

# Sistem Pengendalian Komposter Limbah Padat Tempe Menggunakan *Fuzzy Logic Control*

Nur Wahyu Aprilia Aditisar, Tundung Subali Patma, Bambang Priyadi

**Abstrak** — Kulit kedelai merupakan limbah padat tempe yang digunakan sebagai pakan ternak namun sisanya banyak yang terbuang, hal ini dapat menimbulkan bau yang tidak sedap di lingkungan sekitar. Salah satu solusi yang perlu dilakukan untuk mengurangi limbah kulit kedelai adalah dengan menjadikannya kompos. Saat ini banyak terdapat teknologi pengomposan untuk mempercepat terbentuknya kompos. Pada penelitian ini menggunakan limbah padat tempe dan Biotama-3 sebanyak 6% dengan kondisi termofilik yaitu 65°C. Metode kontrol yang digunakan untuk pengendalian ini ialah kontrol Fuzzy menggunakan Arduino Uno. Salah satu keuntungan kontrol Fuzzy adalah sebuah sistem yang sederhana sehingga lebih cepat dalam mengambil keputusan. Dalam penelitian ini menggunakan sensor suhu PT100, Arduino Uno, Motor DC Servo. Hasil pengujian kontroler Fuzzy dengan sistem pengendalian suhu komposter ini berhasil. Kontroler Fuzzy dapat menjaga kestabilan suhu dan error steady state juga sangat kecil.

**Kata kunci** : Fuzzy, Suhu, Komposter, limbah padat tempe, Arduino Uno

## I. PENDAHULUAN

**L**imbah adalah hasil samping dari proses produksi yang tidak akan digunakan, dapat berbentuk benda padat, cair, gas, suara dan getaran yang dapat menimbulkan pencemaran apabila tidak dikelola dengan benar. Salah satu limbah yang menjadi permasalahan bagi lingkungan adalah limbah padat tempe. Malang merupakan salah satu sentra industri pengolahan tempe, dan tentunya menghasilkan limbah padat maupun cair dari hasil proses pengolahan tempe mulai dari proses pencucian kulit kedelai, hingga proses setelah mengalami perebusan dan perendaman. Salah satu limbah yang dihasilkan dari industri pengolahan tempe di Malang adalah limbah padat tempe.

Limbah padat tempe berupa kulit kedelai sebagian digunakan sebagai pakan ternak dan sisanya banyak yang terbuang, hal ini dapat menimbulkan bau yang tidak sedap di lingkungan sekitar. Kulit kedelai mengandung protein kasar 17,89%, lemak kasar 5,5%, serat kasar 24,84% dan energi metabolis 2898 kkal/kg. Limbah industri tempe terdapat dalam jumlah yang melimpah mengingat banyaknya industri

tempe dan keripik tempe yang berada di kota Malang. Menurut data dari Badan Pusat Statistik berdasarkan pada perhitungan kasar pada tahun 2010 menunjukkan bahwa produksi tempe rata-rata berkisar 2,1 juta ton per tahun. Hal ini diperkuat dengan data perkembangan beberapa komoditi industri kecil tahu 2002, produksi tempe di daerah Kota Malang mencapai 2.908.500 kg menghasilkan limbah padat tempe berupa kulit kedelai sekitar 232.680 kg. Limbah merupakan permasalahan klasik yang kian membutuhkan perhatian untuk penuntasan solusi yang tepat. Banyaknya limbah padat yang dihasilkan oleh industri tempe menyebabkan perlunya adanya solusi cepat dan tepat agar permasalahan limbah padat tempe ini tidak berlarut-larut. Salah satu solusi yang bisa digunakan untuk mengatasi limbah padat tempe adalah dengan teknologi pengomposan untuk mengolah limbah menjadi kompos.

Saat ini banyak teknologi pengomposan untuk mempercepat terbentuknya kompos. Di beberapa negara maju terdapat banyak produk komposter mini dengan prinsip termofilik yang sangat praktis untuk menangani limbah padat organik. Di Indonesia sendiri komposter tersebut belum begitu berkembang.

Dalam makalah ini akan dibuat kompos dari limbah padat tempe dan Biotama-3 menggunakan alat komposter dengan suasana termofilik yaitu 65°C untuk mempercepat proses dekomposisi yang selama 20 hari menjadi 5 hari dan dapat membunuh bakteri patogen sehingga tidak timbul bau busuk. Alat komposter ini menggunakan kontroler Fuzzy. Fuzzy Logic adalah metodologi pemecahan masalah dengan beribu – ribu aplikasi dalam pengendali yang tersimpan dan pemrosesan informasi. Cocok untuk diimplementasikan pada sistem yang sederhana, kecil, tertanam pada mikro controller, PC multi-channel atau workstation berbasis akuisisi data dan control sistem.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Limbah Padat Tempe

Limbah padat tempe yang berupa kulit kedelai adalah limbah yang dihasilkan dalam proses pembuatan tempe maupun saat pencucian kedelai. Kulit kedelai merupakan limbah pertanian yang keberadaannya melimpah dan belum dimanfaatkan sebagai penunjang produk lain selain sebagai pakan ternak. Kulit kedelai mengandung protein kasar 17,89%, lemak kasar 5,5%, serat kasar 24,84% dan energi metabolis 2898 kkal/kg [2]. Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah padat tempe berupa kulit kedelai

Nur Wahyu Aprilia Aditisar adalah mahasiswa D4 Teknik Elektronika Politeknik Negeri Malang, email :aditisaraprilia@yahoo.co.id  
Tundung Subali Patma dan Bambang Priyadi adalah dosen Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang

yang diperoleh dari sentra industri tempe dan keripik tempe Sanan Malang.

**2.2 Biotama-3**

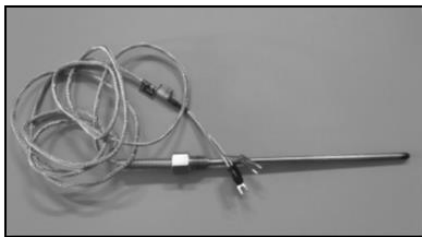
Biotama-3 merupakan produk decomposer yang berasal dari campuran beberapa mikroorganisme yang berasal dari alam dapat berperan dalam meningkatkan kesuburan tanah dan perlindungan terhadap organisme pengganggu tanaman. Beberapa jenis mikroorganisme yang dapat dikombinasikan di dalam biakan Biotama-3 ini antara lain adalah Rhizobium, Azotobacter, Lactobaccillus sp., Actinomycetes, Streptomyces dan bakteri fotosintetik.



Gambar 1. Biotama-3

**2.3 Sensor PT100**

Sensor PT100 merupakan salah satu jenis sensor suhu yang terkenal dengan keakurasiannya. Sensor PT100 termasuk golongan RTD (*Resistance Temperature Detector*) dengan koefisien suhu positif, yang berarti nilai resistansinya naik seiring dengan naiknya suhu. Sensor ini disebut PT100 karena dikalibrasi pada suhu 0°C dengan nilai resistansi 100 Ω. Gambar Sensor PT100 dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Sensor PT100

**2.4 Motor Servo**

Motor servo adalah motor dengan sistem *closed feedback* yang berarti posisi dari motor akan diinformasikan kembali ke rangkaian kontrol yang ada dalam motor servo. Motor ini terdiri atas sebuah motor, serangkaian *internal gear*, potensiometer, dan rangkaian kontrol. Potensiometer berfungsi untuk menentukan batas sudut putaran servo. Sedangkan sudut sumbu motor servo diatur berdasarkan lebar pulsa yang dikirim melalui kaki sinyal dari kabel motor. Gambar 3 merupakan gambar motor servo.



Gambar 3. Motor Servo Towerpro SG-5010

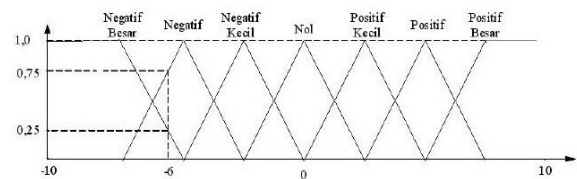
Motor Servo yang digunakan dalam penelitian ini adalah Motor Servo Towerpro SG-5010. Pemilihan servo tipe tersebut karena memiliki torsi yang cukup besar dengan daya 5 Volt dan putaran sudut maksimal 180°.

**2.5 Kontroler**

Sistem pengendalian dirancang untuk melakukan dan menyelesaikan tugas tertentu. Syarat utama sistem pengendalian adalah harus stabil. Disamping kestabilan mutlak, maka sistem harus memiliki kestabilan secara relatif, yakni tolok ukur kualitas kestabilan sistem dengan menganalisis sampai sejauh mana batas-batas kestabilan sistem tersebut jika dikenai gangguan [6]. Selain itu analisis juga dilakukan untuk mengetahui bagaimana kecepatan sistem dalam merespon *input*, dan bagaimana peredaman terhadap adanya lonjakan (*overshoot*). Prinsip kerja kontroler adalah membandingkan nilai aktual keluaran plan dengan nilai referensi. Kemudian kontroler menentukan nilai kesalahan dan akhirnya menghasilkan sinyal kontrol untuk meminimalkan kesalahan.

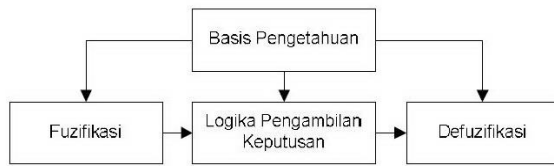
**2.6 Fuzzy Logic Control**

*Fuzzy* berarti samar, kabur atau tidak jelas. *Fuzzy* istilah yang dipakai oleh Lotfi A Zadeh pada bulan Juli 1964 untuk menyatakan kelompok / himpunan yang dapat dibedakan dengan himpunan lain berdasarkan derajat keanggotaan dengan batasan yang tidak begitu jelas (samar), tidak seperti himpunan klasik yang membedakan keanggotaan himpunan menjadi 2, himpunan anggota atau bukan anggota. Gambar 4 menunjukkan struktur dasar pengendalian *Fuzzy*.



Gambar 4. Struktur Dasar Pengendalian *Fuzzy*.

Kendali logika *Fuzzy* dilakukan dalam tiga tahap, yaitu fuzzifikasi, evaluasi aturan dan defuzzifikasi. Komponen Fuzzifikasi berfungsi untuk memetakan masukan data tegas ke dalam himpunan *Fuzzy* menjadi nilai *Fuzzy* dari beberapa variabel linguistik masukan. Gambar 5 menunjukkan proses Fuzzifikasi.



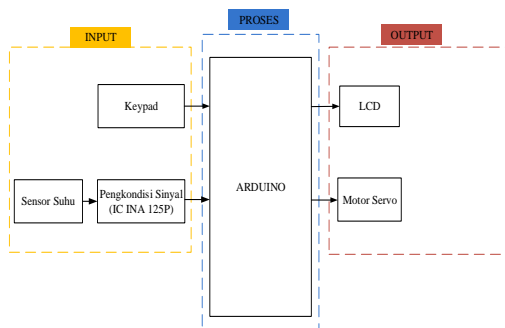
Gambar 5. Proses Fuzzifikasi.

Proses Fuzzifikasi Basis pengetahuan berisi pengetahuan sistem kendali sebagai pedoman evaluasi keadaan sistem untuk mendapatkan keluaran kendali sesuai yang diinginkan perancang. Basis pengetahuan terdiri dari basis data dan basis aturan *Fuzzy*. Basis Data merupakan komponen untuk mendefinisikan himpunan *Fuzzy* dari masukan dan keluaran. Basis Aturan *Fuzzy* merupakan kumpulan pernyataan aturan ‘*IF-THEN*’ yang didasarkan kepada pengetahuan pakar. Metode yang digunakan dalam penentuan basis aturan *Fuzzy* adalah menggunakan metode trial and error. Logika pengambilan keputusan disusun dengan cara menuliskan aturan yang menghubungkan antara masukan dan keluaran sistem *Fuzzy*. Aturan ini diekspresikan dalam kalimat: ‘jika maka’. Metode ini mempunyai bentuk aturan seperti persamaan berikut : IF x is A and y is B then z = C. Defuzzifikasi dapat didefinisikan sebagai proses perubahan besaran *Fuzzy* yang disajikan dalam bentuk himpunan-himpunan *Fuzzy* keluaran dengan fungsi keanggotaan untuk mendapatkan kembali bentuk tegasnya (crisp).

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Blog Diagram Sistem

Diagram blok Gambar6 merupakan bagian-bagian penyusun sebuah sistem yang menghubungkan sebab akibat dari input menjadi proses dan output. Diagram blok dari sistem yang akan dibuat adalah sebagai berikut:



Gambar 6. Gambar Blok Diagram

#### 3.2 Prinsip Kerja Alat

Prinsip kerja alat ini bertujuan untuk mempertahankan suhu sesuai dengan nilai *setpoint*, agar terhindar dari mikroba-mikroba dan menjaga kualitas komposter limbah padat tempe tersebut. Serta dapat mempercepat waktu pengomposannya.

Untuk menjalankan *mini plant komposter* ini yang pertama adalah mengatur gas *regulator* terlebih dahulu dan dipicu dengan api. Di usahakan api pada *burner* kecil tidak sampai mati dan tidak terlalu besar nyala apinya. Selanjutnya

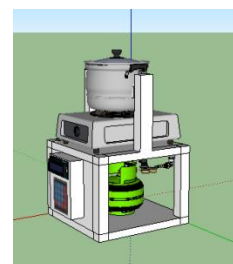
memasukkan nilai *setpoint* suhu melalui *keypad* yang ditampilkan pada LCD. *Setpoint* diberikan sebagai masukan untuk kontroler yang terdapat dalam Arduino Uno, agar nantinya suhu pengomposan dalam tabung komposter bisa sesuai dengan yang diinginkan. Suhu komposter yang terdapat di dalam tangki komposter dapat diketahui dengan menggunakan sensor PT100. Keluaran sensor PT100 tersebut akan menjadi umpan balik bagi sistem kontrol dalam pengendalian suhu. Suhu dikendalikan melalui pengaturan nyala api dari kompor gas *portable*.

Besar kecilnya nyala api ditentukan oleh besar kecilnya bukaan katup gas yang digerakkan oleh motor servo. Pengontrolan motor servo ini berdasarkan kontrol *Fuzzy Logic* yang telah ditanamkan pada Arduino Uno. Apabila suhu yang terbaca oleh sensor PT100 masih di bawah *setpoint* maka motor servo akan membuka katup gas lebih besar sehingga api pada kompor akan bekerja memenuhi *setpoint* yang ditentukan. Apabila suhu yang terbaca oleh sensor PT100 melebihi *setpoint*, maka Arduino Uno akan memerintahkan motor servo untuk membuat suhu stabil dengan cara mengecilkan bukaan katup gas sampai suhu kembali normal sesuai dengan *setpoint* yang ditentukan. Jika nilai suhu antara sensor PT100 dan *setpoint* menghasilkan error mendekati 0 maka motor servo akan mempertahankan bukaan katup gas sampai proses komposter limbah padat tempe selesai.

#### 3.3 Perancangan dan Pembuatan Alat

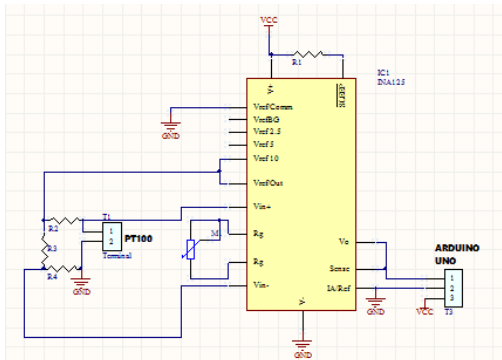
Perancangan dan pembuatan *mini plant* komposter limbah padat pada tempe ini dibagi menjadi 3 bagian, yaitu perancangan dan pembuatan mekanik, elektrik, serta perancangan *software*.

Perancangan mekanik pada alat komposter limbah padat tempe ini terdiri dari panci/tabung komposter yang terbuat dari *stainless steel* dan dudukan kompor. Untuk kapasitas panci/tabung komposter adalah ± 1kg limbah padat tempe. Perancangan dan pembuatan mekanik dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Desain Mekanik

Selanjutnya adalah tahap perancangan dan pembuatan elektrik. Jenis sensor suhu yang digunakan adalah RTD jenis PT100. Agar dapat di gunakan sensor PT100 yang keluarannya berupa resistansi di integrasikan dengan rangkaian jembatan *wheatstone* agar mendapatkan hasil keluaran berupa tegangan dengan *range* yang sesuai dengan masukan yang dibutuhkan oleh IC INA 125P sebagai pengkondisi dan penguat sinyal yang menghasilkan tegangan penguatan sesuai dengan *range* yang dapat menjadi masukan bagi *embedded system* Arduino Uno. Berikut merupakan gambar skematik sensor PT100 dengan IC INA 125P



**Gambar 8.** Skematik Rangkaian Sensor PT100 dengan IC INA 125P.

Sesuai dengan *datasheet* diketahui dua karakteristik PT100 yaitu persamaan perubahan resistansi PT100 terhadap perubahan suhu. Dengan rumus sebagai berikut :

$$R_{pt} = 100 + (0.385 * \text{suhu}) \dots \dots \dots (1)$$

Sensor PT100 dapat mengukur suhu dari 0°C hingga 400°C. Untuk sistem komposter menggunakan *range* suhu 0°C hingga 100°C. Dari kedua keadaan batas tersebut didapatkan *range* resistansi PT100 adalah 100 Ω hingga 138.51 Ω, dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} R_{pt} &= 100 + (0.385 * \text{suhu}) \\ &= 100 + (0.385 * 100) \\ &= 100 + 38.5 \\ &= 138.5 \Omega \end{aligned}$$

Dari Gambar 8. sensor PT100 memiliki 2 kaki pin yang diintegrasikan ke rangkaian jembatan *wheatstone*. Kaki pin sensor PT100 diwakili oleh terminal 1 (T1) yang terhubung pada R<sub>2</sub> dan R<sub>4</sub> untuk membentuk suatu jembatan *wheatstone*. Agar mampu menghasilkan *output* berupa tegangan, sensor suhu PT100 dipasang pada rangkaian jembatan *wheatstone*. Dengan rumus rangkaian jembatan *wheatstone* diperoleh nilai penyetimbang yaitu R<sub>4</sub> yang dapat menyetimbangkan nilai resistansi PT100 yang di ukur pada suhu 0°C dengan perhitungan:

$$\begin{aligned} R_4 &= \frac{R_2}{R_1} \times R_3 \dots \dots \dots (2) \\ &= \frac{100\Omega}{100\Omega} \times 100 \Omega \\ &= 100 \Omega \end{aligned}$$

Diketahui :

- R<sub>1</sub> = nilai R<sub>1</sub> sebesar 100 Ω
- R<sub>2</sub> = nilai R<sub>2</sub> sebesar 100 Ω
- R<sub>3</sub> = nilai resistansi PT100 saat 0°C
- R<sub>4</sub> = nilai R penyetimbang

Dalam keadaan setimbang, tegangan PT100 dihasilkan pada sambungan R<sub>2</sub> dan PT100, serta R<sub>3</sub> dan R<sub>4</sub>. Penyetimbang pada jembatan *wheatstone* menghasilkan *output* berupa tegangan dengan orde mili volt (mV), untuk dapat memenuhi kebutuhan kontroler, hasil tegangan ini harus diberikan penguatan. Hasil *output* tegangan sensor dengan orde mili volt akan menjadi *input* Vin+ dan Vin- bagi IC INA125P. Selanjutnya kedua nilai tegangan referensi ini

dibandingkan. Agar rangkaian INA125P dapat bekerja dan menghasilkan penguatan yang sesuai dengan kebutuhan *Input* kontroler, hasil perbandingan tegangan referensi dikuatkan. Untuk mendapatkan nilai penguatan yang dibutuhkan menggunakan rumus persamaan sebagai berikut.

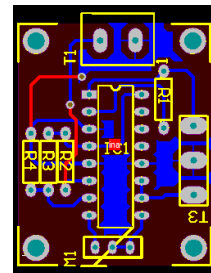
$$\begin{aligned} \text{Gain} &= 4 + \frac{60k\Omega}{R_g} \\ &= 4 + \frac{60k\Omega}{2.18k\Omega} \\ &= 31 \times \text{penguatan} \end{aligned}$$

Dimana :

Gain = nilai penguatan

R<sub>G</sub> = nilai R penguatan sesuai datasheet INA125P

Sehingga hasil *output* tegangan sensor PT100 yang mulanya berorde mV, Setelah diberikan penguatan sebesar 31x penguatan akan menghasilkan *input* yang cukup bagi kontroler arduino uno dengan tegangan antara 0 hingga 5 volt sesuai dengan kenaikan suhu yang terukur pada pembacaan sensor PT100.



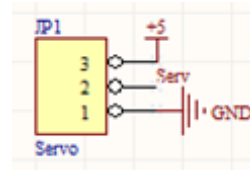
**Gambar 9.** Layout PCB Sensor Suhu PT100.

**Tabel 1.** Daftar Komponen Driver PT100.

Nama Komponen	Jumlah (buah)
IC INA 125P	1
Resistor	4
Multiturn	1
Terminal 2 pin	1
Terminal 3 pin	1

**Rangkaian Motor Servo**

Motor servo merupakan motor yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik yang digerakkan oleh sebuah motor DC. Motor servo yang digunakan dalam perancangan ini menggunakan motor servo dengan tipe MG 996R. Berikut adalah perancangan dari sistem dalam konfigurasi yang digunakan untuk menggerakkan motor servo sebagai berikut:

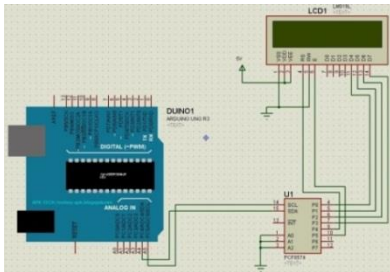


**Gambar 10.** Skema Rangkaian Motor Servo

Seperti pada Gambar 10, motor servo terdiri dari 3 kaki pin. Pin-pin ini dihubungkan dengan 5 V<sub>DC</sub>, *ground*, dan sinyal kontrol PWM yang dihubungkan dengan Arduino Uno.

*Rangkaian LCD I2C*

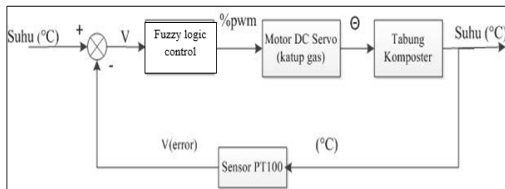
LCD (*Liquid Crystal Display*) berfungsi menampilkan karakter berupa angka dan huruf, serta memberikan informasi dari suatu sistem. Pada alat ini LCD berfungsi untuk menampilkan berbagai menu yang dimiliki oleh mesin tersebut. Salah satunya adalah *setpoint* dan suhu pada proses komposter. LCD yang digunakan adalah LCD 16x2 dan ada komponen pendukung yaitu I2C yang berfungsi untuk menghemat pin yang digunakan untuk koneksi antara Arduino Uno dengan LCD. Hanya dengan memasang 16 pin *female* pada LCD pada 16 pin *male* pada I2C akan menghemat *port* pada Arduino Uno karena output pada I2C hanya terdiri dari 4 pin, yaitu GND (untuk dipasang pada GND Arduino Uno), VCC (untuk dipasang pada pin power 5 V pada Arduino Uno), SDA (*Serial Data*), dan SCL (*Serial Clock*). Untuk penggunaan yang lebih kompleks, I2C biasanya digunakan untuk komunikasi data pada robot.



Gambar 11. Perancangan LCD I2C dengan Arduino Uno

### 3.4 Perancangan Logika Fuzzy

Kontroler *fuzzy* yang digunakan pada penelitian ini adalah kontroler *fuzzy* tipe *Mamdani*. Pada perancangan alat komposter ini diperlukan perancangan blok diagram kontrol sistem yang dapat menjelaskan sistem secara garis besar dan diharapkan alat bisa bekerja sesuai rencana.



Gambar 12. Blok Diagram Fuzzy Logic Control

Pada sistem kontrol logika fuzzy ini terdiri dari satu buah kontroler, yang dirancang menggunakan Arduino Uno. Pada penelitian ini sistem kontrol logika fuzzy terdiri atas dua masukan yaitu nilai *error* ( $E$ ) dan  $\Delta Error$  ( $dE$ ) dengan outputan yaitu dalam bentuk tegangan yang digunakan untuk mengatur besarnya panas pada kompor. *Error* dan  $\Delta Error$  dapat didefinisikan sebagai berikut ini:

$$Error = Set\ point - \text{Nilai\ Sebenarnya}$$

Keterangan:

Set point : besarnya nilai yang diinginkan

Nilai Sebenarnya : besarnya nilai yang terbaca oleh sensor

$$\Delta Error = Error(t) - Error(t-1)$$

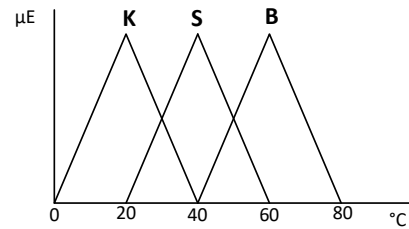
Keterangan:

$Error(t)$  : nilai Error pada waktu  $t$

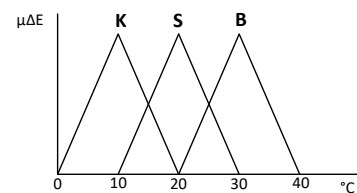
$Error(t-1)$  : nilai Error pada waktu  $t-1$

### Fungsi Keanggotaan Masukan

Pada sistem ini menggunakan 3 variabel fungsi keanggotaan yaitu Kecil ( $K$ ), Sedang ( $S$ ), dan Besar ( $B$ ). Dikarenakan keluaran yang berupa derajat putaran motor servo memiliki 3 kondisi yaitu *Low* ( $L$ ), *Medium* ( $M$ ), dan *High* ( $H$ ). Mengacu pada teori di atas bahwa variabel masukan yang digunakan adalah *Error* dan  $\Delta Error$ . Dimana nilai *Error* diperoleh dari nilai suhu *setpoint* dikurangi nilai suhu sebenarnya, sedangkan  $\Delta Error$  diperoleh dari *Error* nilai suhu sekarang dikurangi dengan *Error* nilai suhu sebelumnya. Masukan dari fungsi keanggotaan ini berupa nilai suhu yang dibaca oleh sensor PT100. Dan dibawah ini adalah fungsi keanggotaan untuk *Error* dan  $\Delta Error$ .

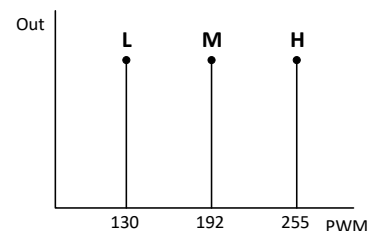


Gambar 13. Fungsi keanggotaan Error



Gambar 14. Fungsi keanggotaan ΔError

Pada fungsi keanggotaan keluaran, *output* yang diharapkan adalah panas api yang dikeluarkan oleh kompor yang keluaran gasnya dikontrol oleh motor servo yang digunakan untuk komposter limbah padat tempe. Untuk mengatur besarnya derajat pada motor servo tersebut terdapat 3 variabel keanggotaan keluaran yaitu *Low* ( $L$ ), *Medium* ( $M$ ), *High* ( $H$ ). Besarnya derajat tersebut bergantung dari besarnya PWM yang dikeluarkan oleh mikrokontroler yang dihasilkan dari perhitungan metode defuzzyfikasi *Largest Of Maximum* (LOM). Berikut adalah gambar fungsi keanggotaan output motor servo.



Gambar 15. Gambar Fungsi Keanggotaan Output Motor Servo

### Perancangan Rule Base

Berdasarkan pada basis aturan *fuzzy* pada proses perancangan judul ini aturan *fuzzy* dibuat dengan menggunakan metode *Largest Of Maximum* (LOM). Metode ini didasarkan pada pengetahuan terhadap tingkah laku sistem.

Rule *fuzzy* dibentuk dengan menggunakan format tabulasi seperti pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Aturan *Fuzzy*

<b>E /dE</b>	<b>K</b>	<b>S</b>	<b>B</b>
<b>K</b>	L	L	M
<b>S</b>	L	M	H
<b>B</b>	M	H	H

Dari Tabel 2 Aturan *Fuzzy* dapat dijabarkan seperti berikut :

1. Jika Error Kecil dan  $\Delta$ Error Kecil, maka output Low
2. Jika Error Kecil dan  $\Delta$ Error Sedang, maka output Low
3. Jika Error Kecil dan  $\Delta$ Error Besar, maka output Medium
4. Jika Error Sedang dan  $\Delta$ Error Kecil, maka output Low
5. Jika Error Sedang dan  $\Delta$ Error Sedang, maka output Medium
6. Jika Error Sedang dan  $\Delta$ Error Besar, maka output High
7. Jika Error Besar dan  $\Delta$ Error Kecil, maka output Medium
8. Jika Error Besar dan  $\Delta$ Error Sedang, maka output High
9. Jika Error Besar dan  $\Delta$ Error Besar, maka output High.

Pada perancangan skripsi ini digunakan interferensi *fuzzy* dengan metode *fuzzy* Mamdani. Metode interferensi *fuzzy* Mamdani yang sering kali disebut metode Min-Max ini digunakan metode Max dengan mengambil nilai maksimum dari aturan untuk memodifikasi daerah *fuzzy*.

#### IV. HASIL DAN ANALISA

##### 4.1 Pengujian Pembacaan Sensor Suhu

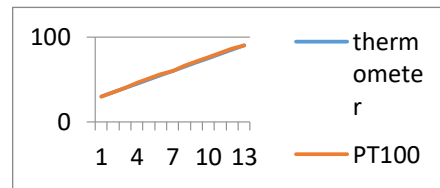
Pengujian sensor suhu PT-100 dilakukan untuk mengetahui apakah perubahan suhu dapat dibaca dengan baik oleh PT-100 yaitu dengan cara membandingkan hasil pengukuran PT-100 dengan thermometer dan nilai resistansi pada sensor PT-100. Sehingga dapat diketahui berapa besar *error* dari pengukuran PT-100. Berikut ini adalah list program yang digunakan untuk pengujian perbandingan pembacaan sensor dengan thermometer dan didapatkan hasil seperti berikut.

**Tabel 3.** Hasil Pengujian Pembacaan Suhu.

No	Thermometer	PT-100	Error
1	30	30	0
2	35	35	0
3	40	40	0
4	45	46	2.2
5	50	51	2
6	55	56	1.8
7	60	60	0
8	65	66	1.5
9	70	71	1.4
10	75	76	1.3
11	80	81	1.2
12	85	86	1.1
13	90	90	0

Dari Hasil Tabel 3. pengujian sensor suhu menunjukkan bahwa pembacaan PT-100 masih memiliki *error* rata-rata 1.5%, namun *error* masih terbilang kecil sehingga PT-100

masih dapat digunakan sebagai sensor suhu yang baik. Untuk mempermudah pembacaan maka dinyatakan dalam gambar grafik yang ditunjukkan pada gambar 16.



**Gambar 16.** Grafik Pengujian Sensor Suhu.

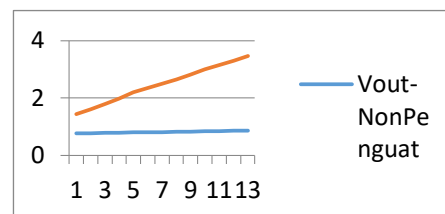
##### Pengujian Rangkaian Sensor Suhu PT100

Pengujian rangkaian sensor suhu PT-100 dilakukan untuk mengetahui apakah kinerja dari sensor PT-100 sudah sesuai dengan yang di inginkan atau belum. Sensor suhu PT-100 digunakan untuk mengetahui suhu yang ada didalam tabung *komposter*. Pengujian yang dilakukan dari sensor PT-100 ini adalah dengan cara membandingkan pembacaan suhu dengan menggunakan thermometer dan mengukur tegangan keluar yang dihasilkan oleh sensor PT-100 saat tanpa penguatan dan dengan penguatan. Berikut adalah hasil pengujian rangkaian penguat sensor suhu PT-100 yang ditabel kan.

**Tabel 4.** Hasil Pengujian Rangkaian Penguat Sensor Suhu PT100.

No	Suhu	VoutNon-penguat	VoutPenguat	ADC
1	30	0.758	1.43	291
2	35	0.766	1.61	322
3	40	0.777	1.79	358
4	45	0.786	1.98	395
5	50	0.796	2.19	438
6	55	0.803	2.34	468
7	60	0.812	2.49	498
8	65	0.821	2.65	530
9	70	0.828	2.81	562
10	75	0.837	3.00	601
11	80	0.848	3.15	632
12	85	0.855	3.30	662
13	90	0.862	3.47	696

Pada Tabel 4. hasil pengujian rangkaian penguat sensor suhu PT-100 bisa dilihat PT-100 ini masih bisa digunakan sebagai sensor suhu karena tegangan yang keluar setelah diberikan penguatan sudah sesuai dengan inputan dari arduino uno. Bisa dilihat juga pada Gambar 17. grafik tegangan keluaran dari PT-100 yang sudah diberi penguatan INA sebesar 31x dengan tanpa penguat dan pembacaan ADC.



**Gambar 17.** Grafik Hasil Rangkaian Penguat Sensor Suhu PT100

**4.2 Pengujian Motor Servo**

Pada motor servo diuji dengan membandingkan nilai derajatnya pada busur derajat. Pengujian ini bertujuan hanya untuk mengetahui apakah motor servo bekerja dengan baik atau tidak. Dalam pengujian ini nilai yang diukur maksimal 180°.

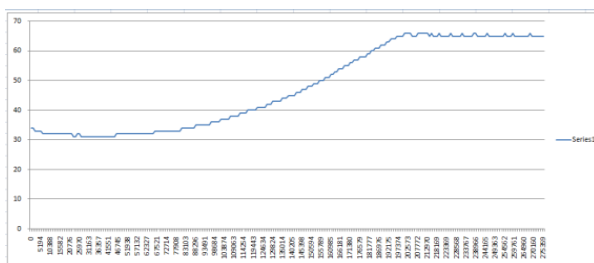
**Tabel 5.** Hasil Pengujian Motor Servo.

No	Servo	Derajat Busur	Error %
1	15	15	0
2	30	31	3.33
3	45	45.5	1.11
4	60	60	0
5	75	74.5	0.6
6	90	91	1.1
7	115	117	1.7
8	130	131	0.7
9	145	148	2.06
10	160	160	0
11	180	180	0

Hasil pengujian menunjukkan pembacaan derajat motor servo masih memiliki error rata-rata 1.5%, tetapi error yang dimiliki masih sangat kecil sehingga motor servo bisa digunakan sebagai pengaturan *regulator valve* gas pada LPG.

**4.3 Pengujian Fuzzy Logic Control**

Pada pengujian kontrol *Fuzzy* ini dilakukan untuk membandingkan antara nilai parameter tanpa kontrol dengan parameter menggunakan kontrol *Fuzzy*. Kontrol *Fuzzy* ini memiliki fungsi untuk mengatur suhu pada *Komposter Limbah Padat Tempe* dengan arduino uno dengan cara mengatur besar kecilnya *valve* yang terpasang dengan motor servo yang mendapatkan *input*-an dari sensor PT-100. Pada pengujian ini dilakukan dengan cara mengambil satu sampel data berupa pengujian suhu terhadap waktu tanpa menggunakan controller *Fuzzy* dan menggunakan kontroler *Fuzzy* yang telah didapatkan. Berikut adalah hasil dari respon menggunakan kontroler *Fuzzy* :



**Gambar 18.** Hasil Respon Menggunakan *Fuzzy Logic Control*.

Dari percobaan diatas dapat dianalisa dengan menggunakan kontrol *Fuzzy* proses *komposter* limbah padat tempe, lebih cepat di bandingkan dengan tanpa kontrol *Fuzzy*. Dengan waktu yang sangat efisien untuk mendapatkan komposter yang diinginkan adalah menjadi tolak ukur keberhasilan proses dari alat. Terjadinya *output steady state* mengalami osilasi ketika suhu sudah mencapai set point.

**4.3 Pengujian Sistem**

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja sistem dengan mengamati respon sistem terhadap *setpoint*.



**Gambar 19.** Rangkaian Elektrik Keseluruhan Sistem

Berdasarkan pengujian sistem terhadap hasil didapatkan bahwa pada proses komposter limbah padat tempe ada beberapa parameter yang berubah yaitu warna kompos, kandungan mikroba, dan waktu komposter. Pengujian diatas menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu pada tabung komposter, warna pada limbah berubah, pada saat suhu mencapai set point maka sistem akan berhenti dengan sendirinya. Untuk kandungan mikroba didalamnya, semakin tinggi suhu *i* maka komposter jumlah mikroba semakin menurun. Sehingga dengan pengaturan suhu sesuai set point mikroba dapat dikatakan dapat digunakan menjadi kompos.

**V. PENUTUP**

Dari perancangan, pengujian dan pengamatan yang telah dilakukan pada penelitian sistem pengendalian suhu komposter maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan data respon sistem yang diperoleh dari pengujian menggunakan parameter kontroler fuzzy suhu sesuai dengan set point dapat menghasilkan kompos dengan cepat dibandingkan pengomposan secara manual, dengan selisih waktu yang signifikan jauh yaitu 20 hari berbanding 5 hari untuk benar-benar menjadi kompos sesuai yg diharapkan. Dengan massa menjadikan pra-kompos apabila menggunakan kontroler ini adalah 8-15menit.
2. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa Arduino Uno dengan metode kontrol *Fuzzy* menghasilkan respon sesuai dengan yang diharapkan dan mampu diaplikasikan pada sistem pengendalian suhu .

**DAFTAR PUSTAKA**

[1] Winarno, F.G. 1992. *Kimia Pangan dan Gizi*. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta

[2] Iriyani, N. 2001. Pengaruh penggunaan kulit biji kedelai sebagai pengganti jagung dalam ransum terhadap kecernaan energi, protein dan kinerja domba. *Animal Production. Journal Produksi Ternak*. Vol. 2. Fakultas Peternakan Universitas Jenderal Soedirman, Semarang.

[3] Badan Statistik. 2010. *Produksi Tempe tahun 2010*. Diakses dari [www.bps.go.id](http://www.bps.go.id).

[4] Isroi dan Yuliarti. 2009. *Kompos Cara Mudah, Murah dan Cepat Menghasilkan Kompos*. Yogyakarta: Andi.

[5] Yuwono D. 2009. *Kompos*. Jakarta: Penebar Swadaya.

[6] Ogata, K. 1997. *Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturan)*. Terjemahan Edi Leksono, Jakarta : Erlangga.

- [7] Achillas, C.et al., 2013. The use of multi-criteria decision analysis to tackle waste manajement problem: *Literature Review Waste Management and Research*.
- [8] Sala, M. dan Gutti, M. C. 2012. Elektrochemical Techniques in Textile Processes and Wastewater Treatment. *International Journal Of Photoenergy*. 10(1).
- [9] Eko, A.P. 2002. Belajar Mikrokontroler (Teori dan Aplikasi). Gava Media. Yogyakarta.
- [10] Tooley, ike. 2002. Rangkaian Elektronik Prinsip dan Aplikasi. Jakarta. Penerbit Erlangga.
- [11] Achmad R.P. 2013. Sistem Pengendalian Suhu Pada Tungku Bakar Menggunakan Kontrol Logika Fuzzy. Universitas Brawijaya. Malang