

PENGATURAN WAKTU FERMENTASI TEMPE DAN NOTIFIKASI DENGAN METODE LOGIKA FUZZY SUGENO BERBASIS IOT

Julianto Bimo Shevchenko^{1*)}, Budi Setiyono², Sudjadi³

¹²³Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

*) Email: Julianto.bimo@gmail.com

Abstrak

Proses fermentasi merupakan proses penyederhanaan kimia dengan memanfaatkan jamur *Rhizopus sp* dalam suatu periode waktu. Waktu fermentasi secara konvensional ditetapkan dengan cara penaksiran atau perkiraan oleh para perajin tempe. Ketidaktepatan penaksiran waktu fermentasi akan mengakibatkan tempe yang dihasilkan mengalami pembusukan dan degradasi protein yang membuat tempe menjadi tidak layak dikonsumsi. Oleh karena itu, pada penelitian ini dibahas mengenai perancangan ruang fermentasi tempe yang mampu menentukan estimasi waktu fermentasi tempe. Sistem ini memanfaatkan metode logika fuzzy sugeno dalam menentukan estimasi waktu fermentasi tempe untuk mencapai kadar air maksimal tempe yaitu 53%. Masukan dari sistem ini berupa kadar air awal, perbandingan kedelai/beras, dan kelembapan udara dalam ruang fermentasi. Estimasi waktu fermentasi yang didapatkan memiliki rata-rata waktu fermentasi 34 jam dengan variasi masukan yang berbeda. Kadar air awal dengan selisih 4% akan menghasilkan perbedaan waktu fermentasi sebesar 3 jam. Perbandingan kedelai/beras dengan selisih 55% menghasilkan selisih waktu 4 jam. Dan Kelembapan relatif yang berbeda 14% menghasilkan waktu fermentasi dengan selisih 1 jam. Notifikasi akan dikirimkan melalui telegram sebagai indikator apabila waktu fermentasi telah selesai.

Kata Kunci: Fermentasi Tempe, Ruang Fermentasi, Kadar Air, Logika Fuzzy Sugeno, Waktu Fermentasi

Abstract

The fermentation process is a chemical process using the fungus *Rhizopus sp.* over a period of time. Fermentation time is conventionally determined by estimations from tempeh makers. Inaccuracy in estimating the fermentation time will result in the resulting tempeh experiencing spoilage and protein degradation, which makes tempeh unfit for consumption. Therefore, this research discusses the design of a tempeh fermentation room that able to determine the estimated tempeh fermentation time. This system utilizes the Sugeno fuzzy logic method to determine the estimated fermentation time to achieve the maximum water content of tempeh, namely 53%. The input from system is the initial water content, soybean and rice ratio, and air humidity. The estimated fermentation time obtained has an average fermentation time of 34 hours with different input variations. An initial water content difference of 4% will result in a difference in fermentation time of 3 hours. A comparison of soybeans and rice with a difference of 55% results in a time difference of 4 hours. And a relative humidity difference of 14% will result in a difference of 1 hour.. A notification will be sent via telegram as an indicator when the fermentation time has finished.

Keywords: Tempe Fermentation, Fermentation Room, Moisture Content, Fuzzy Logic Sugeno, Fermentation Time

1. Pendahuluan

Tempe adalah jenis makanan hasil fermentasi kedelai yang memanfaatkan jamur mikroorganisme dalam menyederhanakan senyawa karbohidrat. Tempe telah menjadi makanan pokok masyarakat dikarenakan harga yang murah dan kandungan gizi yang banyak. Tidak sedikit manfaat yang dihasilkan dari mengkonsumsi tempe, dalam kesehatan manusia terutama, tempe terbukti mampu mengurangi resiko dari kanker prostat kronis, kanker payudara, kanker dubur, permasalahan pada saluran urin serta dapat menghambat proses biosintesis kolesterol [1]. Dalam proses pembuatan tempe, terdiri dari beberapa prosedur diantaranya pencucian, perebusan, pengemasan,

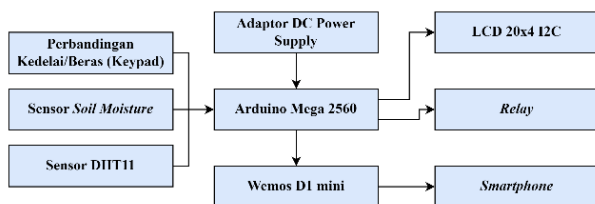
dan fermentasi untuk sampai menjadi tempe matang. Sesuai SNI tempe yang telah matang tidak boleh memiliki kadar air yang lebih dari 65%. Kadar air yang terkandung pada tempe berkaitan dengan lama durasi waktu fermentasi. Fermentasi dapat diartikan sebagai sebuah prosedur penyederhanaan senyawa kimia menjadi sebuah produk dengan menggunakan enzim dari jamur maupun mikroba. Zaman ini, proses fermentasi telah memiliki beragam metode baik secara tradisional maupun modern. Metode yang tradisional dengan cara menempatkan dan mendinginkan tempe ditempat yang bersuhu ruang. Lama durasi dari fermentasi cukup memberikan pengaruh nyata terhadap taraf mutu tempe, seandainya waktu fermentasi nya kurang tepat dimungkinkan tempe akan memiliki strukturnya tidak rigid,

warnanya tidak seperti putih menuju abu dan tidak berbau khas tempe [2]. Waktu fermentasi yang terlalu lama dapat mempengaruhi ragi sehingga menyebabkan tempe menjadi degradasi protein, mulai menghitam dan cepat busuk [3]. Metode ruang fermentasi modern canggih diciptakan dalam rangka membantu pencegahan mutu tempe yang inferior. Ruang fermentasi buatan mampu mengendalikan faktor krusial dari keberhasilan fermentasi diantaranya, suhu, kadar air, kelembapan, dan konsentrasi kedelai. Keberhasilan fermentasi serta mutu tempe berhubungan dengan tingkat kadar air, dan konsentrasi kedelai yang terkandung dalam tempe. Semakin besar konsentrasi kedelai maka semakin sedikit proses perombakan karbohidrat. Persentase karbohidrat pada kedelai itu hanya sekitar 35% pada nilai tertingginya [4]. Dimana Buatan hasil dari perombakan karbohidrat diantaranya ada gula-gula sederhana yang kemudian berubah menjadi suatu energi dengan hasil sekunder berupa metabolit, asam, CO₂, dan air [5]. Pada penelitian ini dilakukan sebuah rancangan mengenai pengaturan waktu fermentasi menggunakan metode logika fuzzy dengan parameter kelembapan relatif, perbandingan kedelai/beras dan kadar air sebagai masukannya. Pengaturan waktu fermentasi didefinisikan bahwa sistem pada alat mampu mengatur waktu fermentasi sebagai estimasi lamanya waktu fermentasi kedelai hingga menjadi tempe. Metode logika fuzzy sugeno diterapkan sebagai metode kendali dalam melakukan perhitungan estimasi waktu fermentasi yang didasarkan oleh parameter kelembapan relatif, perbandingan kedelai/beras dan kadar air. Lama waktu fermentasi diatur hingga 65% sesuai yang tertera pada ketentuan standar.

2. Metode

2.1. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan ini menggunakan sensor *capacitive soil moisture* dan DHT11 sebagai pembacaan kadar air kedelai dan kelembapan udara relatif. Diagram perancangan komponen-komponen elektronik dan sensor dapat diperhatikan pada Gambar 1.



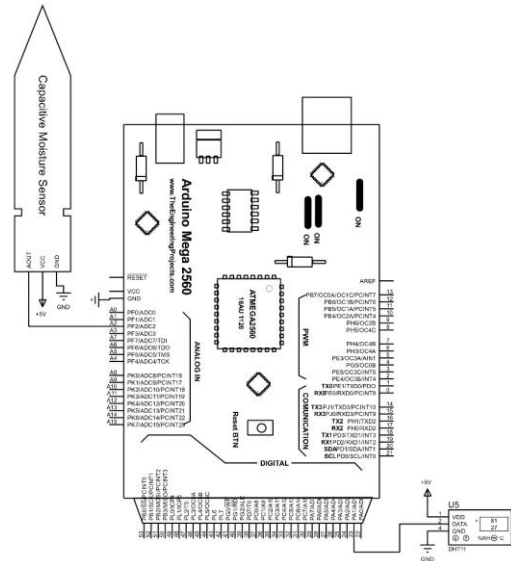
Gambar 1. Diagram blok sistem penentuan waktu fermentasi

Keypad digunakan sebagai pemberi nilai perbandingan kedelai dengan beras pada purwarupa ruang fermentasi. Data yang diperoleh dari sensor dan keypad diteruskan dan diolah pada mikrokontroler Arduino Mega 2560. Data yang telah didapatkan akan digunakan untuk menyalakan relay dalam proses fermentasi. Keluaran dari olahan data yaitu penentuan waktu fermentasi yang ditampilkan pada layar LCD I2C. Waktu fermentasi yang telah tercapai akan memicu komponen Wemos D1 Mini untuk mengirim

notifikasi ke *smartphone* melalui Telegram. Notifikasi tersebut merupakan indikator bahwa waktu fermentasi yang dilakukan telah selesai dan relay pada sistem telah mati.

2.2. Perangkat Keras Sensor *Soil* dan DHT11

Dalam perancangan ini diterapkan sensor *soil moisture* dan DHT11 sebagai masukan dari sistem. Sensor *soil* sebagai pembaca pengukuran tingkat kadar air yang terkandung dalam kedelai dan sensor DHT11 sebagai pembaca pengukuran tingkat kelembapan relatif pada *prototipe* ruang fermentasi. Rangkaian perangkat keras sensor *capacitive soil moisture* dan DHT11 dapat diamati pada Gambar 2.



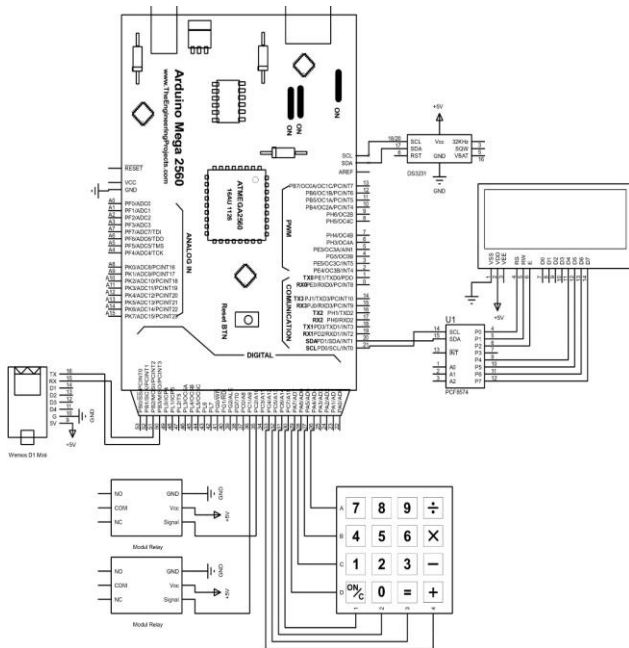
Gambar 2. Rangkaian Perangkat Keras sensor *capacitive soil moisture* dan DHT11

Pada sensor *soil* memiliki 3 buah pin yaitu merah (+), hitam (-), dan kuning (data). Pin merah sensor dihubungkan dengan Vcc dan pin hitam pada sensor dihubungkan pada GND, sedangkan untuk pin data pada sensor dihubungkan pada pin analog A2 pada Arduino Mega 2560, sedangkan pada sensor DHT11, memiliki 3 buah pin yaitu merah (+), hitam (-), dan kuning (data). Pin merah sensor dihubungkan dengan Vcc dan pin hitam pada sensor dihubungkan pada GND, sedangkan untuk pin data pada sensor dihubungkan pada pin digital 23 Arduino Mega 2560. Sensor DHT11 mampu membaca nilai kelembapan relatif mulai dari 30% hingga 80%.

2.3. Perangkat Keras Penyusun Arduino Mega

Perangkat keras terdiri dari terdiri dari Arduino, Keypad, RTC, LCD 20x4, Wemos D1 dan relay. Komponen keypad terhubung dengan pin digital mikrokontroler 26 sampai 33. jumlah pin digital yang digunakan sejumlah 8 pin. LCD I2C 20x4 terhubung dengan pin SCL dan SDA dari mikrokontroler, sedangkan komponen RTC dihubungkan dengan mikrokontroler pada pin SDA dan SCL. Untuk komponen relay terhubung dengan pin digital 35 dan pin 36. Keluaran relay terhubung dengan aktuator berupa elemen pemanas lampu pijar dan kipas. Elemen pemanas lampu

pijar terhubung dengan relay pada pin COM dan NO. Rangkaian perangkat keras dari Arduino, Keypad, LCD 20x4, Wemos D1 dan relay dapat dilihat pada Gambar 3.

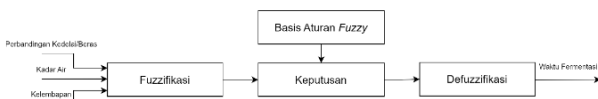


Gambar 3. Rangkaian Perangkat Keras Arduino, Keypad, LCD 20x4, Wemos D1 dan relay

Berdasar Gambar 3, Kipas terhubung dengan relay pada pin COM dan NO. Komponen Wemos D1 terhubung dengan pin 50 dan 51 pada Arduino Mega sebagai modul WiFi yang berdaya rendah dan memiliki konektivitas cepat.

2.4. Perancangan Fuzzy Logic Penetapan Waktu Fermentasi

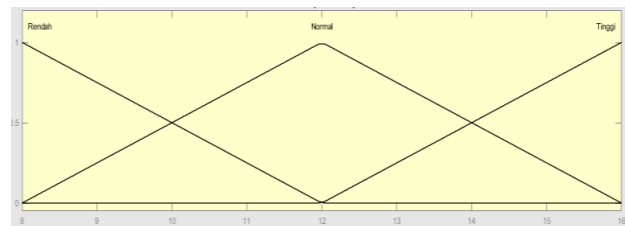
Pada perancangan penelitian ini menggunakan kontroler jenis fuzzy dengan menerapkan metode Sugeno orde nol sebagai penentuan waktu fermentasi. Kontroler fuzzy yang digunakan bertipe Multiple Input Single Output (MISO), dimana berarti terdapat lebih dari satu masukan untuk menghasilkan satu nilai keluaran. Masukan tersebut dijadikan material sebagai jembatan antara variabel linguistik dengan variabel nilai. [6] Dalam metodenya, kontroler FIS terdiri dari 3 susunan primer diantaranya yaitu fuzzifikasi, basis aturan, dan defuzzifikasi. Dalam basis aturan yang dirancang, digunakan operator ‘and’ untuk pembentukan aturan fuzzy dan digunakan fungsi implikasi ‘min’ guna pengambilan derajat keanggotaan. Metode defuzzifikasi yang digunakan yaitu jenis Weighted Of Average, dimana perhitungan didasarkan hasil rata-rata terbobot. Diagram blok sistem kontrol fuzzy terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram blok sistem kontrol fuzzy

2.5. Perancangan Fuzzifikasi dan Basis Aturan

Perancangan sistem kendali fuzzy Sugeno terdiri dari 3 masukan dan 1 keluaran. Masukan kontrol tersebut berupa perbandingan kedelai, kadar air, dan kelembapan relatif. Perbandingan kedelai digunakan dalam menentukan nilai variasi kedelai dengan beras yang dimasukkan dalam ruang fermentasi. Nilai kadar air digunakan untuk pengukuran tingkat kadar air kedelai pada saat awal dimasukkan ke dalam ruang fermentasi, sedangkan untuk kelembapan relatif digunakan untuk membaca nilai kelembapan relatif pada ruang fermentasi. Waktu fermentasi di atur untuk mencapai tujuan kadar air 53%. Fungsi keanggotaan pada masukan kadar air terbagi 3 yaitu Tinggi, Normal, dan Rendah. Fungsi keanggotaan perbandingan kedelai juga terbagi 3 yaitu Sedikit, Sedang, dan Banyak. Dan fungsi keanggotaan kelembapan relatif terbagi 2 yaitu lembap dan kering. Tingginya kadar air menghasilkan waktu fermentasi yang lebih cepat dan kenaikan kadar air juga semakin cepat. Tingginya kelembapan relatif menghasilkan waktu fermentasi yang lebih lama. Dan semakin tinggi tingkat perbandingan kedelai menciptakan waktu fermentasi yang lebih cepat. Representasi fungsi keanggotaan pada kadar air, perbandingan kedelai, dan kelembapan relatif dapat dilihat pada Gambar 5. Gambar 6. dan Gambar 7.



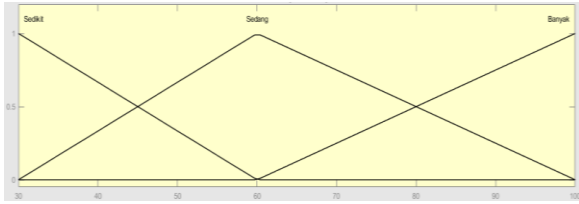
Gambar 5. Fungsi Keanggotaan Masukan Kadar Air

Berikut merupakan perumusan fungsi keanggotaan kadar air pada persamaan 1, 2, 3.

$$\mu_{Rendah}[x] = \begin{cases} 1, & x = 8 \\ \frac{12-x}{4}, & 8 \leq x \leq 12 \\ 0, & x \geq 12 \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu_{Normal}[x] = \begin{cases} 0, & x \leq 8 \\ \frac{x-8}{4}, & 8 \leq x \leq 12 \\ \frac{16-x}{4}, & 12 \leq x \leq 16 \\ 0, & x \geq 16 \end{cases} \quad (2)$$

$$\mu_{Tinggi}[x] = \begin{cases} 0, & x \leq 12 \\ \frac{x-12}{4}, & 12 \leq x \leq 16 \\ 1, & x = 16 \end{cases} \quad (3)$$



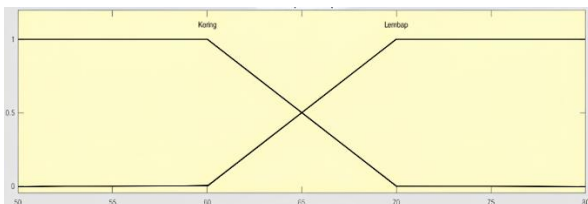
Gambar 6. Fungsi Keanggotaan Perbandingan Kedelai/Beras

Berikut merupakan perumusan fungsi keanggotaan Perbandingan Kedelai/Beras pada persamaan 4, 5, 6.

$$\mu_{Sedikit}[x] = \begin{cases} 1, & x = 30 \\ \frac{60-x}{30}, & 30 \leq x \leq 60 \\ 0, & x \geq 60 \end{cases} \quad (4)$$

$$\mu_{Sedang}[x] = \begin{cases} 0, & x \leq 30 \\ \frac{x-30}{30}, & 30 \leq x \leq 60 \\ \frac{100-x}{40}, & 60 \leq x \leq 100 \\ 0, & x \geq 100 \end{cases} \quad (5)$$

$$\mu_{Banyak}[x] = \begin{cases} 0, & x \leq 60 \\ \frac{x-60}{40}, & 60 \leq x \leq 100 \\ 1, & x = 100 \end{cases} \quad (6)$$



Gambar 7. Fungsi Keanggotaan Masukan kelembapan relatif

Berikut merupakan perumusan fungsi keanggotaan kelembapan relatif pada persamaan 7, 8.

$$\mu_{Kering}[x] = \begin{cases} 1, & x \leq 60 \\ \frac{70-x}{10}, & 60 < x < 70 \\ 0, & x \geq 70 \end{cases} \quad (7)$$

$$\mu_{Lembap}[x] = \begin{cases} 0, & x \leq 60 \\ \frac{x-60}{10}, & 60 < x < 70 \\ 1, & x \geq 70 \end{cases} \quad (8)$$

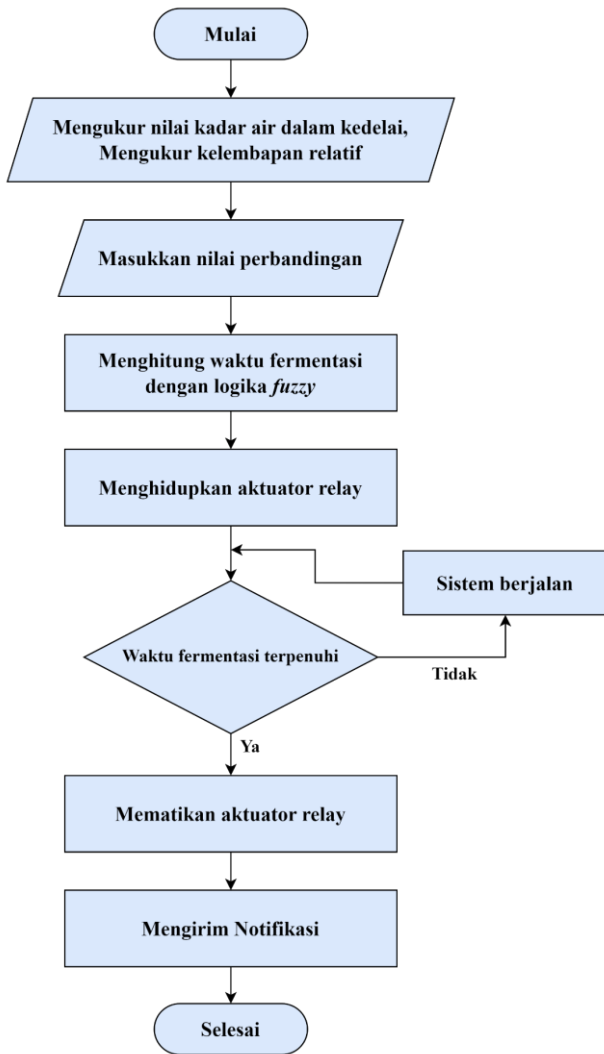
Berdasar dari fungsi keanggotaan, dibentuk berbagai basis aturan *fuzzy* yang dirancang untuk memberikan keluaran yang sesuai dari masukan nilai yang diberikan. Perancangan kendali *fuzzy* ditujukan untuk kedelai dalam mencapai kadar air sebesar 53%. Kadar air normal pada tempe yang sudah matang harus tidak boleh lebih dari pada 53% atau maksimal kadar air normal tempe telah matang yaitu 53% [7]. Perancangan basis aturan didasarkan dari gabungan variasi nilai kadar air, perbandingan kedelai, dan kelembapan udara relatif dalam mencapai tingkat kadar air 53%. Dari gabungan variasi tersebut didapatkan 18 basis aturan yang mewakili sistem penentuan waktu fermentasi pada *prototipe* ruang fermentasi. Tabel 1 merupakan basis aturan yang dibentuk pada perancangan ini.

Tabel 1. Basis Aturan *Fuzzy Logic* Sugeno Penetapan Waktu Fermentasi

Kadar Air (%)	Perbandingan Kedelai/Beras (%)	Kelembapan Udara (%)	Waktu (Jam)
Rendah	Banyak	Kering	35
Normal	Banyak	Kering	32
Tinggi	Banyak	Kering	29
Rendah	Banyak	Lembap	36
Normal	Banyak	Lembap	33
Tinggi	Banyak	Lembap	30
Rendah	Sedang	Kering	38
Normal	Sedang	Kering	35
Tinggi	Sedang	Kering	32
Rendah	Sedang	Lembap	39
Normal	Sedang	Lembap	36
Tinggi	Sedang	Lembap	33
Rendah	Sedikit	Kering	40
Normal	Sedikit	Kering	37
Tinggi	Sedikit	Kering	35
Rendah	Sedikit	Lembap	41
Normal	Sedikit	Lembap	38
Tinggi	Sedikit	Lembap	36

2.6. Diagram Alir Sistem Penetapan Waktu Fermentasi

Faktor pengaruh pada proses penetapan waktu fermentasi yaitu kadar air, perbandingan kedelai dengan beras, dan kelembapan udara relatif. Sistem bekerja dengan pengguna yang menempatkan dan menancapkan kedelai yang akan difermentasi pada ruang fermentasi. Setelahnya, pengguna bisa mencantumkan nilai perbandingan kedelai yang dimasukkan dengan memanfaatkan keypad dan LCD yang akan menampilkan hasil yang dicantumkan oleh pengguna. Pengguna bisa mencantumkan nilai perbandingan kedelai sesuai kapabilitas yaitu dari 30% hingga 100%. Kemudian sistem akan membaca tingkat kadar air kedelai dan kelembapan relatif dari ruang fermentasi. Ketiga masukan tersebut dijadikan sebagai input bagi logika fuzzy yang dirancang dalam menetapkan waktu pada fermentasi. Saat sistem telah bekerja, relay akan menyalakan aktuatur yaitu elemen pemanas lampu pijar dan kipas. Komponen LCD I2C dimanfaatkan sebagai penampil counting timer dari timer yang berhitung juga menampilkan parameter suhu dan kelembapan di ruang fermentasi. Sistem akan berjalan hingga counting timer mencapai nilai nol yang berarti timer telah terpenuhi. Saat timer telah terpenuhi, sistem akan mengirimkan notifikasi ke pada pengguna menggunakan media telegram. Sistem akan memerintahkan komponen WEMOS D1 untuk mengirim pesan ke pengguna. Diagram alir dari sistem ditampakkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Diagram Alir Sistem Penetapan Waktu Fermentasi

3. Hasil Dan Analisis

3.1. Pengujian Sistem Dengan Variasi Kadar Air, Perbandingan Kedelai Dan Kelembapan Udara Relatif

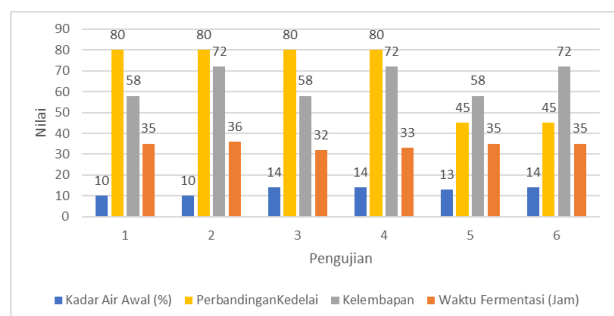
Pengujian ini ditujukan untuk mengetahui perbedaan hasil keluaran waktu fermentasi yang telah diterapkan. Kadar air awal yang diuji yaitu 10%, 13% dan 14%, perbandingan kedelai yang diuji yaitu 45% dan 80%, kelembapan udara yang diuji yaitu 58% dan 72%. Pengujian ini bertujuan untuk melihat pengaruh ketiga parameter terhadap waktu fermentasi dari sistem yang telah dirancang. Pengambilan data dalam pengujian dengan variasi kadar air, perbandingan kedelai, dan kelembapan udara relatif dalam dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Pengujian Sistem Dengan Variasi Kadar Air, Perbandingan Kedelai Dan Kelembapan Udara Relatif

Kadar Air Awal (%)	Perbandingan an Kedelai (%)	Kelembapa n Relatif (%)	Waktu Fermentasi (Jam)
10	80	58	35
10	80	72	36
14	80	58	32
14	80	72	33
13	45	58	35
14	45	72	35

Diamati pada pengujian dengan kadar air 10% dan dibandingkan kedelai 80% dengan perbedaan kelembapan relatif, dimana kelembapan relatif yang lebih tinggi membutuhkan waktu fermentasi yang lebih lama 1 jam dibandingkan dengan kelembapan relatif yang lebih rendah yaitu 36 jam. Variasi dengan kadar air awal 14% dan kelembapan di 58% menghasilkan waktu fermentasi yang berbeda dengan perbandingan kedelai yang berbeda dari kedua pengujian. Perbandingan kedelai yang lebih tinggi menghasilkan waktu fermentasi yang lebih cepat.

Waktu fermentasi pada kadar air yang lebih tinggi akan cenderung lebih cepat dibandingkan waktu fermentasi dengan kadar air yang lebih rendah. Hal tersebut dikarenakan waktu untuk mencapai kadar air yang ditentukan akan lebih cepat dibandingkan kadar air yang lebih rendah. Pada variasi pengujian dengan perbedaan kadar air dan perbandingan kedelai serta kelembapan konstan akan didapatkan hasil keluaran waktu fermentasi yang lebih cepat dengan selisih 3 jam. Variasi pengujian pada perbandingan kedelai 45% dan kadar air selisih 1% dengan perbedaan kelembapan selisih 14% menghasilkan waktu fermentasi yang sama dari kedua pengujian. Hal tersebut dimungkinkan karena proses perhitungan fuzzy yang menghasilkan waktu keluaran yang sama. Grafik hasil representasi dari pengujian sistem dengan variasi kadar air, perbandingan kedelai dan kelembapan udara relatif ditampakkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik Pengujian Sistem Dengan Variasi Kadar Air, Perbandingan Kedelai Dan Kelembapan Udara Relatif

3.2. Pengujian Sistem Keseluruhan

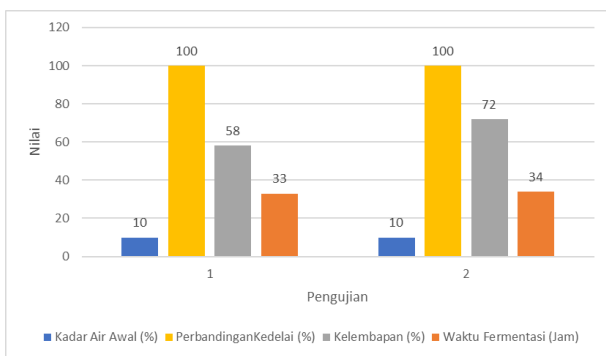
Pengujian sistem secara keseluruhan dilakukan untuk mengetahui fungsi kerja sistem mulai dari awal hingga akhir. Tempe yang difermentasi akan dijaga suhu dengan

nilai 35°C dan estimasi waktu tempe yang ditentukan. Pengujian sistem dilakukan dengan cara memvariasikan masukan kadar air awal, perbandingan kedelai, dan kelembapan relatif. Variasi tersebut menjadi masukan fuzzy dalam menentukan estimasi waktu fermentasi tempe. Estimasi keluaran fuzzy akan menentukan kapan *relay* menyala dan *relay* mati. *Relay* menyala jika sistem bekerja dengan masukan yang diberikan, setelah sistem selesai maka akan mematikan relay serta mengirimkan notifikasi melalui telegram. Data hasil pengujian sistem keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Pengujian Sistem Keseluruhan

Kadar Air Awal (%)	Perbandingan Kedelai (%)	Kelembapan Relatif (%)	Kadar Air Akhir (%)	Waktu Fermentasi (Jam)
10	100	58	53	33
10	100	72	53	34
15	100	66	53	30
14	100	72	53	31
13	45	67	53	35
14	45	72	53	35

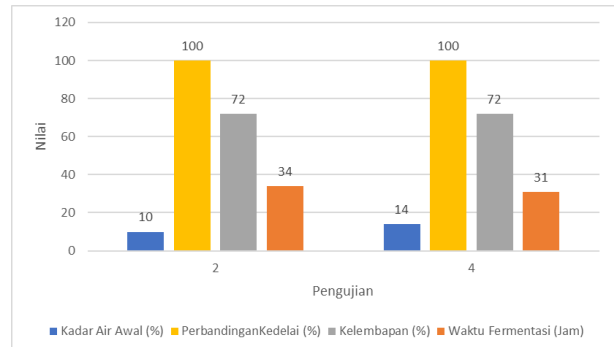
Berdasarkan hasil data pengujian sistem keseluruhan, didapatkan bahwa pengaruh dari kadar air awal, perbandingan kedelai/beras, dan kelembapan relatif dalam menentukan estimasi waktu fermentasi. Didapatkan bahwa peningkatan kadar air membuat waktu fermentasi yang lebih cepat. Peningkatan perbandingan kedelai juga membuat waktu fermentasi lebih cepat. Dan kelembapan yang tinggi akan membuat waktu fermentasi lebih lama dibandingkan kelembapan pada *range* optimal nya. Hal ini menunjukkan bahwa sistem perancangan *fuzzy* berjalan dengan baik dalam menentukan estimasi waktu fermentasi. Grafik Pengujian Sistem Dengan Variasi Kelembapan Udara Relatif ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik Pengujian Sistem Dengan Variasi Kelembapan Udara Relatif

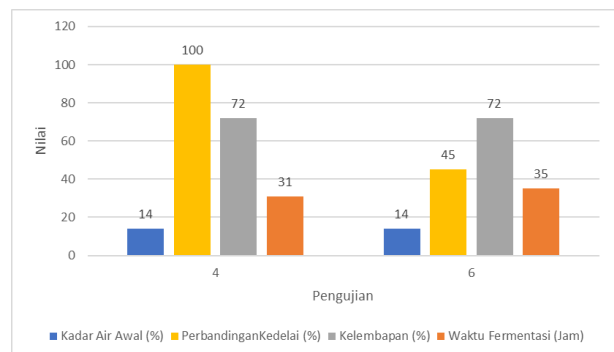
Berdasarkan hasil pengujian sistem secara keseluruhan, maka dapat ditarik pengujian sistem yang memiliki persamaan parameter serta perbedaan parameter pada tiap percobaan. Pada Gambar 10, dapat diamati bahwa perbedaan kelembapan relatif dengan selisih 14% memberikan imbas pada durasi dari waktu fermentasi. Sebab itu ditarik sebuah kesimpulan bahwa besarnya nilai output

fuzzy juga mengakibatkan waktu fermentasi yang lebih lama. Dengan masukan kadar air awal konstan sebesar 10% dan perbandingan kedelai/beras konstan 100% dengan variasi kelembapan relatif pada 72% dan 58% akan menghasilkan waktu fermentasi yang berbeda. Selisih 14% pada masukan kelembapan relatif membuat durasi waktu fermentasi tempe menjadi lebih lama 1 jam dibandingkan pengujian dengan kelembapan relatif sebesar 58%. Grafik Pengujian Sistem Dengan Variasi Kadar Air Awal ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik Pengujian Sistem Dengan Variasi Kadar Air Awal

Berdasar dari Gambar 11, dapat diperhatikan bahwa perbedaan kadar air dengan selisih 4% memberikan durasi waktu fermentasi yang berbeda. Dengan masukan kelembapan relatif sebesar 72% dan perbandingan kedelai/beras konstan 100% dengan variasi kadar air awal pada 10% dan 14% akan menghasilkan waktu fermentasi yang variatif. Pada kadar air awal senilai 10% akan menghasilkan durasi waktu fermentasi sebesar 34 jam. Dan pada kadar air awal senilai 14% menghasilkan durasi waktu fermentasi sebesar 31 jam. Hal tersebut membuktikan bahwa semakin besar nilai kadar air awal tempe yang diberikan, maka durasi waktu fermentasi pada tempe akan semakin cepat. Grafik Pengujian Sistem Dengan Variasi Perbandingan Kedelai/Beras ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Grafik Pengujian Sistem Dengan Variasi Perbandingan Kedelai/Beras

Berdasar dari Gambar 12, dapat diperhatikan bahwa perbedaan perbandingan kedelai/beras dengan selisih 55% memberikan durasi waktu fermentasi yang berbeda. Dengan

masukannya kelembapan relatif sebesar 72% dan kadar air awal konstan 14% dengan variasi perbandingan kedelai/beras pada 45% dan 100% akan menghasilkan waktu fermentasi yang variatif. Pada perbandingan kedelai/beras senilai 45% akan menghasilkan durasi waktu fermentasi sebesar 35 jam. Dan pada perbandingan kedelai/beras senilai 100% akan menghasilkan durasi waktu fermentasi sebesar 31 jam. Hal tersebut membuktikan bahwa semakin besar nilai perbandingan kedelai/beras yang diberikan, maka durasi waktu fermentasi pada tempe akan semakin cepat.

3.3. Pengujian Sistem Notifikasi

Pengujian dilakukan dengan cara melihat push notification yang dikirimkan oleh perangkat Wemos D1 Mini melalui telegram sudah tercapai. Apabila sistem dimulai maka notifikasi “Fermentasi Dimulai” akan dikirimkan kepada pengguna. Dan jika sistem telah selesai maka notifikasi “Fermentasi Telah Selesai” akan dikirimkan oleh sistem melalui telegram bot kepada pengguna. Data hasil pengujian sistem notifikasi ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Data Pengujian Sistem Notifikasi

Pengujian	Waktu Fermentasi	Notifikasi	
		Mulai	Selesai
1	33	Berhasil	Berhasil
2	34	Berhasil	Berhasil
3	30	Berhasil	Berhasil
4	31	Berhasil	Berhasil
5	35	Berhasil	Berhasil
6	35	Berhasil	Berhasil

Dapat diamati pada Tabel 4, dimana menunjukkan data berupa notifikasi yang telah dikirimkan melalui *telegram bot* kepada aplikasi telegram setelah selesainya fermentasi tempe pada prototipe ruang fermentasi. Data notifikasi juga mengirimkan notifikasi apabila fermentasi telah dimulai, sistem dapat mengetahui apabila fermentasi akan berlangsung tanpa pengguna harus berada di sekitar alat prototipe ruang fermentasi.

4. Kesimpulan

Sistem pengaturan dalam menentukan estimasi waktu fermentasi terbukti berjalan sesuai perancangan dengan implementasi fuzzy logic Sugeno dengan rata-rata waktu fermentasi selama 34 Jam. Hasil Analisis pada pengujian sistem dengan perbandingan kedelai/beras sebesar 100% membutuhkan durasi waktu fermentasi selama 31 jam dalam menggapai kadar air 53%. Pengujian kedelai/beras sebesar 45% membutuhkan durasi sebesar 35 jam dalam mencapai kadar air 53%. Analisis pengujian dengan perbandingan kedelai/beras 100% dan kadar air awal yaitu 10% pada kelembapan udara relatif sebesar 72% membutuhkan durasi waktu fermentasi selama 34 jam dalam mencapai kadar air 53%. Pengujian kelembapan relatif sebesar 58% akan membutuhkan durasi waktu fermentasi sebesar 33 jam. Pengujian perbandingan kedelai/beras 100% dan kelembapan udara relatif 72% pada kadar air awal sebesar 10%, durasi waktu fermentasi selama 34 jam dalam

mendapatkan kadar air 53%. Pengujian dengan kadar air awal sebesar 14% akan membutuhkan durasi waktu fermentasi sebesar 31 jam.

Referensi

- [1] S. Septi., P. Tara., “PROSES PEMBUATAN TEMPE HOME INDUSTRY BERBAHAN DASAR KEDELAI (*Glycine max* (L.) Merr) DAN KACANG MERAH (*Phaseolus vulgaris* L.) DI CANDIWESI, SALATIGA”. *Southeast Asian Journal of Islamic Education*. Volume 03, No. 01, 2020.
- [2] Mujianto., “Analisis Faktor Yang Mempengaruhi Proses Produksi Tempe Produk UMKM di Kabupaten Sidoarjo”. *JURNAL REKA., Agroindustri., Media Teknologi dan Manajemen Agroindustri*.
- [3] P. Y. Aisyah, D. N. Fitriyanah, S. N. Patrialova, I. P. E. W. Pratama, and S. F. Mujiyanti, “Pembuatan Mesin Oven Pengoptimal Proses Fermentasi Tempe sebagai Upaya Mendukung Program Kabupaten Lumajang Mempromosikan Kawasan Bagusari sebagai Kampung Tempe dan Memenuhi Permintaan Peningkatan Produksi Tempe,” *Sewagati*, vol. 7, no. 4, pp. 499–506, 2023.
- [4] A. Nuri., N. Lilis., A. Dede., T. Ria., A. Denny., G. Desty., “Pengaruh Perbedaan Jenis Kedelai terhadap Kualitas Mutu Tahu” *Jurnal Mutu Pangan* Vol. 5(2)
- [5] Logika Fuzzy Dengan Matlab S.Agung., Y. Budi., dan Y. Kiki. (2018). *Logika Fuzzy Dengan MATLAB*. Jayapangus Press. Perpustakaan Nasional Republik Indonesia.
- [6] J. Altien., dan Langi. Rindengan Yohanes A.R. (2019). *Sistem Fuzzy*. Universitas Sam Ratulangi Manado
- [7] H. Mujib., P. Edi., S. Budi., “Automatic Room Temperature Regulator for Making Tempe Based on Arduino with Fuzzy Logic Method”. *Jurnal Ilmiah Bidang Teknologi Informasi dan Komunikasi*, Vol. 5 No. 1, Januari 2020.