

Design and Development of an Electric Stove for Wood Powder Roasting using Fuzzy Logic

Article History:

Received

12 February 2025

Revised

14 April 2025

Accepted

12 June 2025

**YAHYA CHUSNA ARIF, LUKI SEPTYA MAHENDRA, IZMI
NURUL IZZAH, HENDIK EKO HADI SUHARYANTO, PUTU
AGUS MAHADI PUTRA, LUCKY PRADIGTA SETIYA
RAHARJA**

Teknik Elektro Industri, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Indonesia
Email: izminurulizzah@gmail.com

ABSTRAK

Kampung Seni Grajen memanfaatkan limbah serbuk kayu untuk membuat lukisan bernilai jual tinggi melalui proses penyangraian manual, yang membutuhkan waktu lama dan pengawasan intensif. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan kompor listrik berbasis logika fuzzy untuk meningkatkan efisiensi proses penyangraian serbuk kayu. Kompor listrik ini menggunakan Band Heater sebagai elemen pemanas, dikendalikan oleh konverter AC-AC dan logika fuzzy untuk mengatur suhu secara otomatis. Sistem juga dilengkapi dengan agitator pengaduk untuk memastikan distribusi panas merata. Pengujian dilakukan dengan metode open loop dan close loop. Pada pengujian open loop, tegangan input berpengaruh langsung terhadap suhu, namun peningkatan suhu tidak selalu linear. Pengujian close loop menunjukkan sistem mampu menjaga suhu stabil di kisaran 84°C – 87°C, dengan tingkat kesalahan 2,38%, meskipun terdapat selisih akibat pengaruh lingkungan atau toleransi sensor. Hasil penyangraian digunakan untuk pembuatan lukisan Grajen.

Kata kunci: Konverter AC-AC , Kompor Listrik, Band Heater, Kontrol Logika Fuzzy

ABSTRACT

Kampung Seni Grajen utilizes this wood dust waste to create high-value paintings through a manual roasting process, which requires significant time and intensive supervision. This study aims to develop an electric stove based on fuzzy logic to improve the efficiency of the wood dust roasting process. The electric stove employs a Band Heater as a heating element, controlled by an AC-AC Controller and fuzzy logic to regulate the temperature automatically. The system is also equipped with an agitator to ensure even heat distribution. Testing was conducted using both open-loop and closed-loop methods. In the open-loop testing, the input voltage directly affected the temperature, but the temperature increase was not always linear. The closed-loop testing demonstrated that the system could maintain a stable temperature in the range of 84°C to 87°C, with an error rate of 2.38%, despite slight discrepancies due to environmental factors or sensor tolerances. The roasting results are used to make Grajen paintings.

Keywords: AC-AC Controller, Electric Stove, Band Heater, Fuzzy Logic Control

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license



1. PENDAHULUAN

Berkembangnya teknologi pada bidang industri dibutuhkan alat – alat yang dapat mendukung pekerjaan manusia menjadi lebih mudah dan ringan. Seperti banyaknya industri pabrik kayu yang terdapat di Kabupaten Brebes, Kecamatan Paguyangan, khususnya di Desa Winduaji. Pabrik Kayu tersebut menghasilkan limbah berupa serbuk kayu. Salah satu upaya untuk mengolah limbah tersebut dilakukan oleh Usaha Mikro Kecil dan Menengah (UMKM) Kampung Seni Grajen, yang mengubah serbuk kayu menjadi lukisan bernilai jual tinggi. Proses produksi lukisan ini melibatkan penyangraian serbuk kayu untuk menghasilkan tiga tingkat warna utama: cokelat, cokelat tua, dan hitam, yang digunakan sebagai elemen pewarnaan alami dalam karya seni. Namun, metode penyangraian yang digunakan saat ini masih dilakukan secara manual, menggunakan tong besi dan bahan bakar kayu, yang memakan waktu 1 hingga 5 jam dan membutuhkan pemantauan intensif untuk memastikan tingkat warna yang diinginkan.

Metode tradisional ini memiliki beberapa keterbatasan, seperti ketidakstabilan suhu, konsumsi energi yang tinggi, serta beban kerja fisik bagi pekerja yang harus terus mengaduk serbuk kayu secara manual. Untuk mengatasi permasalahan ini, diperlukan sebuah sistem pemanas otomatis yang dapat mengontrol suhu dengan lebih stabil dan efisien. Oleh karena itu, dirancanglah kompor listrik otomatis berbasis logika fuzzy yang menggunakan *Band Heater* sebagai elemen pemanas dan konverter AC-AC sebagai sistem pengatur daya (**Haryanto, dkk, 2023**). Sistem ini juga dilengkapi dengan agitator pengaduk otomatis, yang digerakkan oleh motor listrik, untuk memastikan distribusi panas lebih merata tanpa perlu pengadukan manual.

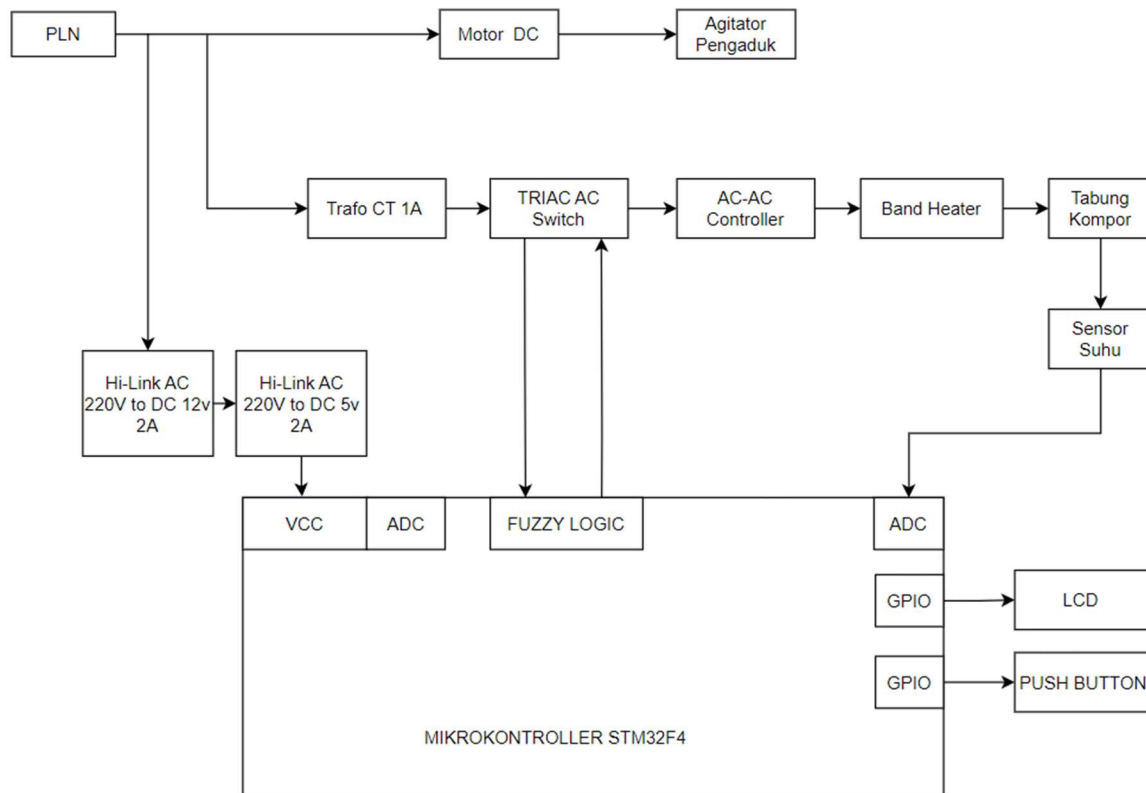
Sejumlah penelitian sebelumnya telah membuktikan bahwa penggunaan logika fuzzy dalam sistem pemanas mampu meningkatkan akurasi kontrol suhu dan efisiensi energi. Penelitian oleh (**Hadi, dkk, 2023**) membahas penerapan logika fuzzy dalam pengendalian suhu pada proses pasteurisasi susu sapi, yang menunjukkan keberhasilan dalam menjaga suhu tetap stabil. Studi oleh (**Fatkhurrozi & Setiawan, 2024**) mengembangkan sistem pengendalian suhu dan kelembaban pada ruangan pengering biji kopi berbasis logika fuzzy, yang terbukti mampu meningkatkan efisiensi pengeringan. Selain itu, penelitian (**Arif, dkk, 2023**) dalam membahas penerapan kontrol fuzzy pada oven cat, yang berhasil menjaga kestabilan suhu antara 50°C hingga 150°C dengan tingkat akurasi tinggi. Selanjutnya menurut penelitian (**Kurniawan, dkk, 2024**), penerapan kontrol logika fuzzy pada kompor induksi untuk penghangat MPASI terbukti efektif dalam menjaga suhu makanan pada tingkat optimal, dengan tingkat akurasi yang tinggi dan respon sistem yang cepat terhadap perubahan suhu. Sementara itu, pada penelitian (**Nasir, dkk, 2019**) menguji performa mesin penyangrai kopi berbasis *Band Heater*, yang menunjukkan bahwa sistem pemanas listrik lebih efisien dibandingkan metode pemanasan berbahan bakar kayu.

Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, penggunaan kontrol logika fuzzy dalam sistem pemanas kompor listrik untuk penyangraian serbuk kayu diharapkan dapat meningkatkan akurasi pengaturan suhu, menghemat konsumsi energi, serta mempercepat proses pemanasan. Dengan sistem otomatis yang lebih stabil, efisien, dan mudah dioperasikan, produksi lukisan Grajen dapat berjalan lebih optimal, baik dari segi waktu, kualitas hasil, maupun efisiensi tenaga kerja. Selain itu, inovasi ini juga mendukung pemanfaatan limbah serbuk kayu secara lebih efektif, sehingga memberikan nilai tambah ekonomi bagi masyarakat setempat serta berkontribusi dalam pengurangan limbah industri kayu.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Desain & Konfigurasi Sistem

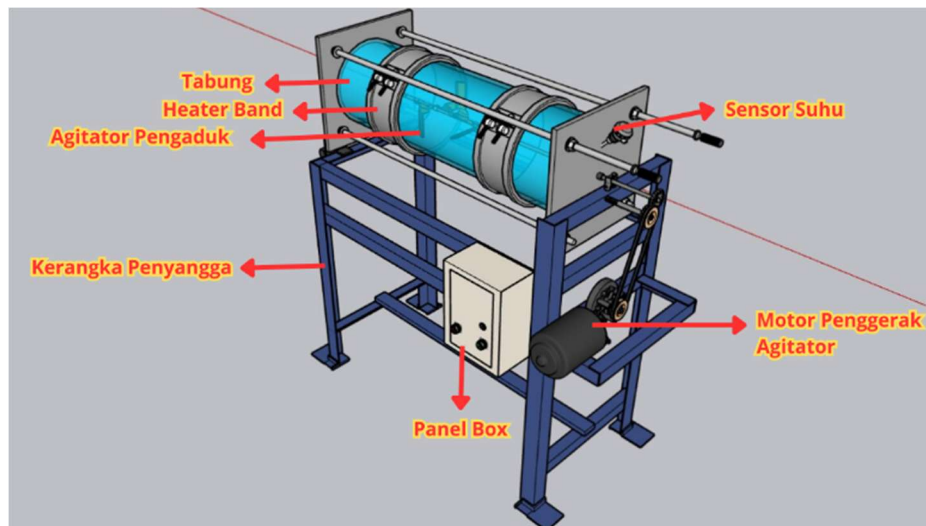
Pada penelitian ini, sistem yang dirancang digambarkan dalam diagram blok pada Gambar 1, yang mencakup keseluruhan perancangan perangkat lunak dan perangkat keras. Diagram ini membantu memberikan gambaran yang jelas tentang bagaimana sistem bekerja, memastikan setiap komponen dapat terintegrasi dengan baik dan berfungsi sesuai tujuan yang diharapkan.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

Blok diagram pada Gambar 1 menggambarkan cara kerja sistem kontrol pemanas berbasis logika fuzzy yang dirancang untuk menjaga suhu tetap stabil dan memastikan distribusi panas yang merata dalam tabung pemanas. Sistem ini menggunakan sumber listrik PLN 220V, yang kemudian didistribusikan ke berbagai komponen utama, seperti motor DC, trafo CT 1A, dan *Hi-Link converter*, untuk memenuhi kebutuhan daya yang berbeda.

Sistem pemanas dikendalikan oleh TRIAC AC *switch* dan konverter konverter AC-AC yang mengatur daya ke *band heater* sesuai instruksi dari mikrokontroler. Sensor suhu yang terpasang pada tabung terus memantau suhu aktual dan mengirimkan data ke mikrokontroler. Dengan menggunakan logika fuzzy, mikrokontroler menganalisis selisih suhu aktual terhadap suhu yang diinginkan serta perubahan suhu dari waktu ke waktu untuk menentukan daya yang tepat bagi *band heater*. Sinyal kontrol yang dihasilkan kemudian dikirim ke TRIAC dan konverter AC-AC untuk mengatur pemanasan. Motor DC menggerakkan agitator guna memastikan distribusi panas merata. Integrasi antara sensor, kontrol fuzzy, dan agitator memastikan pemanasan yang efisien dan stabil.



Gambar 2. Desain Perancangan Sistem

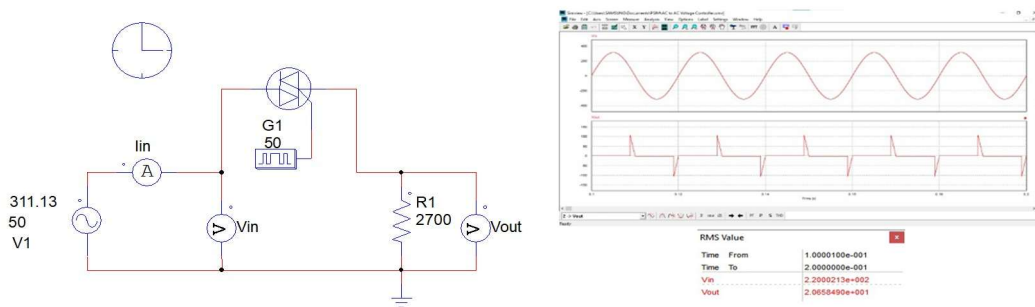
Pada penelitian ini, perancangan mekanik difokuskan pada pembuatan kompor listrik menggunakan bahan utama *stainless steel* dan besi. Desain perancangan dapat dilihat pada Gambar 2. Besi digunakan sebagai kerangka utama dengan ketinggian 80 cm untuk menopang tabung kompor listrik, sementara *stainless steel* dijadikan bahan dasar tabung.

Sistem penggerak dalam proyek ini dirancang menggunakan kombinasi *gear* dan *fanbelt* untuk menggerakkan motor. Di tengah permukaan tabung yang telah dilubangi, dipasang *bearing* sebagai tempat tertanamnya pengaduk agitator, memungkinkan pengaduk berputar di dalam tabung. Desain pengaduk menggunakan dua *gear* sebagai tumpuan, sehingga setelah proses pemanasan selesai, tabung dapat diangkat dan dimiringkan untuk mengeluarkan isinya. Tabung memiliki diameter 25 cm dan tinggi 72 cm.

2.2 Konverter AC-AC

Konverter AC-AC adalah rangkaian yang digunakan untuk mengontrol tegangan keluaran dari sumber listrik AC tanpa mengubahnya menjadi DC, menggunakan prinsip sudut penyulutan (*firing angle*) untuk mengontrol daya ke beban (Arif, dkk, 2019). Konverter AC-AC berfungsi sebagai pengatur tegangan input pada elemen pemanas kompor listrik, memastikan bahwa daya yang diberikan sesuai dengan kebutuhan pemanasan, dengan sudut penyulutan 0° – 180° , sehingga suhu dapat dikontrol optimal menggunakan logika fuzzy. IC TCA 785 berperan dalam mengatur sudut penyulutan pada konverter AC-AC dengan menghasilkan sinyal pemicu untuk TRIAC/SCR, berdasarkan input dari mikrokontroler STM32F4. Besarnya tegangan output ditentukan oleh sudut penyulutan, yang dapat diatur dari 0° hingga 180° . Berdasarkan simulasi dan rumus (1), tegangan output berkisar dari 220V (saat $\alpha = 0^\circ$) hingga 20,64V (saat $\alpha = 180^\circ$). Dengan demikian, rentang tegangan yang dapat dikendalikan oleh sistem ini berada antara 20V hingga 220V AC, tergantung sudut penyulutan yang diatur. Gambar 3 merupakan bentuk simulasi rangkaian konverter AC-AC, adapun rumus perhitungan tegangan keluaran (V_o) dalam penelitian ini adalah sebagai berikut (Shaker, dkk, 2022).

$$V_{o(rms)} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin(2\alpha)}{2\pi}} \quad (1)$$



Gambar 3. Simulasi Rangkaian AC-AC Konverter

2.3 Sensor *Thermocouple*

Thermocouple adalah sensor suhu yang bekerja berdasarkan prinsip *thermoelectric effect*, yaitu menghasilkan tegangan listrik saat terdapat perbedaan suhu antara dua titik logam konduktor yang berbeda (**Pradipta, 2022**). Dalam penelitian ini, sensor *Thermocouple type-K* digunakan karena memiliki akurasi tinggi dan respon cepat terhadap perubahan suhu, serta mampu bekerja pada lingkungan dengan suhu ekstrem. Dalam sistem kompor listrik yang dirancang, *Thermocouple type-K* berperan sebagai sensor utama untuk mengukur suhu dalam tabung pemanas (**Awaludin, 2023**). Sensor ini ditempatkan di dalam tabung dan mengirimkan data suhu aktual ke mikrokontroler STM32F4. Data tersebut digunakan sebagai input dalam sistem kontrol logika fuzzy, yang kemudian menentukan tegangan keluaran dari konverter AC-AC untuk mengatur daya ke *band heater*. Dengan demikian, *Thermocouple* memastikan suhu tetap stabil sesuai *setpoint* yang ditentukan agar sistem pemanasan optimal. Bentuk perangkat sensor *Thermocouple* ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Sensor *Thermocouple*

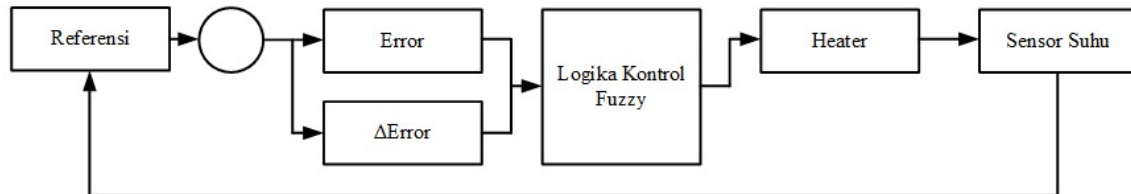
2.4 *Band Heater*

Band Heater adalah elemen pemanas berbentuk cincin yang digunakan untuk memanaskan tabung kompor listrik secara merata (**Rahmadani et al., 2022**). Dalam penelitian ini, *Band Heater* 220V 300W berfungsi sebagai sumber panas utama dalam proses penyangraian serbuk kayu, dikendalikan oleh konverter AC-AC dan logika fuzzy untuk menjaga suhu sesuai *setpoint*. Sensor *Thermocouple type-K* mengukur suhu aktual, lalu mikrokontroler STM32F4 mengatur daya yang diberikan ke *Band Heater* melalui TRIAC, memastikan pemanasan berlangsung optimal dan efisien.

2.5 Logika Fuzzy

Logika fuzzy merupakan metode pengendalian yang efektif untuk sistem dengan variabel yang tidak pasti atau sulit dimodelkan secara matematis. Metode ini bekerja berdasarkan aturan IF-THEN yang meniru cara berpikir manusia dalam mengambil keputusan. Dalam penelitian ini, logika fuzzy diterapkan untuk mengontrol suhu pemanasan kompor listrik, dengan

menyesuaikan daya pemanas agar suhu tetap stabil sesuai set point 84°C. Proses pengendalian fuzzy terdiri dari tiga tahapan utama: fuzzifikasi, inferensi fuzzy, dan defuzzifikasi, yang bekerja secara berurutan untuk menghasilkan keputusan pengaturan daya pemanas secara otomatis (**Dewi et al., 2023**). Blok diagram serta diagram alir pengaturan tegangan dengan menggunakan logika kontrol fuzzy ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram Blok Logika Fuzzy

Pada Gambar 5 ditampilkan diagram alir kontrol logika fuzzy, di mana *setpoint* suhu (hasil konversi dari tegangan) dijaga agar tetap stabil meskipun terdapat gangguan dari luar sistem. Ketika program menerima *setpoint* suhu dan mulai dijalankan, sistem logika fuzzy akan menghitung *error* dan *delta error*, yang kemudian diproses dalam *Fuzzy Inference System* (FIS) (**Setiawan et al., 2021**). Dalam FIS, dilakukan fuzzifikasi, yaitu proses menentukan derajat keanggotaan dari masing-masing label *error* dan *delta error*. Hasil dari defuzzifikasi kedua parameter ini dikombinasikan dan dirata-rata dengan semua label delta, sehingga menghasilkan bilangan *fuzzy crisp*. Bilangan ini kemudian diolah lebih lanjut menggunakan metode *Weighted Average* untuk menghasilkan keluaran berupa sudut penyalan (**Imanuddin et al., 2021**). Sistem logika fuzzy yang dirancang memiliki dua input utama, yaitu *error* dan *delta error*, serta satu output berupa sudut penyalan. Definisi dari input dalam logika fuzzy ini dapat ditemukan dalam Persamaan (3), (4), dan (5) (**Abdullah et al., 2020**).

$$Error(t) = Refrensi - suhu aktual \quad (2)$$

$$\Delta error = Error(t) - Error(t - 1) \quad (3)$$

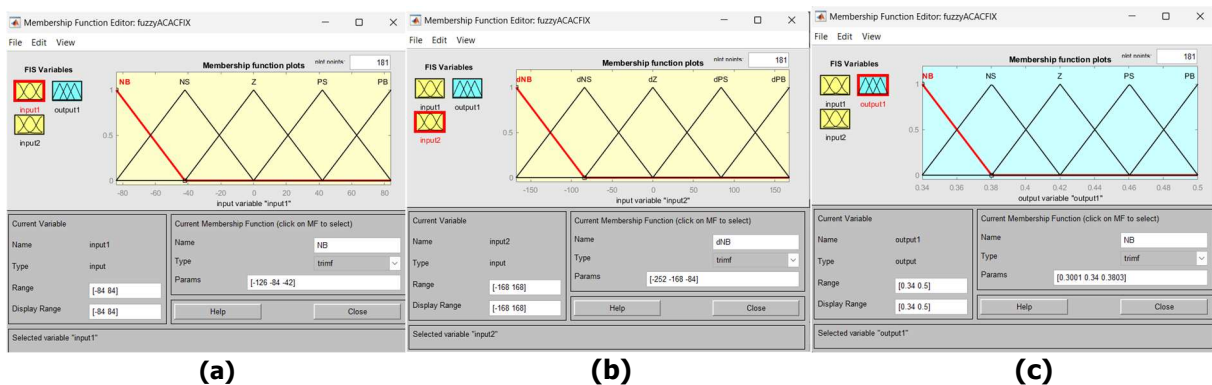
Keluaran yang diberikan plant digunakan Persamaan (5) :

$$Sudut Penyalan(t) = Sudut Penyalan(t - 1) + \Delta Sudut \quad (4)$$

Sistem ini menggunakan dua input utama, yaitu *error* dan *Δerror*, sementara output-nya adalah sudut penyulutan TRIAC yang menentukan besar daya yang akan disuplai ke *Band Heater*. Sistem bekerja dengan membaca suhu dari *Thermocouple*, kemudian menghitung nilai *error* sebagai selisih antara suhu aktual dengan set point 84°C. Jika suhu masih jauh dari *setpoint*, sistem akan mengurangi sudut penyulutan sehingga daya pemanas meningkat. Sebaliknya, jika suhu mendekati atau melebihi set point, sudut penyulutan diperbesar untuk menurunkan daya pemanas. Rentang *error* yang digunakan adalah -84°C hingga 84°C, sedangkan *Δerror* berkisar antara -168°C hingga 168°C, dengan rentang diperbesar untuk perubahan suhu yang cepat.

Output sistem fuzzy berupa sudut penyulutan (*firing angle*) dihitung berdasarkan kombinasi nilai *error* dan *Δerror* melalui fungsi keanggotaan yang telah ditentukan. Nilai sudut penyulutan ini kemudian dikirim ke TRIAC melalui IC TCA 785, yang mengatur daya keluaran konverter AC-AC. Oleh karena itu, fungsi keanggotaan input harus merepresentasikan nilai *error* dan *delta error*, yang mencerminkan perbedaan suhu aktual terhadap *setpoint* serta perubahan

error dari waktu ke waktu. Masing-masing parameter memiliki lima fungsi keanggotaan, sehingga sistem dapat menghasilkan keluaran yang lebih akurat dan responsif, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6 (a), (b), dan (c).



Gambar 6. Desain *Membership Function Error* (a), Desain *Membership Function delta error* (b), Desain Hasil Keluaran Data (c)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah proses perancangan dan pembuatan, bentuk *hardware* sistem dari kompor listrik telah selesai dan sesuai dengan spesifikasi yang dirancang. Pada bagian atas perangkat terdapat corong masuk yang berfungsi sebagai tempat memasukan material serbuk kayu. Rangka utama terbuat dari bahan logam yang kokoh untuk menjaga stabilitas selama pengoperasian. Tabung pemanas ditempatkan di tengah rangka dan dilengkapi dengan dua *Band Heater* yang melingkari bagian luar tabung agar pemanasan merata. Pada bagian tabung juga dilapisi *rockwool* sebagai isolasi panas dan plat besi sebagai pelindung mekanis, untuk meningkatkan efisiensi termal. Selain itu, sistem ini dilengkapi dengan agitator pengaduk, yang digerakkan oleh motor listrik melalui *fanbelt*, guna memastikan distribusi panas lebih merata.

Selanjutnya, sistem akan diuji melalui pengujian integrasi secara *open loop* dan *close loop*. Pada pengujian *open loop*, sistem diuji tanpa kontrol umpan balik untuk mengevaluasi performa pemanasan secara manual. Sementara itu, pengujian *close loop* akan menerapkan logika fuzzy dalam mengatur suhu secara otomatis. Gambar 7 menampilkan tampilan keseluruhan kompor listrik beserta panel box yang berisi mikrokontroler sebagai pusat sistem kontrol.



Gambar 7. Tampilan *Hardware* Sistem secara Keseluruhan

3.1 Pengujian Integrasi Sistem secara *Open Loop*

Pengujian ini dilakukan dengan mengintegrasikan seluruh komponen sistem pemanas tanpa menerapkan kontrol umpan balik (*feedback*), sehingga sistem bekerja dalam kondisi *open*

loop. Tujuan utama dari pengujian ini adalah untuk mengevaluasi pengaruh tegangan input terhadap suhu yang dihasilkan oleh *Band Heater* dalam kurun waktu 10 menit. Tegangan yang diberikan ke *Band Heater* divariasikan mulai dari 150V hingga 220V, dengan sudut penyulutan konstan pada 60°. Dengan sudut penyulutan tetap, pengujian dapat dilakukan secara murni berdasarkan perubahan tegangan input tanpa adanya intervensi sistem kontrol. Tabel 1 merupakan hasil pengujian integrasi sistem secara *open loop*.

Tabel 1. Hasil Pengujian Integrasi *Open Loop*

Sudut Penyulutan	Suhu (°C)	Tegangan Keluaran (V)	Waktu (Menit)
60°	120°C	150 V	10
	124°C	160 V	10
	130°C	170 V	10
	130°C	180 V	10
	132°C	190 V	10
	135°C	200 V	10
	139°C	210 V	10
	140°C	220 V	10
	120°C	150 V	10
	128°C	150 V	10
80°	130°C	160 V	10
	133°C	170 V	10
	135°C	180 V	10
	138°C	190 V	10
	139°C	200 V	10
	145°C	210 V	10
	152°C	220 V	10
	128°C	150 V	10

Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin tinggi tegangan input, suhu dalam tabung pemanas meningkat, meskipun tidak sepenuhnya linear. Pada tegangan 150V, suhu mencapai 120°C, sementara pada 220V, suhu meningkat hingga 152°C. Peningkatan suhu yang signifikan terjadi antara 150V hingga 190V, namun mulai melambat pada tegangan 200V hingga 220V, yang mengindikasikan adanya titik jenuh pada daya pemanasan *Band Heater*. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun tegangan terus dinaikkan, efisiensi pemanasan tidak meningkat secara proporsional dan dapat menyebabkan konsumsi daya yang kurang optimal.

Setiap pengujian dilakukan dengan durasi 10 menit untuk memastikan konsistensi pengukuran dan mencapai suhu stabil pada setiap tegangan input. Namun, karena sistem bekerja tanpa umpan balik, suhu yang dihasilkan berpotensi mengalami *overshoot* atau ketidakstabilan dalam jangka panjang. Oleh karena itu, diperlukan pengujian *close loop* dengan kontrol berbasis logika fuzzy, yang mampu menyesuaikan daya pemanas secara otomatis agar suhu tetap stabil sesuai set point. Dengan demikian, meskipun tegangan input memiliki pengaruh langsung terhadap kenaikan suhu, implementasi kontrol *close loop* lebih diperlukan untuk memastikan efisiensi dan kestabilan suhu dalam aplikasi jangka panjang atau pada kondisi beban yang berubah-ubah.

3.2 Pengujian Integrasi Sistem secara *Close Loop*

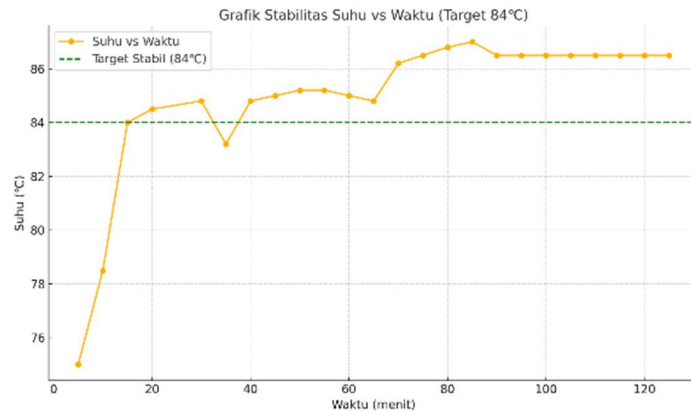
Pengujian *close loop* dilakukan dengan mengintegrasikan seluruh komponen sistem, termasuk kontrol dan umpan balik otomatis, untuk mengamati respons sistem terhadap perubahan input dan kondisi operasional. Umpan balik digunakan untuk menjaga keluaran sistem tetap stabil sesuai set point suhu yaitu 84°C, dengan mekanisme kontrol berbasis logika fuzzy yang

mengatur tegangan, arus, dan daya pemanasan secara otomatis. Dalam pengujian ini, konverter AC-AC yang dilengkapi IC TCA 785 dikonfigurasi untuk mengontrol Band Heater, yang telah terpasang pada hardware tabung.

Sistem ini juga terhubung ke panel *box*, yang berisi tombol pengatur pemanasan untuk mempermudah pemilihan mode penyangraian. Panel *box* berfungsi sebagai antarmuka pengguna, dilengkapi dengan LCD *display*, *push button*, dan *switch ON/OFF* untuk memonitor serta mengontrol sistem pemanasan. LCD display menampilkan informasi suhu secara *real-time*, sementara tiga *push button* memungkinkan pengguna memilih durasi pemanasan, yaitu 20 menit (warna coklat), 40 menit (coklat tua), dan 60 menit (hitam). Sebelum pengambilan data, *heater* dipanaskan terlebih dahulu hingga 75°C, mendekati *setpoint* yaitu 84°C. Setelah *heater* mencapai 75°C maka serbuk kayu dapat dimasukkan. Tabel 2 dan Gambar 8 merupakan hasil pengujian integrasi sistem secara *close loop*.

Tabel 2. Hasil Pengujian Integrasi *Close Loop*

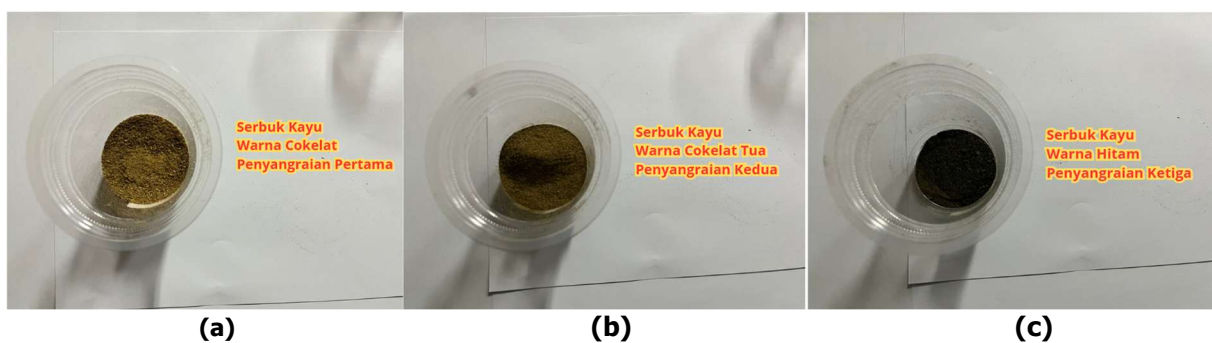
Push Button	(V) Teori	(V) Pengujian	Suhu (°C)	Waktu (Menit)	Waktu	Warna
Push Button 1	193 V	193,1 V	75 °C	5 menit	02.25	Cokelat Muda
	193 V	193,3 V	78,5 °C	5 menit	02.30	Cokelat Muda
	193 V	193,1V	84 °C	5 menit	02.35	Cokelat Muda
	193 V	193,2 V	84,5 °C	5 menit	02.40	Cokelat
Menunggu heater dingin $\pm$ 1 jam						
Push Button 2	193 V	193,2 V	84,8 °C	5 menit	03.30	Cokelat
	193 V	193,3 V	83,2 °C	5 menit	03.35	Cokelat
	193 V	193,2 V	84,8 °C	5 menit	03.40	Cokelat
	193 V	193,1 V	85 °C	5 menit	03.45	Cokelat
	193 V	193,1 V	85,2 °C	5 menit	04.50	Cokelat
	193 V	193,5 V	85,2 °C	5 menit	04.55	Cokelat
	193 V	193,4 V	85 °C	5 menit	05.00	Cokelat
	193 V	193,3 V	84,8 °C	5 menit	05.05	Cokelat Tua
Menunggu heater dingin $\pm$ 1,5 jam						
Push Button 3	193 V	193,1 V	86,2 °C	5 menit	06.40	Cokelat Tua
	193 V	193,2 V	86,5 °C	5 menit	06.45	Cokelat Tua
	193 V	193,2 V	86,8 °C	5 menit	06.50	Cokelat Tua
	193 V	193,3 V	87 °C	5 menit	06.55	Cokelat Tua
	193 V	192,5 V	86,5 °C	5 menit	07.00	Cokelat Tua
	193 V	192,1 V	86,5 °C	5 menit	07.05	Cokelat Tua
	193 V	191,9 V	86,5 °C	5 menit	07.10	Cokelat Tua
	193 V	192,2 V	86,5 °C	5 menit	07.15	Cokelat Tua
	193 V	191,6 V	86,5 °C	5 menit	07.20	Cokelat Tua
	193 V	191,2 V	86,5 °C	5 menit	07.25	Cokelat Tua
	193 V	191,1 V	86,5 °C	5 menit	07.30	Cokelat Tua
	193 V	191,1 V	86,5 °C	5 menit	07.35	Hitam
Menunggu heater dingin $\pm$ 2 jam						



Gambar 8. Grafik Hasil Pengujian *Close Loop*

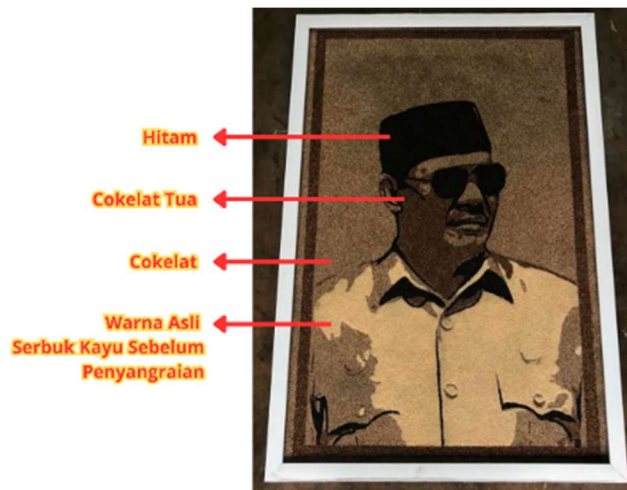
Bedasarkan Tabel 2 hasil pengujian *closed loop* menunjukkan bahwa sistem mampu menjaga kestabilan suhu sesuai target pada tiga mode *push button*. *Push Button 1* menghasilkan suhu stabil di sekitar 84°C, dengan durasi pemanasan 5 menit untuk mencapai warna cokelat. Pada *Push Button 2*, suhu berkisar antara 84°C hingga 86°C, menghasilkan warna cokelat tua dengan waktu penyangraian yang lebih lama. *Push Button 3* mempertahankan suhu di kisaran 86°C, menghasilkan warna hitam setelah durasi pemanasan yang lebih panjang. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem mampu menghasilkan tingkat warna serbuk kayu yang konsisten sesuai dengan kebutuhan, dengan akurasi persen *error* sebesar 2,38%. Sistem fuzzy menggunakan *set point* suhu 84°C, dengan *error* antara -84°C hingga 84°C dan *delta error* antara -168°C hingga 168°C. Sistem ini mengatur suhu *band heater* agar mencapai dan mempertahankan suhu target 84°C, serta mampu merespon perubahan suhu yang cepat melalui pemanfaatan *delta error* yang diperluas.

Grafik stabilitas suhu-waktu pada Gambar 8 menunjukkan respon sistem *closed loop* dalam mencapai dan menjaga suhu stabil. Pada fase awal (0-20 menit), suhu meningkat dengan cepat dari 75°C hingga mendekati target 84°C. Fase penyesuaian terlihat dari sedikit fluktuasi suhu pada menit ke-20 hingga ke-40, di mana sistem melakukan modulasi daya untuk mencapai kestabilan. Setelah menit ke-60, suhu sistem stabil di sekitar 86°C, dengan deviasi rata-rata sekitar 2°C dari target. Grafik ini membuktikan bahwa logika fuzzy bekerja dengan baik dalam mengatur daya pemanas untuk menjaga kestabilan suhu, meskipun terdapat sedikit fluktuasi awal selama fase transisi. Berikut ini merupakan hasil penyangraian berdasarkan mode *push button* yang telah dipilih yang ditunjukkan pada Gambar 9 (a), (b), dan (c).



Gambar 9. (a) Hasil Penyangraian Pertama, (b) Hasil Penyangraian Kedua, (c) Hasil Penyangraian Ketiga

Pada Gambar 9 (a) terlihat hasil penyangraian pertama yang menghasilkan warna coklat, sedangkan Gambar 9 (b) menunjukkan hasil dengan warna coklat tua pada penyangraian kedua. Sementara itu, pada Gambar 9 (c) terlihat penyangraian ketiga menghasilkan warna hitam. Serbuk kayu yang telah melalui proses penyangraian berhasil mencapai tiga tingkat warna sesuai dengan perencanaan awal, yaitu coklat, coklat tua, dan hitam. Hasil ini digunakan sebagai bahan utama dalam pembuatan lukisan Grajen, sebuah karya seni bernilai jual tinggi yang memanfaatkan limbah serbuk kayu secara kreatif. Berikut adalah hasil implementasi dari serbuk kayu yang telah disangrai yang ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Implementasi Warna Serbuk Kayu

Sistem ini dapat digunakan untuk berbagai jenis kayu karena fokus utama kompor listrik yang dirancang adalah pengendalian suhu secara presisi menggunakan logika fuzzy, bukan pada karakteristik spesifik satu jenis kayu. Selama serbuk kayu memiliki sifat yang relatif mirip, seperti mudah kering, berubah warna saat disangrai, dan tidak memiliki kepadatan termal ekstrem—sistem tetap mampu mengakomodasi proses penyangraian dengan baik.

4. KESIMPULAN

Dari hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem kompor listrik berbasis logika fuzzy untuk proses penyangraian serbuk kayu, dapat disimpulkan bahwa sistem yang dikembangkan telah berhasil beroperasi sesuai dengan perencanaan awal. Kompor listrik ini dirancang dengan menggunakan *band heater* sebagai elemen pemanas, yang dikendalikan oleh konverter AC-AC dan kontrol logika fuzzy untuk mengatur suhu secara otomatis. Sistem ini juga dilengkapi dengan agitator pengaduk yang memastikan distribusi panas merata, sehingga serbuk kayu dapat disangrai secara optimal. Pengujian dilakukan dalam dua metode, yaitu *open loop* dan *close loop*. Pengujian *open loop*, yang dilakukan tanpa kontrol umpan balik, menunjukkan bahwa tegangan input berpengaruh langsung terhadap suhu, namun peningkatan suhu tidak selalu linear. Sementara itu, pengujian *close loop* dengan logika fuzzy menunjukkan hasil daya pemanas secara otomatis mempertahankan suhu di 84°-87°C, sehingga terdapat selisih antara pengukuran suhu dengan *setpoint*, dikarenakan indikasi pengaruh lingkungan atau toleransi sensor. Hasil pengujian menunjukkan bahwa logika fuzzy tingkat *error* sebesar 2,38%. Hasil akhir penyangraian menunjukkan bahwa serbuk kayu berubah menjadi tiga tingkat warna, yaitu coklat, coklat tua, dan hitam. Hasil ini digunakan sebagai bahan utama dalam pembuatan lukisan Grajen.

DAFTAR RUJUKAN

- Abdullah, M. Z., Sudiharto, I., & Eviningsih, R. P. (2020). Photovoltaic System MPPT using Fuzzy Logic Controller. *2020 International Seminar on Application for Technology of Information and Communication (ISemantic)*, (pp. 378–383). <https://doi.org/10.1109/iSemantic50169.2020.9234200>
- Arif, Y. C., Eviningsih, R. P., & Widyanto, A. A. (2023). Pengaturan Suhu Ruangan Oven Pengereng Cat Panel Box menggunakan Logika Kontrol Fuzzy. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 11(2), 364.
- Arif, Y. C., Rakhmawati, R., Saksana, A., & others. (2019). Implementation of AC-AC voltage controller for reduce transient current at three phase induction motor. *2019 International Seminar on Application for Technology of Information and Communication (ISemantic)*, (pp. 465–470).
- Awaludin, M. I. (2023). Design of Electric Oven Temperature Control System Using PID Method. *Telekontran: Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Kendali Dan Elektronika Terapan*, 11(2), 129–139.
- Dewi, R., Arif, Y. C., & Raharja, L. P. S. (2023). Maximum Power Point Tracking Berbasis Fuzzy Logic Control Pada Heater Mini Sauna di Masa Pandemi. *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, 11(1), 15–24.
- Fatkhurrozi, B., & Setiawan, H. T. (2024). Implementasi Logika Fuzzy pada Sistem Kendali Suhu Dan Kelembaban Udara Ruangan Pengereng Biji Kopi Berbasis Mikrokontroler. *Journal of Telecommunication Electronics and Control Engineering (JTECE)*, 6(1), 50–59.
- Hadi, M. S., Sugiono, B. S. R., Argeshwara, D. K., Shidiqi, M. A., Arrohman, M. L., Wirawan, I. M., Mizar, M. A., & Witjoro, A. (2023). Sistem Kontrol Tungku Api Otomatis Untuk Proses Pasteurisasi Susu Berbasis Logika Fuzzy Sugeno. *Techno. Com*, 22(1), 89–96.
- Haryanto, D., Rosidi, A., Prayogo, K., Juarsa, M., & others. (2023). Investigasi Kinerja Ceramic Band Heater Pada Heating Tank Section Untai FASSIP-03 NT. *AME (Aplikasi Mekanika Dan Energi): Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 9(2), 64–72.
- Imanuddin, A. I., Kristalina, P., & Dewantara, B. S. B. (2021). Skema Handover pada Multi-kamera dengan Logika Fuzzy untuk Sistem Pemantauan Orang. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 9(1), 58.
- Kurniawan, A. W., Suharyanto, H. E. H., Mahendra, L. S., Arif, Y. C., Putra, P. A. M., & Raharja, L. P. S. (2024). Kompor Induksi Untuk Penghangat Mpasi Menggunakan Kontrol Logika Fuzzy. *Transmisi: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 26(4), 207–213.
- Nasir, G. A., Syafriandi, S., & Mustaqimah, M. (2019). Uji Kinerja Alat Penyangrai Kopi Tipe

- Silinder Menggunakan Band-Heater sebagai Pemanas. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 4(4), 382–391.
- Pradipta, A. (2022). Kendali Suhu Pada Mesin Hostia Baking Oven Menggunakan Sensor Thermocouple Tipe K. *Electro Luceat*, 8(1), 16–23.
- Rahmadani, A., Windarko, N. A., & Raharja, L. P. S. (2022). Rancang Bangun Sistem Monitoring Suhu dan Kelembapan serta Kendali Dua Heater pada Kubikel 20 kV Berbasis Sistem Informasi Geografis. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 21(2), 219. <https://doi.org/10.24843/MITE.2022.v21i02.P09>
- Setiawan, A., Zakaria, N. A., Musafa, A., & Sujono, S. (2021). Perancangan Pembangkit Listrik Termoelektrik pada Proses Refrigerasi Air Conditioner dengan Metode Fuzzy Logic. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 9(1), 1.
- Shaker, D. H., Shneen, S. W., Abdullah, F. N., & Aziz, G. A. (2022). Simulation Model of Single-Phase AC-AC Converter by Using MATLAB. *Journal of Robotics and Control (JRC)*, 3(5), 656–665. <https://doi.org/10.18196/jrc.v3i5.15213>