i4.1225.
- [2] Y. Faradesil, "Rancang Bangun Mesin Extruder Molding Pellet Plastik Jenis Polypropylene Kapasitas 10 Kg/jam," ... *Bangun Mesin Extruder Molding Pellet Plast. ...*, 2019, [Online]. Available: <http://repository.ppns.ac.id/id/eprint/2576>
- [3] M. G. Yuzan, "Pengaruh Perpindahan Panas Tabung Barrel Pada Mesin Extruder Plastik," *J. Ilm. Mhs. Tek. [JIMT]*, vol. 1, no. 3, pp. 1–8, 2021.
- [4] A. G. Permana and M. Iqbal, "Mesin Pengolah Sampah Portabel Multiguna Dengan Teknik Termocontrol Dan Termocople," *Sebatik*, vol. 23, no. 2, pp. 423–430, 2019, doi: 10.46984/sebatik.v23i2.794.
- [5] D. I. Saputra, R. A. Permana, P. Studi, T. Elektro, U. Jenderal, and A. Yani, "Perancangan Dan Implementasi Real Time Operating System Pada Sistem Kendali Suhu," *J. Energy Electr. ...*, vol. 03, no. 02, pp. 94–100, 2022, [Online]. Available: <https://jurnal.unsil.ac.id/index.php/jeee/article/view/4744%0Ahttps://jurnal.unsil.ac.id/index.php/jeee/article/download/4744/2138>
- [6] B. C. Ningrum, Y. Yulianto, and S. Sungkono, "Sistem Kontrol Torsi Motor Extruder Mesin Molding Microplastic Metode Fuzzy Logic Berbasis NI MyRio 1900," *J. Elektron. dan Otomasi Ind.*, vol. 8, no. 3, p. 190, 2021, doi: 10.33795/elk.v8i3.255.
- [7] Y. Satriawan, Y. Yulianto, and S. Sungkono, "Sistem Kontrol Penggerak Motor Stepper Molding Microplastik Metode Fuzzy Logic Berbasis Myrio," *J. Elektron. dan Otomasi Ind.*, vol. 9, no. 1, p. 62, 2022, doi: 10.33795/elk.v9i1.256.
- [8] A. I. Pratiwi and Y. A. Wibowo, "Pengendalian Kualitas Untuk Meminimasi Reject Start Di Mesin Extruder Menggunakan Metode Pdca Di Pt Wahana Duta Jaya Rucika," *Ind. Xplore*, vol. 3, no. 1, 2018, doi: 10.36805/teknikindustri.v3i1.367.
- [9] S. A. Oke, A. O. Johnson, O. E. Charles-Owaba, F. A. Oyawale, and I. O. Popoola, "A neuro-fuzzy linguistic approach in optimizing the flow rate of a plastic extruder process," *Int. J. Sci. Technol.*, vol. 1, no. 2, pp. 115–123, 2006.

- [10] D. Artanto, *Interface Sensor dan Aktuator Menggunakan Proteus, Arduino, dan LabVIEW*. Deepublish, 2017. [Online]. Available: https://books.google.co.id/books?hl=en&lr=&id=1wA_DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR6&dq=Artanto,+D.+2017.+Interface+Sensor+dan+Aktuator+Menggunakan+Proteus,+Arduino,+dan+LabVIEW.+Sleman:+Deepublish.&ots=CXiB8A26V9&sig=II1IPznn2_f43_BQRnYzK03CexI&redir_esc=y#v=onepage
- [11] Abdul Kadir, *Simulasi Arduino*. Elex Media Komputindo, 2016.
- [12] S. Sendari, I. M. W. Irawan, and M. Nasrulloh, *Sensor Transducer*. Ahlimedia Book, 2021. [Online]. Available: https://www.google.co.id/books/edition/SENSOR_TRANSDUSER/2SFREA_AAQBAJ?hl=id&gbpv=1
- [13] S. Noviyani and Sumariyah, "Rancang Bangun Sistem Pengendali Temperatur Dengan Proporsional, Integral Dan Diferensial (Pid) Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno," *Berk. Fis.*, vol. 22, no. 2, pp. 62–67, 2019.
- [14] A. F. Nuroctavia, A. Murtono, and B. Priyadi, "Sistem Kendali Suhu Dan Kelembaban Pada Proses Fermentasi Tempe Dengan Metode Pid," *J. Elektron. dan Otomasi Ind.*, vol. 8, no. 3, p. 261, 2021, doi: 10.33795/elk.v8i3.304.
- [15] H. I. Islam *et al.*, "Sistem Kendali Suhu Dan Pemantauan Kelembaban Udara Ruangan Berbasis Arduino Uno Dengan Menggunakan Sensor Dht22 Dan Passive Infrared (Pir)," vol. V, no. Lcd. pp. SNF2016-CIP-119-SNF2016-CIP-124, 2016. doi: 10.21009/0305020123.
- [16] P. Asmaleni, D. Hamdani, and I. Sakti, "Pengembangan Sistem Kontrol Kipas Angin Dan Lampu Otomatis Berbasis Saklar Suara Menggunakan Arduino Uno," *J. Kumparan Fis.*, vol. 3, no. 1, pp. 59–66, 2020, doi: 10.33369/jkf.3.1.59-66.
- [17] Q. Hadromi and Y. Prabowo, "SISTEM PENGENDALI TEMPERATUR PADA PANEL SURYA MENGGUNAKAN MEDIA PENYEMPROTAN AIR OTOMATIS BERBASIS ARDUINO," *SKANIKA Sist. Komput. dan Tek. Inform.*, vol. 1, no. 2, pp. 630–634, 2018.
- [18] D. Kurnianto, A. M. Hadi, and E. Wahyudi, "Perancangan Sistem Kendali Otomatis pada Smart Home menggunakan Modul Arduino Uno," *J. Nas. Tek. Elektro*, vol. 5, no. 2, 2016, doi: 10.20449/jnte.v5i2.276.
- [19] A. Suwandi, A. Mahfud, and A. B. Rantawi, "Prototipe Sistem Kendali Otomatis Pengiriman (Dispatch) CPO di Storage Tank Berbasis Arduino Uno R3," *Prosiding SEMNASTERA (Seminar Nasional Teknologi dan Riset Terapan)*, no. September. pp. 98–104, 2019. [Online]. Available: <https://semnastera.polteksmi.ac.id/index.php/semnastera/article/view/16%0Ahttps://semnastera.polteksmi.ac.id/index.php/semnastera/article/viewFile/>

- [20] D. Setiawan, "Sistem Kendali Suhu Udara Dan Kelembaban Tanah pada Miniatur Green House Dengan Menggunakan Mikrokontroler Atmega 328," *J. Online Mhs. Bid. Tek. Elektro*, vol. 1, no. 1, 2016.
- [21] Y. S. Handayani and Y. Mardiana, "Mobil Remote Control Berbasis Arduino Dengan Sistem Kendali Menggunakan Android," in *Prosiding SAKTI (Seminar Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi)*, 2018, pp. 151–158.
- [22] D. E. A. Naba, *Tutorial CEPAT & MUDAH FUZZY LOGIC dengan MATLAB*. Agus Naba, 2009.
- [23] R. Wiradhana and M. Muslim, "Sistem pengendalian suhu pada tungku bakar menggunakan kontroler pid," *Jurnal Mahasiswa TEUB*, vol. 1, no. 5. pp. 1–6, 2014.
- [24] H. dkk. Antony, "Sistem Otomasi Rumah Berbasis Logika Fuzzy Menggunakan Arduino Uno R3 Untuk Mengoptimalkan Penggunaan Listrik," *J. Temat.*, pp. 17–25, 2013.
- [25] I. Maulana, D. Setyaningsih, M. S. Dra., and A. Chairunnas, "Model Monitoring Kecepatan Kendaraan Menggunakan Sensor LM393 dan GSM Shield Berbasis Arduino," *Ilmu Komput. FMIPA*, pp. 1–8, 2019, [Online]. Available: <https://docplayer.info/44963027-Model-monitoring-kecepatan-kendaraan-menggunakan-sensor-lm393-dan-gsm-shield-berbasis-arduino.html>
- [26] A. Gafur, I. D. PK, and B. Y. Dewantara, "Rancang Bangun Kendali Kecepatan Motor Berbasis Logika Fuzzy Untuk Sistem Propulsi Elektrik Pada Kapal Menggunakan Pulse Width Modulation (Pwm)," *Media Elektr.*, vol. 13, no. 1, p. 24, 2020, doi: 10.26714/me.13.1.2020.24-32.
- [27] 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," *J. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 5, no. 4, p. 403, 2018, doi: 10.25126/jtiik.201854766.
- [28] D. I. Pratiwi, M. Rivai, and F. Budiman, "Rancang Bangun Deteksi Jalur Pipa Terpendam Menggunakan Mobile Robot dengan Metal Detector," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 6, no. 1. p. 7, 2017. doi: 10.12962/j23373539.v6i1.21464.
- [29] E. Yazid, "Penerapan kendali cerdas pada sistem tangki air menggunakan logika fuzzy," *J. Fis. Himpun. Fis. Indones.*, vol. 9, no. 2, pp. 11–23, 2009.
- [30] M. N. Amri, B. Susilo, and Y. Hendrawan, "Pengaruh Pengendalian Suhu Berbasis Logika Fuzzy Dan Kecepatan Pengadukan Pada Evaporator

Vakum Double Jacket Terhadap Karakteristik Fisik Permen Susu,” *Jurnal Bioproses Komoditas Tropis*, vol. 3, no. 2. pp. 9–16, 2015.

- [31] H. Rohayani, “Analisis Sistem Pendukung Keputusan Dalam Memilih Program Studi Menggunakan Metode Logika Fuzzy,” *J. Sist. Inf.*, vol. 5, no. Analisis Sistem Pendukung Keputusan, pp. 530–539, 2013.
- [32] N. Helfi, “Implementasi Logika Fuzzy pada Sistem Kecerdasan Buatan,” *J. ELKHA*, vol. 4, no. 2, pp. 4–7, 2012, [Online]. Available: <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/Elkha/article/view/512>.
- [33] M. A. Fatoni, “Perancangan dan Fabrikasi Mesin Single Screw Extruder untuk Daur Ulang Plastik pada Filament Feed 3D Printing.” Institut Teknologi Kalimantan, 2019.
- [34] I. Okatama, “Analisa Peleburan Limbah Plastik Jenis Polyethylene Terphalate (Pet) Menjadi Biji Plastik Melalui Pengujian Alat Pelebur Plastik,” *J. Tek. Mesin*, vol. 5, no. 3, p. 20, 2017, doi: 10.22441/jtm.v5i3.1213.
- [35] T. Suryana, “Desain Modifikasi Screw Extruder Untuk Meningkatkan Outflow Yang Optimal Dan Meninimalkan Cacat Produk Pada Plastik,” *Teknobiz J. Ilm. Progr. Stud. Magister Tek. Mesin*, vol. 9, no. 1, pp. 19–27, 2019.
- [36] D. Iskandar, A. S. Sunarya, and G. Ananto, “Rancang Bangun Filament Extruder Machine Dengan Pemanfaatan Limbah Plastik Jenis Low Density Polyethylene Sebagai Bahan Baku 3D Printer,” *J. Publ. Politek. Manufaktur Bandung*, 2019.
- [37] D. Irawan and R. M. Bisono, “Rancang bangun prototype mesin ekstrusi polimer single screw,” *Semin. Nas. Multidisiplin 2018*, no. September, pp. 13–19, 2018.
- [38] A. Javed, “Arduino Basics,” *Build. Arduino Proj. Internet Things*, pp. 3–13, 2016, doi: 10.1007/978-1-4842-1940-9_1.
- [39] A. Saelan, “Logika Fuzzy,” *Makal. If2091 Strukt. Disk. Tahun 2009*, vol. 1, no. 13508029, pp. 1–5, 2009.
- [40] S. A. Dharma, T. J. Pattiasina, and E. M. Trianto, “Perancangan Aplikasi Rekomendasi Pemilihan Lokasi Rumah dengan Memanfaatkan Fuzzy Database Metode Tahani,” *Teknika*, vol. 4, no. 1, pp. 23–28, 2015, doi: 10.34148/teknika.v4i1.33.
- [41] T. W. Achiriani and A. S. Sitio, “Sistem Pendukung Keputusan Menentukan Kenaikan Gaji Menggunakan Metode Sugeno (Studi Kasus : PT . Sumatra Tobacco Trading Company),” *Sink. J. Penelit. Tek. Inform.*, vol. 3, no. 1, pp. 159–167, 2018.

- [42] Y. S.Kom.,M.Kom, “Fuzzy Logic Untuk Menentukan Kepuasan Siswa Terhadap Sarana dan Prasarana Sekolah Dengan Menggunakan Metode Sugeno,” *J. Ilm. Inform.*, vol. 6, no. 01, p. 32, 2018, doi: 10.33884/jif.v6i01.430.
- [43] Jasri, “Fuzzy Logic Tsukamoto untuk Menentukan Jenis Penyakit Hipertensi dengan Golongan Obat Yang Sesuai,” *Riau J. Comput. Sci.*, vol. 4, no. 1, pp. 69–84, 2017.
- [44] O. H. Manda and A. Johar, “Implementasi Fuzzy Query Database Untuk Pengelolaan Data Obat,” *J. Rekursif*, vol. 4, no. 1, pp. 93–106, 2016.
- [45] M. Abrori and A. H. Primahayu, “Aplikasi Logika Fuzzy Metode Mamdani,” *Jurnal Kaunia*, vol. XI, no. 2. pp. 91–99, 2015.
- [46] E. Haerani, “Analisa Kendali Logika Fuzzy Dengan Metode Defuzzifikasi COA (Center of Area), Bisektor , MOM (mean of Maximum), LOM (Largest of Maximum), DAN SOM (Smallest of Maximum),” *J. Sains dan Teknol. Ind.*, 2015.
- [47] A. Putri and Effendi, “Fuzzy Logic Untuk Menentukan Lokasi Kios Terbaik Di Kepri Mall Dengan Menggunakan Metode Sugeno,” *Tek. Inform.*, vol. 3, pp. 49–59, 2017.
- [48] B. Niam and M. S. Sungkar, “SISTEM MONITORING PENGAIRAN OTOMATIS DENGAN METODE,” vol. 10, no. 01, pp. 12–17, 2019.
- [49] POLLOCK DD, *Theory and properties of thermocouple elements*, no. 492. ASTM International, 1971. doi: 10.1520/stp492-eb.
- [50] D. S. Hermiyanty, Wandira Ayu Bertin, “Sensor MAX6675,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 8, no. 9, pp. 1–58, 2017, [Online]. Available: [http://repository.umy.ac.id/bitstream/handle/123456789/15684/BAB II.pdf?sequence=6&isAllowed=y](http://repository.umy.ac.id/bitstream/handle/123456789/15684/BAB%20II.pdf?sequence=6&isAllowed=y)
- [51] A. R. Hakim, W. T. Handoyo, A. Fauzi, and W. Sarwono, “Desain dan Kinerja Mesin Ekstruder Twin Screw untuk Pembuatan Pakan Ikan Terapung,” *J. Keteknikan Pertan.*, vol. 7, no. 2, pp. 129–136, 2020, doi: 10.19028/jtep.07.2.129-136.
- [52] M. L. Sonjaya, “Rancang Bangun Mesin Extruder Plastik Pada Pemanfaatan Limbah Plastik Dengan Menggunakan Screw Dan Barrel Bronze,” *Maj. Tek. Ind.*, vol. 27, no. 2, pp. 32–38, 2019.
- [53] H. M. Yudha, *Buku Ajar Penggunaan Motor Listrik*. Pantera Publishing, 2020.
- [54] M. Amin, R. Ananda, and J. Eska, “Analisis Penggunaan Driver Mini Victor L298N Terhadap Mobil Robot Dengan Dua Perintah Android Dan

Arduino Nano,” *JURTEKSI (Jurnal Teknol. dan Sist. Informasi)*, vol. 6, no. 1, pp. 51–58, 2019, doi: 10.33330/jurteksi.v6i1.396.

- [55] M. C. Brown, *Practical switching power supply design*. Elsevier, 2012.
- [56] A. Nugroho, K. E. Susilo, S. Winardi, and A. Budijanto, *Buku petunjuk praktikum mikrokontroler Arduino*. SCOPINDO MEDIA PUSTAKA, 2020.

