

# Sistem Kendali *Closed Loop* Pada Mesin *Extruder Straw* Berbasis Logika *Fuzzy*

Dany Sucipto\*, Muhammad Qomaruddin, Arief Marwanto

Magister Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung, Semarang

\*dany\_sucipto@yahoo.com

**Abstrak**— Akibat panas yang berlebihan pada *heater*, *heater* mati atau panas terlalu tinggi, tetapi motor DC pada ekstruder tetap berjalan dan mengeluarkan resin, sehingga hasil produksi tidak sesuai dengan desain. Sehingga diperlukan sebuah metoda untuk pengendalian mesin ekstruder agar produksi dapat berjalan dengan baik. Penelitian dilakukan dengan mengontrol parameter operasional seperti suhu, kecepatan ekstrusi pada mesin. *implementasi* sistem kendali *closed-loop* yang mampu beradaptasi dengan perubahan dalam proses ekstrusi. Sistem ini secara otomatis mengontrol parameter operasional berdasarkan umpan balik yang diterima dari keluaran produksi. Pengujian awal menunjukkan bahwa sistem kendali ini memiliki potensi untuk meningkatkan efisiensi produksi dan menghasilkan sedotan plastik dengan kualitas yang lebih stabil. Metode *logika fuzzy* 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 sistem kendali *closed-loop* mesin ekstruder straw menghasilkan dampak positif dalam mengatasi *variabilitas* produksi. Hasil percobaan menunjukkan bahwa metoda *closed loop* dan fuzzy logic yang diimplementasikan pada mesin ekstruder ini dapat mengatasi kerusakan produksi dengan nilai defuzifikasi 6,8 dengan nilai sedang. Sehingga kendali *closed-loop* dapat bekerja di dua kondisi yaitu panas sedang dan tinggi.

**Kata kunci** : *Close loop*, *Kendali*, *Logika Fuzzy*, *Mesin extruders*.

DOI: 10.22441/jte.2024.v15i1.001

## I. PENDAHULUAN

Penggunaan mikrokontroler arduino saat ini sudah banyak digunakan dalam berbagai bidang. Hal ini dimaksudkan untuk memberikan suatu kemudahan kepada manusia untuk mengetahui sesuatu hal analisis sebuah mesin. Salah satu bentuk kemudahan yang dimaksud yaitu dalam hal pengukuran suhu temperatur secara digital atau termometer digital. Termometer digital ini berbasiskan mikrokontroler, dimana aplikasi termometer digital dilakukan dengan melakukan konversi suhu menjadi data digital sehingga dapat diolah mikrokontroler di dalam paper[1]. Mesin ekstruder straw merupakan mesin produksi plastik membutuhkan suhu panas untuk melelehkan resin menjadi sebuah produk straw. Di dalam mesin ekstruder terdapat beberapa perangkat seperti motor induksi, heater, screw barrel dan hopper di dalam paper[2]. Tujuan dari perancangan sistem ini adalah agar suhu panas heater disinkronkan dengan kecepatan motor supaya menghasilkan lelehan resin sesuai standar pembuatan straw. Pada intinya rangkaian sistem ini dirancang untuk mengontrol dan memantau perubahan suhu yang terjadi pada heater yang dipasang sensor thermocouple dan pada motor di pasang sensor

kecepatan LM393 kemudian diubah menjadi nilai digital sehingga dapat diolah mikrokontroler dan ditampilkan di LCD di dalam paper[3]. Aplikasi dari mengontrol dan monitoring suhu ini selain hasil pengukuran ditampilkan pada layar LCD, hasil pengukurannya juga dapat di analisis supaya produk straw sesuai standar di dalam paper [4].

## II. PENELITIAN TERKAIT

Berdasarkan penelusuran judul penelitian yang mengambil judul system kendali closed loop pada mesin ekstruder Straw berbasis logika fuzzy terdapat beberapa penelitian, Antara lain Di dalam paper [5] telah membuat Perancangan dan implementasi Real Time Operating System pada system kendali suhu kandang ayam secara Closed loop alat ini bekerja jika sensor LM33 mengendalikan modul DIMMER lampu AC dan memeberikan data pada LCD dan system incubator menggunakan RTOS (Real Time Operating System) untuk memberi jadwal prioritas terhadap incubator kandang. Paper [6] menunjukkan Sistem Control Torsi Motor Extruder mesin Molding Microplastic Metode Fuzzy logic berbasis NI MyRIO 1900 untuk menyesuaikan kecepatan motor (RPM) pada Motor Stepper. Paper [7] melakukan penelitian dengan judul sitem control Motor Stepper Molding Microplastic Metode Fuzzy logic Berbasis MyRIO. Paper [8] telah membuat penelitian Pengendalian Kualitas Untuk Meminimasi Reject Start Di Mesin Extruder Menggunakan Metode Pdca Di Pt Wahana Duta Jaya Rucika.

System ini bekerja untuk mengoptimalkan laju aliran proses Screw dengan penerapan Neuro fuzzy dengan model mengidentifikasi dari output yang di inginkan dari sejumlah parameter input di dalam industry pengolahan limbah plastic. Pada penelitian ini, sistem kontrol motor dan suhu secara terintegrasi telah meningkatkan kinerja mesin 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.

## III. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dimulai dengan melakukan pengkajian hasil yang di dapat dari berbagai penelitian sebelumnya dan berdasarkan fenomena yang terjadi di industri plastic, sehingga dapat menjawab permasalahan terkait sitem kendali mesin ekstruder straw. Penelitian ini menggunakan jenis penelitian kuantitatif, yaitu penelitian yang melakukan pengamatan secara sistematis terhadap objek dengan cara mengumpulkan data-data berupa angka yang berguna dalam penelitian. Dalam hal

ini berguna untuk melakukan analisa monitoring suhu dan kecepatan motor DC pada mesin Extruder straw.[1]

**A. Lokasi dan waktu penelitian**

Proses penelitian, perencanaan, dan pembuatan alat berlangsung di kediaman penulis, Studi di mulai pada Desember 2022.

**B. Pendekatan penelitian**

Penelitian eksperimen merupakan metodologi yang di gunakan dalam penelitian ini. Dengan menggunakan Prototype[2] yang di buat, penelitian ini berupa melacak dan mengevaluasi hasil produksi yang di dihasilkan oleh mesin extruder[2]

**C. Model penelitian**

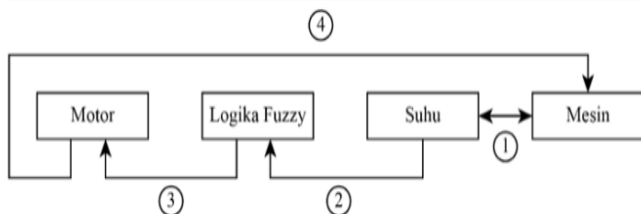
Model penelitian ini berupa perancangan prototype sistem kendali closed loop pada mesin extruder straw berbasis logika fuzzy untuk mengatur kecepatan motor dan hasil produksi seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Model Penelitian [3]

I/P	Proses	O/P
Suhu normal	Kecepatan motor	Cair
Suhu up	OFF	Normal
Suhu down	ON	Kental

Suhu panas stabil, naik dan turun menjadi faktor input kontrol motor. Logika fuzzy di dalam mikrokontroler akan mengolah data input sehingga output dari kecepatan motor akan mempengaruhi hasil produksi straw sesuai kondisi kebutuhan.



Gambar 2. Penerapan kendali fuzzy pada mesin extruder straw [4]

**Cara kerja :**

1. Mesin extruder di kontrol oleh sensor suhu.
2. Output sensor suhu di olah dengan logika fuzzy.
3. Output logika fuzzy untuk menjalankan motor DC.
4. Dan Motor DC untuk menggerakkan mesin.

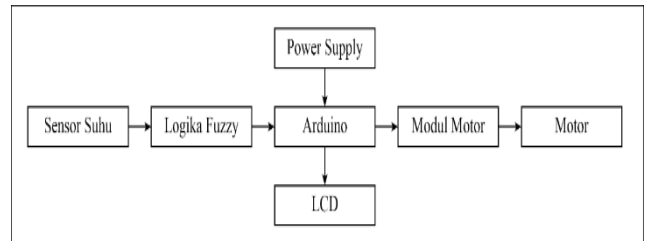
Alat dan bahan yang di butuhkan dalam pembuatan Prototype system kontrol mesin Extruder straw adalah:

1. Arduino uno R3
2. Power supply
3. Sensor Termokopel
4. Modul Max 6675

5. Motor DC
6. LCD 2x16
7. Sensor ukur kecepatan motor LM393
8. Driver Motor L298N
9. Tombol reset
10. Kabel Pelangi
11. Box Prototype

**D. Perancangan Hardware**

Blok diagram pada sistem ini dijelaskan pada Gambar 3.



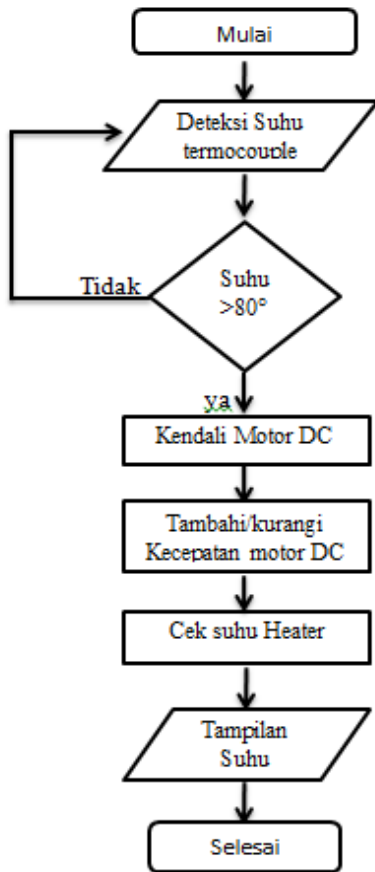
Gambar 3. Perancangan Hardware[5]

Penjelasan Blok diagram perancangan hardware:

1. Pertama yaitu power Suplay untuk memberi sumber tegangan Arduino UNO R3
2. Kemudian input sesor suhu di proses logika fuzzy kemudian proses ke arduino
3. Dari arduino proses ke modul motor driver untuk menjalankan motor DC
4. Kemudian pembacaan sensor suhu dan sensor kecepatan motor di tampilkan di LCD

**E. Flow Chart diagram alur Prototype**

Flow chart pada sistem ini dijelaskan pada Gambar 4.



Gambar 4. Flowchart Alur Prototype[6]

#### IV. HASIL DAN ANALISA

##### A. Pengujian Dasar

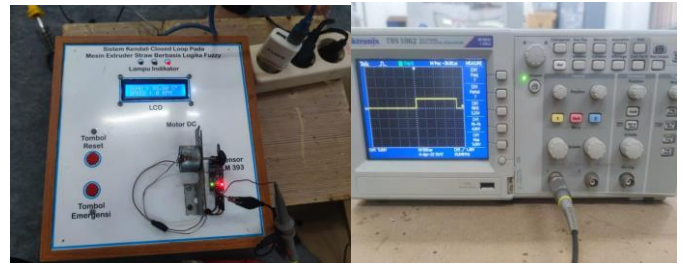
Pengujian dasar terhadap Sistem Kendali Closed Loop pada Mesin Extruder Staw dilakukan pada kedua sensor dan program Fuzzy Logic dalam board Arduino UnoR3, hal ini dilakukan untuk memastikan komponen sensor dan program board pada prototype dapat bekerja dengan baik. Pengujian dasar yang dilakukan yaitu:

1. Pengujian terhadap Thermocouple Temperature Sensor MAX6675 dengan Osiloskop, ditunjukkan pada Gambar 5.

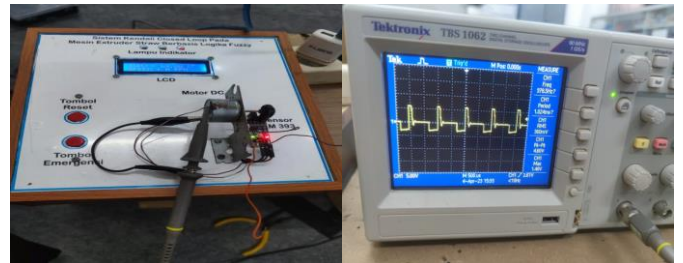


Gambar 5. Uji Thermocouple Temperature Sensor MAX6675 dengan Osiloskop[7]

2. Hasil uji osiloskop untuk sensor LM393 dan Motor DC ditunjukkan pada Gambar 6 dan 7 berikut:

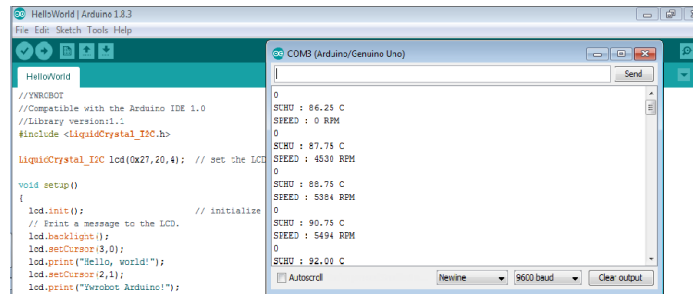


Gambar 6. Uji LM393 dengan osiloskop[8]



Gambar 7. Uji Motor DC dengan osiloskop[9]

3. Pengujian dasar dilakukan untuk mengetahui nilai keluaran dari Thermocouple Temperature Sensor MAX6675 dan Sensor LM393 pada Serial Monitor, ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Tampilan serial Monitor input Sensor.[10]

Tabel 1. Data keluaran dari Serial monitor [11]

Data Nilai Keluaran dari serial Monitor					
No.	Suhu (°C)	Speed (Rpm)	No.	Suhu (°C)	Speed (Rpm)
1	70.25	0	11	77.50	5059
2	71.25	0	12	78.25	5000
3	71.75	0	13	78.50	5114
4	72.50	0	14	79.75	5274
5	72.75	4143	15	80.50	5279
6	73.50	5219	16	81.00	5054
7	74.50	5224	17	82.50	5054
8	75.25	5000	18	83.25	5059
9	76.00	5169	19	84.00	5054
10	76.25	5274	20	85.00	5279

##### B. Pengujian Perhitungan Matlab

Fuzzy logic yang dipergunakan dalam board prototype Kendali Closed Loop pada Mesin Extruder Staw mengacu pada kedua parameter input. Proses fuzzyfikasi terhadap kedua input parameter yaitu suhu dan Kecepatan Motor dan output kualitas.

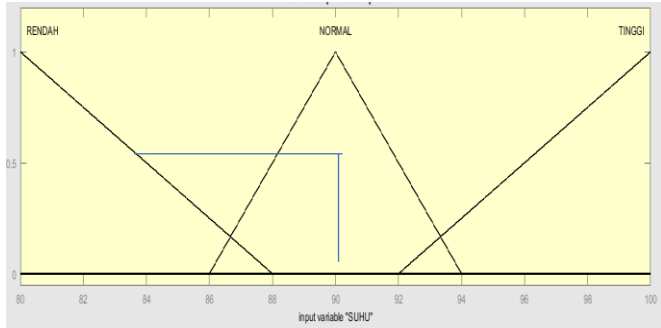
Untuk menentukan kualitas straw dengan suhu 84 dan RPM 5450 dalam logika fuzzy, sebagai berikut:

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

Adapun himpunan *input* fuzzy berupa:

**Suhu**

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



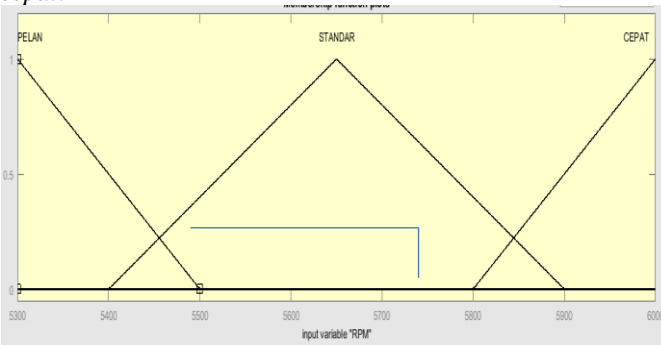
Gambar 9. Fungsi keanggotaan suhu[12]

Derajat keanggotaan untuk suhu 84 adalah :

$$\begin{aligned} \mu \text{ RENDAH } [84] &= (88 - 84) / (88 - 80) = 0,5 \\ \mu \text{ NORMAL } [84] &= 0 \\ \mu \text{ TINGGI } [84] &= 0 \end{aligned}$$

**RPM**

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



Gambar 10. Fungsi keanggotaan RPM[12]

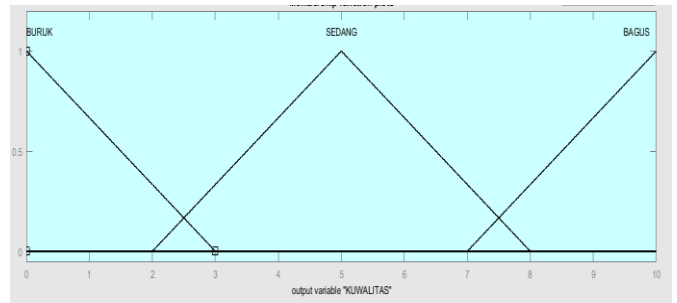
Derajat keanggotaan untuk RPM 5450 adalah :

$$\begin{aligned} \mu \text{ PELAN } 5450 &= (5500 - 5450) / (5500 - 5300) = 0,25 \\ \mu \text{ STANDAR } 5450 &= (5450 - 5400) / (5650 - 5400) = 0,2 \\ \mu \text{ CEPAT } 5450 &= 0 \end{aligned}$$

Adapun himpunan *output* fuzzy berupa:

**Kualitas**

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



Gambar 11. Fungsi keanggotaan kualitas.[12]

Derajat keanggotaan untuk kualitas adalah :

$$\begin{aligned} \mu \text{ BURUK } \quad \alpha &= (3 - x) / (3 - 0) \\ x &= 3 - (\alpha * 3) \\ \mu \text{ SEDANG } \quad \alpha &= (x - 2) / (5 - 2) \\ x &= (\alpha * 3) + 2 \\ \text{atau} \\ \alpha &= (8 - x) / (8 - 5) \\ x &= 8 - (\alpha * 3) \\ \mu \text{ BAGUS } \quad \alpha &= (x - 7) / (10 - 7) \\ x &= (\alpha * 3) + 7 \end{aligned}$$

**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)

Gambar 12. Pembentukan rule [13]

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*.

**Mesin Inferensi**

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

Tabel 2. Rule Mesin Inferensi.

RI	IF suhu <i>rendah</i> , RPM <i>pelan</i> THEN kualitas straw <i>bagus</i>
$\alpha 1$	$= \mu \text{ suhu rendah } \wedge \mu \text{ RPM pelan}$ $= \min (\mu \text{ suhu rendah } 0,5 \wedge \mu \text{ RPM pelan } 0,25)$ $= 0,25$
x1	$= (\alpha 1 * 3) + 7$ $= (0,25 * 3) + 7$

	$= 7,75$
R2 $\alpha_2$	IF suhu <i>rendah</i> , RPM <i>cepat</i> THEN kualitas straw <i>buruk</i> $= \mu$ suhu <i>rendah</i> n $\mu$ RPM <i>cepat</i> $= \min(\mu$ suhu <i>rendah</i> 0,5 n $\mu$ RPM <i>cepat</i> 0) $= 0$ $= x_2$ <i>buruk</i> $= 3 - (0 * 3)$ $= 3$
x2	
R3 $\alpha_3$	IF suhu <i>rendah</i> , RPM <i>standar</i> THEN kualitas straw <i>sedang</i> $= \mu$ suhu <i>rendah</i> n $\mu$ RPM <i>standar</i> $= \min(\mu$ suhu <i>rendah</i> 0,5 n $\mu$ RPM <i>standar</i> 0,2) $= 0,2$ $= x_3$ <i>sedang</i> $= (0,2 * 3) + 2$ atau $x = 8 - (0,2 * 3)$ $= 2,6$ atau $7,6$ Rata – rata $= (2,6 + 7,6) / 2 = 5,1$
x3	
R4 $\alpha_4$	IF suhu <i>normal</i> , RPM <i>pelan</i> THEN kualitas straw <i>sedang</i> $= \mu$ suhu <i>normal</i> n $\mu$ RPM <i>pelan</i> $= \min(\mu$ suhu <i>normal</i> 0 n $\mu$ RPM <i>pelan</i> 0,25) $= 0$ $= x_4$ <i>sedang</i> $= (0 * 3) + 2$ atau $x = 8 - (0 * 3)$ $= 2$ atau $8$ Rata – rata $= (2 + 8) / 2 = 5$
x4	
R5 $\alpha_5$	IF suhu <i>normal</i> , RPM <i>cepat</i> THEN kualitas straw <i>sedang</i> $= \mu$ suhu <i>normal</i> n $\mu$ RPM <i>cepat</i> $= \min(\mu$ suhu <i>normal</i> 0 n $\mu$ RPM <i>cepat</i> 0) $= 0$ $= x_5$ <i>sedang</i> $= (0 * 3) + 2$ atau $x = 8 - (0 * 3)$ $= 2$ atau $8$ Rata – rata $= (2 + 8) / 2 = 5$
x5	
R6 $\alpha_6$	IF suhu <i>normal</i> , RPM <i>standar</i> THEN kualitas straw <i>bagus</i> $= \mu$ suhu <i>normal</i> n $\mu$ RPM <i>standar</i> $= \min(\mu$ suhu <i>normal</i> 0 n $\mu$ RPM <i>standar</i> 0,2) $= 0$ $= x_6$ <i>sedang</i> $= (0 * 3) + 2$ atau $x = 8 - (0 * 3)$ $= 2$ atau $8$ Rata – rata $= (2 + 8) / 2 = 5$
x6	
R7 $\alpha_7$	IF suhu <i>tinggi</i> , RPM <i>pelan</i> THEN kualitas straw <i>buruk</i> $= \mu$ suhu <i>tinggi</i> n $\mu$ RPM <i>pelan</i> $= \min(\mu$ suhu <i>tinggi</i> 0 n $\mu$ RPM <i>pelan</i> 0,25) $= 0$ $= x_7$ <i>buruk</i> $= 3 - (0 * 3)$ $= 3$
x7	
R8 $\alpha_8$	IF suhu <i>tinggi</i> , RPM <i>cepat</i> THEN kualitas straw <i>bagus</i> $= \mu$ suhu <i>tinggi</i> n $\mu$ RPM <i>cepat</i> $= \min(\mu$ suhu <i>tinggi</i> 0 n $\mu$ RPM <i>cepat</i> 0) $= 0$ $= x_8$ <i>bagus</i> $= (0 * 3) + 7$ $= 7$
x8	

R9 $\alpha_9$	IF suhu <i>tinggi</i> , RPM <i>standar</i> THEN kualitas straw <i>sedang</i> $= \mu$ suhu <i>tinggi</i> n $\mu$ RPM <i>standar</i> $= \min(\mu$ suhu <i>tinggi</i> 0 n $\mu$ RPM <i>standar</i> 0,2) $= 0$ $= x_9$ <i>sedang</i> $= (0 * 3) + 2$ atau $x = 8 - (0 * 3)$ $= 2$ atau $8$ Rata – rata $= (2 + 8) / 2 = 5$
x9	

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.

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

Jadi, kualitas yang dihasilkan bernilai **6,58** maka hasilnya sedang.[14]dan[15]

#### V. KESIMPULAN

Hasil analisis Sistem kendali *Closed Loop* pada mesin extruder *Straw* menggunakan metode Fuzzy dapat disimpulkan sebagai berikut:

*Prototype* kendali *Close loop* berhasil dibuat dengan menggunakan sensor *Termocouple Temperature Sensor*, LM393 sebagai parameter input dan , Indikator LED sebagai *output* menunjukkan kualitas dengan memanfaatkan metode *logika Fuzzy*.

Mengurangi Hasil cacat atau buangan dari mesin extruder *Straw* karena *Prototype* ini bisa mendeteksi jika suhu *over heat* atau *down heat*, untuk mengontrol motor DC mesin *extruder Straw* agar bisa *off* secara otomatis.

Hasil pengujian kendali *Closed Loop* pada mesin extruder 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*.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada semua pihak yang bersedia membantu kami dalam menyelesaikan penelitian ini dan tim redaksi Jurnal Teknologi Elektro yang telah menrbitkan penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] 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.
- [2] Y. Faradesil, "Rancang Bangun Mesin Extruder Molding Pellet Plastik

- Jenis Polypropylene Kapasitas 10 Kg/jam,” *Ranc. Bangun Mesin Extruder Molding Pellet Plast. Jenis Polypropyl. Kapasitas 10 Kg/jam*, 2019.
- [3] A. Maydiantoro, “Model-Model Penelitian Pengembangan (Research and Development),” *J. Pengemb. profesi pendidik Indones.*, 2021.
- [4] B. F. B. Butar, “Pemodelan dan Kendali Fuzzy pada DC Drive,” *Setrum Sist. Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasi-komputer*, vol. 4, no. 1, pp. 24–29, 2016.
- [5] R. R. Abdullah and A. Wibowo, “Monitoring Suhu Ruangan Server Dengan Fuzzy Logic Metode Sugeno Menggunakan Arduino Dan SMS,” *Swabumi (Suara Wawasan Sukabumi) Ilmu Komputer, Manajemen, dan Sos.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–9, 2014.
- [6] I. A. Ridlo, “Panduan pembuatan flowchart,” *Fak. Kesehat. Masy.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–27, 2017.
- [7] I. W. Lastera and I. P. Arsikaputra, “PEMBUATAN DAN PENGGUNAAN ALAT KONVERTER UNIVERSAL OSILOSKOP SEBAGAI PERALATAN KATAGORI 2 PADA PRAKTIKUM ELEKTRONIKA DAYA,” *J. SPEKTRUM Vol*, vol. 7, no. 4, 2020.
- [8] I. S. Rifdian and H. Hartono, “Rancang Bangun Pulse Width Modulation (PWM) Sebagai Pengatur Kecepatan Motor DC Berbasis Mikrokontroler Arduino,” *J. Penelit.*, vol. 3, no. 1, pp. 50–58, 2018.
- [9] H. Hamzah, K. Hajati, and D. Darmawan, “Pengembangan Osiloskop Berbasis Arduino Uno Sebagai Media Pembelajaran Fisika,” *PHYDAGOGIC J. Fis. dan Pembelajarannya*, vol. 3, no. 2, pp. 80–87, 2021.
- [10] A. Javed and A. Javed, “Arduino Basics,” *Build. Arduino Proj. Internet Things Exp. with Real-World Appl.*, pp. 3–13, 2016.
- [11] D. Wheat, “Arduino software,” in *Arduino Internals*, Springer, 2011, pp. 89–97.
- [12] S. Matlab, “Matlab,” *MathWorks, Natick, MA*, 2012.
- [13] A. Knight, *Basics of MATLAB and Beyond*. CRC press, 2019.
- [14] M. A. Melgarejo, “Modified center average defuzzifier for improving the inverted pendulum dynamics,” in *2002 IEEE World Congress on Computational Intelligence. 2002 IEEE International Conference on Fuzzy Systems. FUZZ-IEEE’02. Proceedings (Cat. No. 02CH37291)*, IEEE, 2002, pp. 460–463.
- [15] W.-L. Chen, Y.-M. Chen, Y. Hao, and K.-Y. Chen, “The design and implementation of a lidar system with center average defuzzifier,” in *2017 International Conference on Fuzzy Theory and Its Applications (iFUZZY)*, IEEE, 2017, pp. 1–6.