

Pengaturan Suhu Ruang *Oven* Pengering Cat *Panel Box* menggunakan Logika Kontrol *Fuzzy*

YAHYA CHUSNA ARIF, RACHMA PRILIAN EVININGSIH, AVIE ALIA WIDYANTO

Teknik Elektro Industri, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Indonesia
Email: rachmaevin@pens.ac.id

Received 2 Februari 2023 | *Revised* 3 Maret 2023 | *Accepted* 6 Maret 2023

ABSTRAK

Pengontrolan suhu adalah proses yang sering digunakan dalam pemakaian sehari-hari. Diantaranya adalah pengontrolan suhu pada proses pengeringan cat menggunakan teknik oven atau pengering paksa. Pada penelitian ini pengontrolan suhu digunakan untuk proses pengeringan cat pada plat panel listrik dengan cara membuat suhu stabil pada 60°C selama 30 menit. Untuk mempertahankan suhu pada ruangan mesin oven cat sebesar 60°C tersebut, maka kinerja dari elektrik heater sebagai sumber panas dikontrol menggunakan AC-AC konverter dengan metode logika kontrol fuzzy. Hasil yang diperoleh adalah suhu dalam ruangan mesin oven cat bisa mencapai set point 60°C selama waktu 5 menit 13 detik dan suhu bisa dipertahankan 61°C dengan persentase error sebesar 1,67%. Konstruksi oven dalam penelitian ini digunakan pada bengkel pengecatan panel sehingga tidak lagi tergantung menggunakan panas matahari atau menggunakan kondisi suhu luar ruangan.

Kata kunci: *Mesin Oven Cat, Sensor Suhu, Panel Box, Logika Kontrol Fuzzy*

ABSTRACT

Temperature control is a process that is often used in everyday use. Among them is temperature control in the paint drying process using oven or forced drying techniques. In this study, temperature control was used for the drying process of paint on electrical panel plates by making the temperature stable at 60°C for 30 minutes. To maintain the temperature in the paint oven machine room at 60°C, the performance of the electric heater as a heat source is controlled using an AC-AC Converter with the Fuzzy Logic Control method. The results obtained are that the temperature in the paint oven machine room can reach a set point of 60°C for 5 minutes 13 seconds and the temperature can be maintained at 61°C with an error percentage of 1.67%. The construction of the oven in this study was used in a panel painting workshop so that it is no longer dependent on using solar heat or using outdoor temperature conditions.

Keywords: *Paint Booth, Temperatur Sensor, Panel Box, Fuzzy Logic Control*

1. PENDAHULUAN

Sejalan dengan perkembangan teknologi bidang industri, maka dibutuhkan alat-alat yang dapat mendukung cara kerja manusia menjadi lebih mudah. Salah satu perkembangan teknologi yaitu pada industri bidang pembuatan *panel box* listrik. Dalam proses pembuatan *panel box* listrik, terdapat proses pengeringan cat pada *panel box* menggunakan mesin *oven* cat (**Licari, 2003**). Tujuan dari proses pelapisan serta pengeringan cat pada panel listrik yaitu, untuk memperbaiki sifat logam agar tahan korosi (**Rifai & Suwahyo, 2021**) dan sebagai isolator karena mampu menahan kebocoran arus listrik (**Ristanto, 2017**).

Terdapat ruangan pengering yang cukup besar dan lebih besar dari material yang akan dikeringkan di dalam mesin *oven* cat tersebut. Ruangan yang terdapat pada mesin *oven* digunakan untuk mempercepat proses pengeringan pada material benda kerja agar lebih cepat (**Gunadi, 2008**). Metode pengeringan menggunakan mesin *oven* yang dilengkapi dengan pemanas atau *heater*, dapat meminimalisir kotoran dan debu pada permukaan cat (**Iqbal & Susetyo, 2022**). Kualitas penampilan cat akan meningkat bila dikeringkan di dalam *oven* pada temperatur yang sesuai, dibandingkan dengan metode pengeringan di ruang terbuka dengan suhu dan cuaca yang berubah-ubah (**Farhan, 2022**), sehingga membutuhkan waktu 1-2 hari untuk proses pengeringan (**Rifai & Suwahyo, 2021**). Pengeringan cat yang menggunakan *oven*, mempengaruhi kualitas hasil kelekatan, permukaan cat menjadi rata, mengkilap dan lebih keras (**Supriyono, dkk, 2019**). Pada proses pengeringan cat, nilai temperatur yang digunakan tidak boleh terlalu rendah dan tinggi, dikarenakan pada mesin *oven* terdapat zat yang mudah terbakar yaitu uap cat minyak dan uap pengencer cat atau tiner (**Said, dkk, 2014**). Selain itu, apabila nilai temperatur semakin tinggi, maka semakin turun kemampuan daya lekat dan kekilapannya pada permukaan material (**Iqbal & Susetyo, 2022**). Dimana, suhu umum yang digunakan dalam proses pengeringan cat di dalam mesin *oven* yaitu pada batas suhu minimal 40 °C dan maksimal 60 °C (**Argana, 2013**) dengan waktu selama 30 menit (**Robinson & Livesey, 2013**).

Untuk memudahkan dalam penyesuaian temperatur ruang, digunakan sumber elemen panas dari listrik (**Rahmadani, dkk, 2022**). Penyesuaian suhu pada pemanas (*heater*) yaitu dengan mengatur sudut penyalaan dari AC-AC konverter (**Nugraha & Eviningsih, 2022**) dalam mengatur tegangan pada pemanas, agar suhu konstan. Selanjutnya diperlukan sistem kontrol tertutup dengan menggunakan suatu metode, sehingga dapat memaksimalkan nilai suhu keluaran dari pemanas serta sesuai dengan nilai *set point* yang diinginkan. Dalam penelitian sebelumnya, pengaturan suhu pada pemanas dapat menggunakan Metode *Controller Chien Regulator I* dan *Chien Servo I* sebagai *tuning* kontrol PI (*Proportional Integral*), di mana nilai *ripple* grafik respons suhu belum stabil (**Irianto, dkk, 2018**). Selanjutnya dengan metode PID (*Proportional Integral Derivative*) (**Silvano, dkk, 2017**), di mana nilai *steady state error* kecil namun *settling time* pembacaan nilai suhu dihasilkan tinggi hingga 1255 *sekon*. Penelitian yang lain yaitu pengaturan suhu pada *farming box* menggunakan metode logika kontrol *fuzzy*, pada penelitian ini dihasilkan nilai *settling time* yang lebih cepat, *steady state* yang rendah dengan hasil perbandingan pembacaan suhu sebesar 1.28% (**Firmansyah & Junianto, 2020**). Dari beberapa metode pengaturan suhu pemanas, maka metode logika kontrol *fuzzy* yang dapat mengonversi, menghasilkan nilai yang sesuai serta memperbaiki respons suhu dari model matematis FOPDT (*First Order Plus Dead Time*) (**Al-zobai & Makki, 2021**).

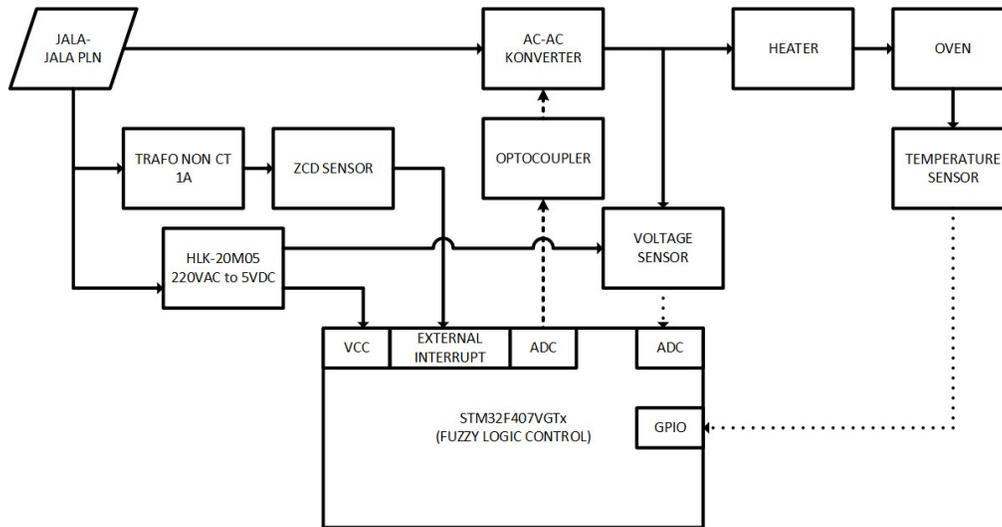
Pada umumnya mesin *oven* digunakan hanya untuk mengeringkan cat, sedangkan pada penelitian ini membahas suatu sistem monitoring dan suhu pada mesin *oven* cat menggunakan metode logika kontrol *fuzzy* agar suhu pemanas konstan. Kelebihan dari mesin *oven* cat pada penelitian ini yaitu sistem dapat mengatur suhu secara otomatis apabila terjadi kenaikan suhu,

sehingga suhu yang ada dalam ruangan mesin *oven* konstan. Tujuan dari penelitian ini yaitu menghasilkan sistem yang dapat mempermudah petugas dalam memonitoring dan mengontrol suhu pada mesin *oven* cat dengan tingkat kesalahan ukur yang rendah, agar pengeringan cat pada *panel box* menjadi rata, mengkilap, lebih keras dan cepat.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Perencanaan Sistem

Perencanaan sistem pada penelitian ini dimuat pada diagram blok yang ditunjukkan pada Gambar 1, mencakup rancangan *software* dan *hardware* secara menyeluruh.

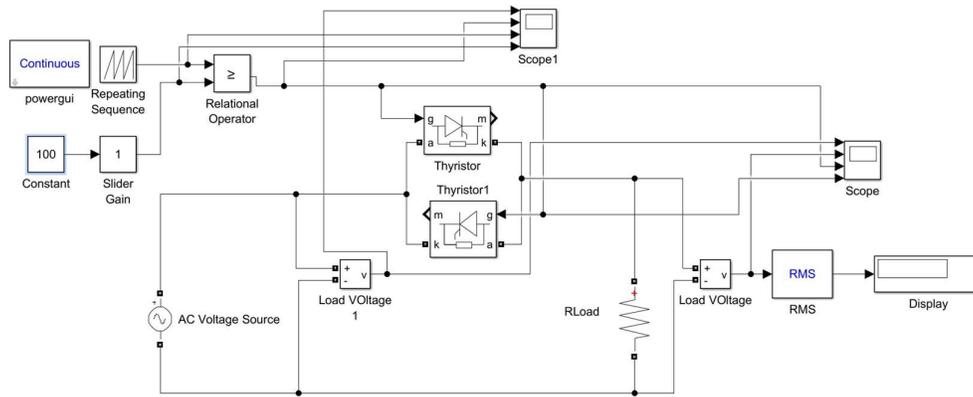


Gambar 1. Diagram Blok Sistem

Secara umum prinsip kerja dari blok diagram pada Gambar 1 tersebut tegangan keluaran tegangan dari AC-AC konverter, akan masuk ke *heater* untuk mengontrol tegangan elemen panas atau *heater* dengan mengatur sudut penyalan. Spesifikasi elemen panas yang digunakan mempunyai daya $P = 1000 \text{ W}$ dan tegangan $= 220 \text{ VAC}$. Untuk menjaga tegangan dan respons suhu menjadi konstan, maka digunakan algoritma logika kontrol *fuzzy* pada sistem mikrokontroler STM32F407VG. Nilai keluaran tegangan pada AC-AC konverter dapat dibaca dan diukur dengan sensor tegangan. Pada sisi rangkaian ZCD (*Zero Crossing Detector*), sensor tersebut disuplai oleh trafo non CT dengan arus 500 mA, lalu keluaran trafo yang digunakan sebesar 12 VAC yang nantinya akan menyuplai rangkaian ZCD. Rangkaian tersebut berfungsi sebagai indikator untuk memulai program *counter delay* pada proses *switching TRIAC*. Terdapat sensor DHT-22 untuk membaca nilai suhu pada mesin *oven* serta terdapat LCD I2C sebagai tampilan monitoring data pembacaan.

2.2 AC-AC Konverter

Penyesuaian nilai gelombang penuh tegangan satu fasa tunggal biasanya digunakan untuk kontrol tegangan. Perangkat Rangkaian AC-AC konverter fasa tunggal adalah metode untuk memperoleh tegangan arus bolak-balik (AC) variabel dari sumber AC tunggal. Rangkaian konverter ini menggunakan komponen *switching thyristor* dengan konfigurasi antiparalel, atau menggunakan *TRIAC* (*triode for alternating current*). Rangkaian AC-AC konverter fasa tunggal umumnya digunakan sebagai kontrol *heater*. Gambar 2 merupakan bentuk simulasi rangkaian AC-AC konverter.



Gambar 2. Rangkaian AC-AC Konverter

Rangkaian AC-AC Converter di sini digunakan untuk menurunkan tegangan hingga tegangan yang sesuai dengan kebutuhan. Persamaan (1) merupakan persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai tegangan keluaran rms sebagai parameter AC-AC konverter (**Shaker, dkk, 2022**).

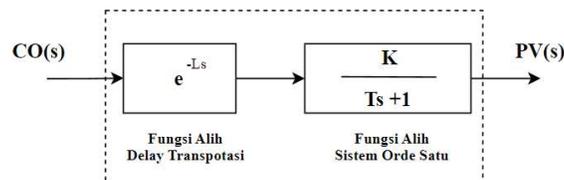
$$V_{o(rms)} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin(2\alpha)}{2\pi}} \quad (1)$$

2.3 Model Proses Self Regulating

Model *proses self regulating* adalah model proses yang bersifat stabil, yang didekati oleh sebuah model matematis yang dikenal dengan nama model FOPDT (*First Order Plus Dead Time*) yang dicirikan oleh tiga buah parameter yaitu keterlambatan *transportasi* (L), *konstanta waktu proses* (T) dan *gain statis proses* (K). *Gain statis proses* adalah perbandingan perubahan PV terhadap perubahan CO dalam keadaan *steady*-nya, untuk menentukan nilai *Gain statis proses* dapat menggunakan Persamaan (2).

$$K = \frac{\Delta PV}{\Delta C} = \frac{PV1 - PV}{CO1 - CO0} \quad (2)$$

Nilai *gain process* ini secara langsung menunjukkan kesensitifan dari proses, semakin besar *gain statis* maka proses semakin sensitif, perubahan kecil pada CO akan menghasilkan deviasi PV yang relatif besar. Dalam perancangan dan analisis sistem, persamaan diferensial mewakili perilaku proses sistem, dengan dimodelkan dalam bentuk fungsi alih dengan persamaan seperti pada Gambar 3. Sehingga dalam pemodelan diferensial didapatkan respons karakteristik sistem yang akan digunakan untuk analisis kontrol.



Gambar 3. Diagram Blok Model Proses FOPDT

Keterangan :

$H(s)$ = fungsi alih kontrol proses FOPDT

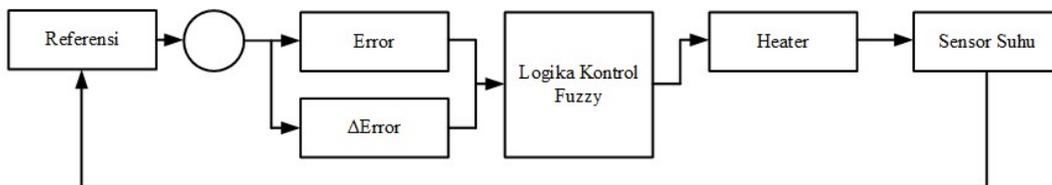
$PV(s)$ = transformasi *laplace* deviasi keluaran proses

$CO(s)$ = transformasi *laplace* deviasi keluaran *kontroler* (masukan proses)

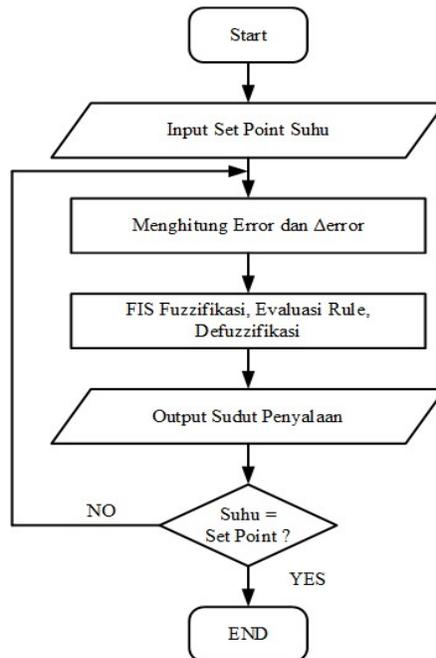
s = variabel *laplace*

2.4 Fuzzy Logic Control

Pada penelitian ini menggunakan metode *Fuzzy Sugeno*, di mana keluaran sistem bukan himpunan *fuzzy*, tetapi persamaan linier (Hw, dkk, 2021). Berbeda dengan sistem kontrol, biasanya harga yang dihasilkan sudah ditentukan secara pasti atau dalam istilah lain hanya logika 0 dan 1 atau bekerja pada area *on* dan *off* sehingga diperoleh perubahan yang tidak signifikan (Wachid, dkk, 2021). Pada sistem logika kontrol *fuzzy* yang bekerja antara 0 dan 1 dapat dapat didefinisikan sehingga pengontrol dapat bekerja seperti sistem saraf manusia yang dapat mempersepsikan lingkungan luar yang kurang, agak, biasa, sangat atau bahkan dapat lebih dari kategori itu dengan menambahkan faktor linguistik yang dikumpulkan dalam derajat keanggotaan (Nugraha, dkk, 2022). Blok diagram serta diagram alir pengaturan tegangan dengan menggunakan logika kontrol *fuzzy* ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4. Diagram Blok *Fuzzy Logic Control*



Gambar 5. Diagram Alir *Fuzzy Logic Control*

Pada Gambar 4 dijelaskan diagram alir program kontrol logika *fuzzy* dengan masukan *set point* berupa suhu (konversi dari tegangan) yang akan dijaga konstan walaupun ada gangguan dari luar sistem. Saat program diberikan *set point* berupa suhu kemudian program dijalankan maka logika *fuzzy* akan menghitung *error* dan *delta error* yang kemudian diproses pada *Fuzzy Inference System* (FIS) (Setiawan, dkk, 2021), dalam FIS berlangsung proses *fuzzyfikasi* yaitu menghitung derajat keanggotaan semua label *error* dan *delta error*. Derajat keanggotaan dari *defuzzyfikasi error* dan *delta error* akan dikombinasikan atau dirata-rata dengan semua label *delta* sehingga memperoleh hasil berupa keluaran *crisp* berupa bilangan *fuzzy*, bilangan *fuzzy* ini kemudian diproses menjadi keluaran berupa sudut penyalan oleh *defuzzyfikasi Weighted Average* (Aliya, dkk, 2020). Sistem logika *fuzzy* yang didesain mempunyai dua masukan yaitu *error* dan *delta error* didefinisikan dan sudut penyalan sebagai keluaran. Masukan logika kontrol *fuzzy* didefinisikan dalam Persamaan (3), (4) dan (5) (Abdullah, dkk, 2020).

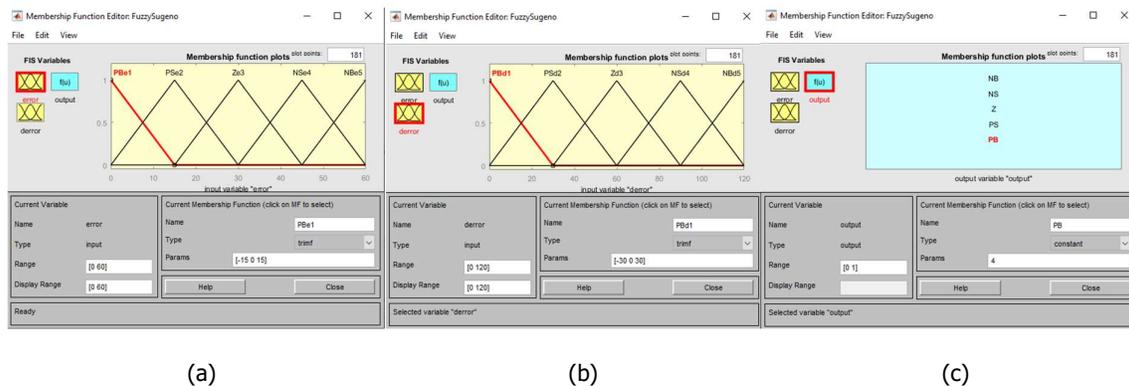
$$Error(t) = Refrensi - suhu aktual \quad (3)$$

$$\Delta error = Error(t) - Error(t - 1) \quad (4)$$

Keluaran yang diberikan *plant* digunakan Persamaan (5) :

$$Sudut Penyalan (t) = Sudut Penyalan (t - 1) + \Delta Sudut \quad (5)$$

Setelah itu, pada tahap awal harus ditentukan fungsi keanggotaan untuk masukan pada *fuzzy*. Karena pada sistem pengaturan suhu *oven* cat ini merupakan *fuzzy* yang mengubah sudut penyalan pada *switching* ZCD pada saat terjadi perubahan suhu. Maka masukan fungsi keanggotaan harus merepresentasikan besarnya nilai *error* dan *delta error*. Masing-masing memiliki 5 fungsi keanggotaan, sehingga keluaran yang dihasilkan lebih akurat dan halus seperti terlihat pada Gambar 6 (a),(b) dan (c).



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

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan dua kali pengujian, yaitu pengujian secara simulasi dan pengujian integrasi keseluruhan sistem. Pengujian secara simulasi menggunakan aplikasi MATLAB dengan tujuan untuk mencari nilai sistem logika kontrol *fuzzy*. Adapaun pengujian integrasi *hardware* dilakukan untuk mengetahui apakah setiap bagian dari secara keseluruhan sistem

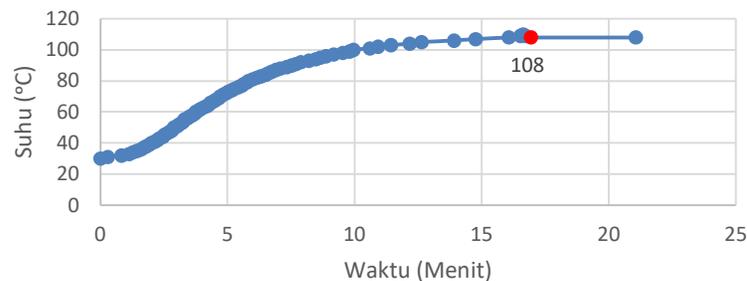
telah bekerja sesuai dengan perencanaan. Pengujian integrasi *hardware* dilakukan dalam dua kondisi, yaitu pengujian dengan kondisi gangguan *drop* tegangan dan kondisi sumber tegangan jala-jala normal 220 V. Pada penelitian ini digunakan rangka mesin *oven* cat untuk pengeringan cat dengan dimensi $70 \times 50 \times 50 \text{ cm}^3$. Tujuan pembuatan rangka mesin *oven* cat ini adalah untuk tempat pengeringan cat yang digunakan untuk proses pengeringan secara paksa agar suhu dalam ruangan tetap konstan dan tidak ada pengaruh dari suhu di luar dalam proses pengeringan cat. Pada Gambar 7 merupakan tampilan proses pengujian integrasi keseluruhan pada sistem *hardware*.



Gambar 7. Proses Pengujian Integrasi Hardware

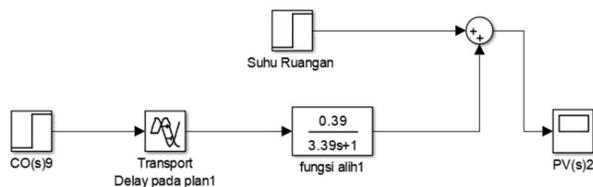
3.1 Karakteristik Keluaran Respons Suhu

Simulasi pada sistem ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pemodelan *transfer function* dari karakteristik respons suhu pada sistem dengan tegangan yang sudah di-*setting* sebagai. Hasil dari simulasi ini akan digunakan untuk mengetahui respons suhu hingga mencapai kondisi *steady state* dengan tegangan yang sudah di-*setting*. Pengujian keluaran respons suhu dilakukan dengan beban yang digunakan adalah *heater* 1000 Watt, tegangan masukan yang digunakan adalah 200 V, sensor suhu yang digunakan MAX 6675 serta Termokopel Tipe-K. Grafik hasil pengujian keluaran respons suhu terhadap beban ditunjukkan pada Gambar 8.

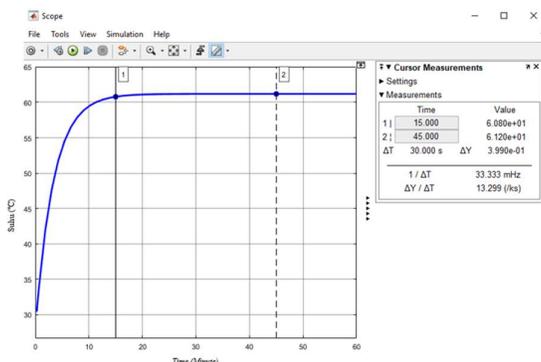


Gambar 8. Grafik Pengujian Respons Suhu dengan Beban

Dari Gambar 8 dapat disimpulkan bahwa pengujian dilakukan dengan tegangan *setting* senilai 200 V dan menghasilkan suhu mencapai *steady state* senilai 108°C pada waktu senilai 16 menit 57 detik (16,95) dengan total waktu senilai 21 menit 4 detik (21,07). Dari keterangan tersebut pemodelan *transfer function* dapat diketahui dari Persamaan (2), dan dihasilkan nilai parameter sebesar $\Delta PV = 78$; $\Delta CO = 200$; $T_s = 16,95$ dan $K = 0,39$. Sehingga dari hasil simulasi tersebut didapatkan pemodelan fungsi alih yang ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Simulasi Sistem Karakteristik Keluaran Respons Suhu

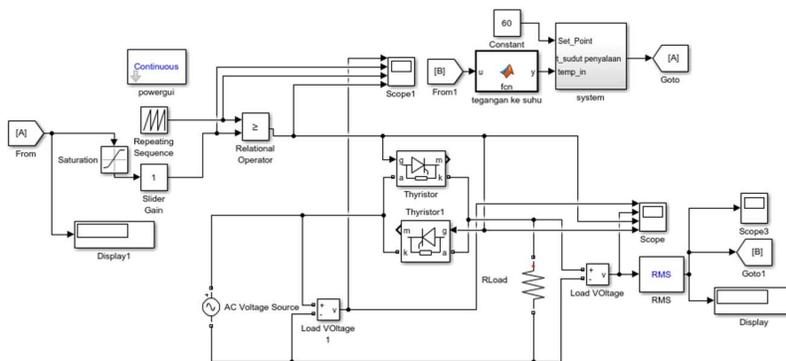


Gambar 10. Grafik Fungsi Suhu terhadap Waktu Karakteristik Keluaran Respons Suhu

Pada Gambar 10 mempunyai karakteristik grafik kenaikan suhu yang relatif sama dengan suhu *set point* yang digunakan pada mesin *oven* cat yang digunakan yaitu 60°C, di mana nilai *Controller Output* (CO) akan mempengaruhi nilai keluaran dari *Process Variable* (PV), sehingga perlunya kontrol logika *fuzzy* pada pengaturan suhu ruang mesin *oven* cat agar suhu dalam ruang tetap konstan sesuai dengan *set point* yang ditentukan. Hasil tersebut menggunakan uji tegangan masukan (CO) sebesar 80 V. Ketika diberi nilai CO tersebut, menghasilkan nilai suhu pada grafik sebesar 61,2°C.

3.2 Simulasi Integrasi Sistem secara *Open Loop* dan *Close Loop*

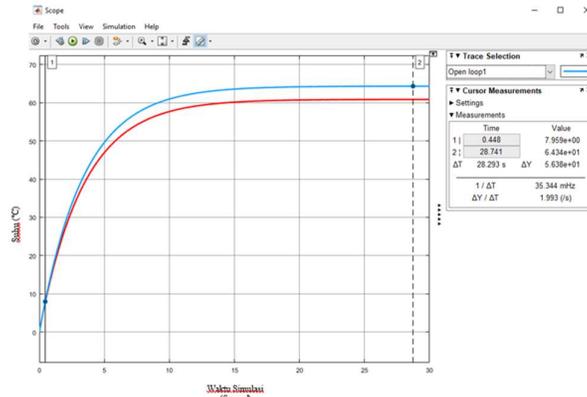
Pada pengujian ini dilakukan simulasi logika kontrol *fuzzy* pada rangkaian AC-AC konverter dengan asumsi nilai beban resistansi *heater* ketika diaktifkan tidak stabil karena perubahan suhu. *Fuzzy* akan menstabilkan nilai sudut penyalan untuk mencapai *set point* nilai suhu *heater* yaitu 60°C. Gambar 11 berikut merupakan rangkaian sistem dengan aplikasi MATLAB.



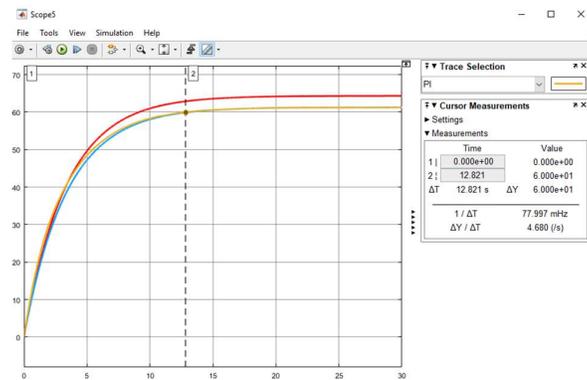
Gambar 11. Rangkaian Integrasi Sistem

Dapat dilihat pada Gambar 11 bahwa simulasi di atas merupakan rangkaian integrasi sistem pada aplikasi MATLAB. Simulasi ini digunakan untuk membandingkan hasil penstabilan suhu yang dikeluarkan oleh *heater* secara *open loop* atau tanpa kontrol dengan secara *close loop*

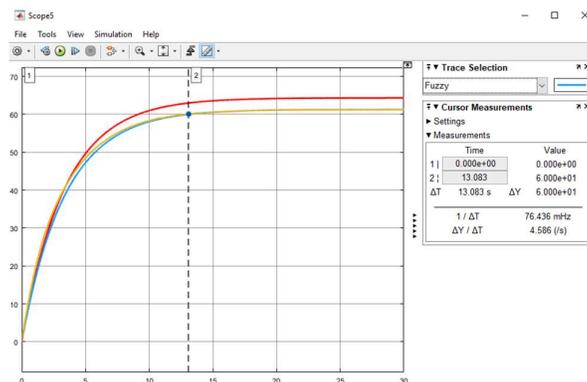
atau menggunakan kontrol yaitu kontrol logika *fuzzy*. Pada simulasi ini diberikan *set point* suhu sebesar 60°C untuk mengatur keluaran dari kontrol logika *fuzzy* yaitu sudut penyalan AC-AC konverter. Berikut merupakan gambar grafik keluaran suhu kondisi *open loop* dapat dilihat pada Gambar 12 dan diberi kontrol PI pada Gambar 13 serta diberi kontrol logika *fuzzy* untuk menstabilkan suhu yang dikeluarkan oleh beban *heater* dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 12. Grafik Suhu yang Dihasilkan oleh Beban *Heater* secara *Open Loop*



Gambar 13. Grafik Suhu yang Dihasilkan oleh Beban *Heater* dengan Kontrol PI



Gambar 14. Grafik Suhu yang Dihasilkan oleh Beban *Heater* dengan Logika Kontrol *Fuzzy*

Dapat dilihat pada Gambar 12, ketika simulasi kondisi *open loop*, saat *setpoint* diberi nilai 60°C, nilai yang dihasilkan pada simulasi ini sebesar 64,34°C. Lalu pada Gambar 13 ketika kondisi *close loop* dengan kontrol PI, nilai yang dihasilkan pada simulasi ini sebesar 61,24°C. Metode kontrol PI, membutuhkan waktu simulasi (T_s) selama 13,083 detik untuk mencapai *set point* suhu sebesar 60°C. Sedangkan pada Gambar 14, ketika menggunakan logika kontrol

fuzzy dihasilkan nilai sebesar 61,27 °C. Metode kontrol *fuzzy*, membutuhkan waktu simulasi (T_s) selama 12,84 detik, untuk mencapai *set point* suhu sebesar 60°C. Dapat dikatakan bahwa perbandingan antara simulasi *close loop* menggunakan metode kontrol *fuzzy* dengan metode kontrol PI adalah waktu simulasi untuk mencapai *set point* suhu 60°C lebih cepat metode kontrol PI dibandingkan dengan metode kontrol *fuzzy* dengan selisih waktu simulasi sebesar 0,234 detik.

3.3 Integrasi *Hardware* dengan Kondisi Gangguan *Drop* Tegangan

Pengujian pada *drop* tegangan 198 V dilakukan sebanyak dua kali yaitu, pengujian rangkaian secara *open loop* tanpa kontrol dan pengujian secara *close loop* dengan kontrol. Gangguan *drop* tegangan pada sumber masukan dapat mempengaruhi kinerja dari mesin *oven* cat. Berikut merupakan hasil pengujian integrasi sistem secara *open loop* dengan kondisi *drop* tegangan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian *Hardware* secara *Open Loop* Kondisi Gangguan *Drop* Tegangan

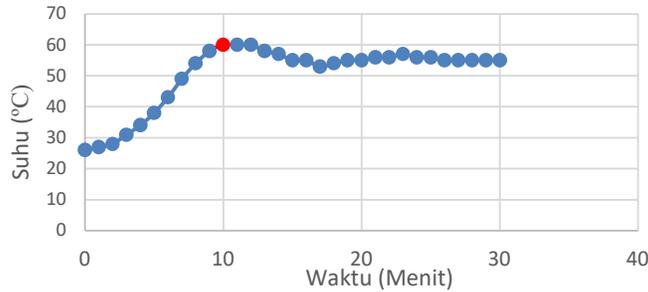
Suhu (°C)	Tegangan Keluaran (V)	Waktu (Menit)
28	153	1
29	163	2
31	162	3
36	160	4
41	160	5
47	162	6
52	163	7
57	164	8
62	154	9

Pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa hasil pengujian integrasi secara *open loop* dengan kondisi gangguan *drop* tegangan, memperoleh data suhu dan tegangan keluaran sesuai dengan *set point* 60°C yaitu pada waktu menit 9 dengan suhu pembacaan 62°C dan tegangan keluaran 154 V. Suhu mencapai nilai *set point* 60°C pada waktu 8 menit 28 detik. Hal tersebut terjadi karena tegangan jala-jala yang digunakan mengalami gangguan *drop* tegangan sehingga menyebabkan waktu untuk mencapai suhu sesuai dengan *set point* lebih lama. Ketika waktu menunjukkan menit ke-9, maka suhu akan naik dikarenakan pengujian ini tidak ada kontrol. Selanjutnya dilakukan pengujian secara *close loop* pada kondisi sumber tegangan mengalami *drop* tegangan, dengan hasil pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 2.

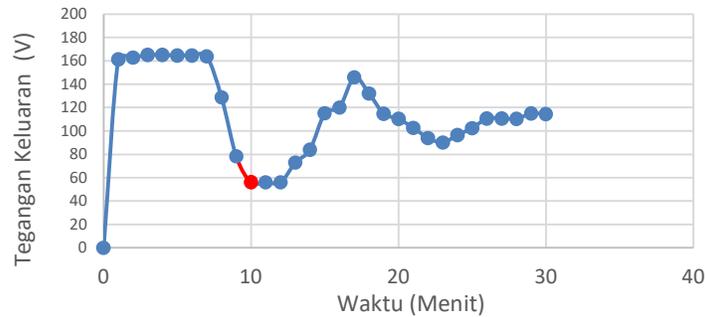
Tabel 2. Pengujian *Hardware* Secara *Close Loop* Kondisi Gangguan *Drop* Tegangan

Waktu (Menit)	Suhu (°C)	Tegangan Keluaran (V)	Waktu (Menit)	Suhu (°C)	Tegangan Keluaran (V)
0	26	0	-	-	-
1	27	161,2	16	55	120,1
2	28	162,7	17	53	145,8
3	31	165	18	54	132,1
4	34	165	19	55	114,1
5	38	164,5	20	55	110,4
6	43	164,5	21	56	102,7
7	49	163,	22	56	93,9
8	54	128,7	23	57	90,1
9	58	78,3	24	56	96,5
10	60	56,1	25	56	102,5
11	60	56,2	26	55	110,7
12	60	56	27	55	110,7
13	58	72,9	28	55	110,4
14	57	84,1	29	55	114,9
15	55	115,1	30	55	114,4

Dari Tabel 2, dapat dilihat bahwa waktu dimulainya suhu konstan yaitu pada saat menit ke-10. Pada waktu tersebut didapatkan data suhu sebesar 60°C dan tegangan keluaran sebesar 56,1 V. Suhu akan turun ketika waktu menunjukkan menit 19 sehingga sampai pada waktu 30 menit suhu akan konstan pada suhu 55°C. Kondisi gangguan *drop* tegangan mengakibatkan waktu untuk mencapai nilai *set point* cukup lama serta belum sesuai dengan *set point* suhu yang diatur yaitu sebesar 60°C. Berikut Gambar 15 merupakan grafik suhu terhadap waktu dan Gambar 16 merupakan grafik tegangan keluaran terhadap waktu, pada saat pengujian *hardware* secara *close loop*.



Gambar 15. Grafik Suhu Terhadap Waktu



Gambar 16. Grafik Tegangan Keluaran Terhadap Waktu

3.4 Integrasi *Hardware* dengan Kondisi Tegangan Jala-Jala Normal

Pengujian pada kondisi tegangan jala-jala normal sebesar 220 V dilakukan sebanyak dua kali, yaitu pengujian rangkaian secara *open loop* tanpa kontrol dan pengujian secara *close loop* dengan kontrol. Berikut merupakan hasil pengujian integrasi sistem secara *open loop* dengan kondisi tegangan jala-jala normal pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian *Hardware* secara *Open Loop* Kondisi Tegangan Jala-Jala Normal

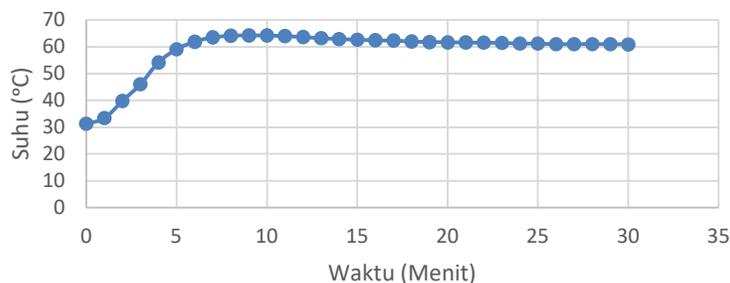
Suhu (°C)	Tegangan Keluaran (V)	Waktu (Menit)
29	219,7	1
33	218,7	2
45	221,2	3
52	220,5	4
61	220,9	5
69	220,9	6
76	221	7
83	221	8
88	221,8	9

Pada Tabel 3 dapat dilihat bahwa hasil pengujian integrasi secara *open loop* dengan kondisi tegangan jala-jala normal, memperoleh data suhu dan tegangan keluaran sesuai dengan *set point* 60°C yaitu pada waktu menit ke-5 dengan suhu pembacaan 61°C dan tegangan keluaran 220,9 V. Suhu mencapai nilai *set point* 60°C pada waktu 4 menit 55 detik. Hal tersebut terjadi karena tegangan jala-jala PLN yang digunakan dengan keadaan jala-jala normal sehingga menyebabkan waktu untuk mencapai suhu sesuai dengan *set point* lebih cepat. Perbedaan waktu antara kondisi gangguan *drop* tegangan dengan kondisi tegangan jala-jala normal adalah 3 menit 33 detik. Ketika waktu menunjukkan menit ke-6, maka suhu akan naik dikarenakan pengujian ini tidak ada kontrol. Selanjutnya dilakukan pengujian secara *close loop* pada kondisi sumber tegangan jala-jala normal, dengan hasil pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 4.

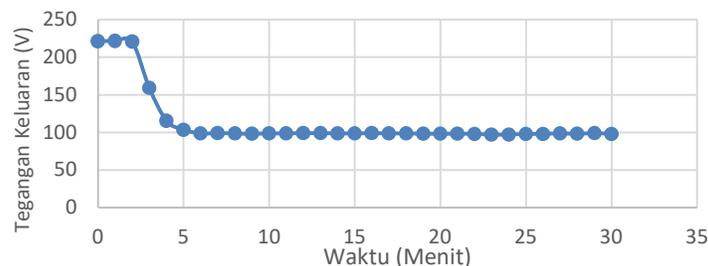
Tabel 4. Pengujian *Hardware* secara *Close Loop* Kondisi Tegangan Jala-Jala Normal

Waktu (Menit)	Suhu (°C)	Tegangan Keluaran (V)	Waktu (Menit)	Suhu (°C)	Tegangan Keluaran (V)
0	31,3	221,3	-	-	-
1	33,4	221,7	16	62,4	98,9
2	39,8	220,8	17	62,3	98,5
3	46	159	18	62	98,7
4	54,2	115,5	19	61,8	98,3
5	59,1	103,5	20	61,7	98,3
6	61,9	98,6	21	61,6	98,3
7	63,5	98,9	22	61,5	97,9
8	64,1	98,5	23	61,4	97,1
9	64,2	98,2	24	61,2	97,3
10	64,2	98,7	25	61,2	97,9
11	64	98,7	26	61	98,1
12	63,6	99	27	61	98,6
13	63,2	99	28	61	98,3
14	62,9	98,6	29	61	99,1
15	62,6	98,6	30	60,9	98,1

Dari Tabel 4, dapat dilihat bahwa waktu dimulainya suhu konstan yaitu pada saat 5 menit 13 detik. Pada waktu tersebut didapatkan data suhu sebesar 60°C dan tegangan keluaran sebesar 99,2 V. Suhu akan turun ketika waktu menunjukkan menit 12 sehingga sampai pada waktu menit 30 suhu akan konstan pada suhu 61°C dan AC-AC konverter akan mengatur sudut penyalan untuk menstabilkan tegangan agar suhu dalam mesin *oven* cat konstan.



Gambar 17. Grafik Suhu Terhadap Waktu *Close Loop* Kondisi Tegangan Jala-Jala Normal



Gambar 18. Grafik Tegangan Keluaran Terhadap *Close Loop* Waktu Kondisi Tegangan Jala-Jala Normal

Pada Gambar 17 merupakan grafik suhu terhadap waktu dengan kondisi tegangan jala-jala normal. Pada saat kondisi tegangan jala-jala normal, kenaikan suhu pada ruangan mesin *oven* cat tidak memerlukan waktu yang lebih lama, dikarenakan tegangan dapat distabilkan dengan mudah sesuai dengan *set point* seperti pada Gambar 18. Elemen pemanas akan bekerja dengan maksimal sesuai dengan tegangan operasinya yaitu 220 V. Apabila dibandingkan dengan kondisi gangguan *drop* tegangan, selisih waktu yang diperlukan untuk mencapai *set point* adalah 5 menit.

4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah dibahas sistem pengaturan suhu ruangan pada mesin *oven* pengering cat dengan menggunakan metode logika kontrol *fuzzy*. Pengujian dilakukan secara simulasi dan integrasi *hardware* keseluruhan secara *close loop* dan *open loop* dalam dua kondisi, yaitu gangguan *drop* tegangan serta tegangan jala-jala normal. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, Sistem *close loop* dengan logika kontrol *fuzzy* menunjukkan performansi yang baik dalam menghasilkan nilai *set point* yang telah ditentukan. Pada pengujian integrasi *hardware* secara *close loop* dengan kondisi *drop* tegangan, mendapatkan nilai *set point* suhu 60°C pada waktu 10 menit pengujian dengan tegangan senilai 56,1 V. Pengujian integrasi *hardware* secara *close loop* dengan kondisi tegangan jala-jala normal, mendapatkan nilai *set point* suhu 60°C pada waktu 5 menit 13 detik pengujian dengan tegangan senilai 99,2 V. Pengujian integrasi *hardware* secara *close loop* dengan kondisi *drop* tegangan, mendapatkan suhu konstan yaitu 55°C dengan persentase *error* sebesar 8,33%. Pada pengujian integrasi *hardware* secara *close loop* dengan kondisi tegangan jala-jala normal, mendapatkan suhu konstan yaitu 61°C dengan persentase *error* sebesar 1,67%. Pada saat kondisi tegangan jala-jala normal, kenaikan suhu pada ruangan mesin *oven* cat tidak memerlukan waktu yang lebih lama untuk mencapai *setpoint*. Jika dibandingkan dengan kondisi gangguan *drop* tegangan jala-jala, selisih rata-rata waktu yang diperlukan untuk mencapai *set point* adalah 5 menit.

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). IEEE.
- Aliyya, J., Arif, Y. C., & Qudsi, O. A. (2020). Performance Comparison of PI Control and Fuzzy Logic for Speed Control of DC Shunt Motor Using Matlab/Simulink. *JAREE (Journal on Advanced Research in Electrical Engineering)*, 4(2).

- Al-zobai, K. M. M., & Makki, D. S. (2021). Conventional and Fuzzy Control for First Order Plus Dead Time Process Using Different Tuning Methods. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1094, 012104. IOP Publishing.
- Argana, S. (2013). *Pengecatan body kendaraan untuk SMK/MAK kelas XI semester 1*. Jakarta: Direktorat Jenderal Pendidikan Dasar dan Menengah.
- Farhan, M. (2021, June 8). *Ini Kelebihan Cat Oven di Bodi Motor Dibandingkan Dijemur Langsung*. Retrieved from www.gridoto.com.
- Firmansyah, R. A., & Junianto, D. (2020). Rancang Bangun Farming Box Dengan Pengaturan Suhu Menggunakan Fuzzy Logic Controller. *ELKHA: Jurnal Teknik Elektro*, 12(2), 92-98.
- Gunadi. (2008). *Teknik Bodi Otomotif untuk Sekolah Menengah Kejuruan*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Hw, E. A., Tulloh, R., Hadiyoso, S., & Ramadan, D. N. (2021). Sistem Pemantauan dan Pendeteksi Kebakaran berbasis Logika Fuzzy dan Real-time Database. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 9(3), 577.
- Iqbal, M., & Susetyo, F. B. (2022). Pengaruh Variasi Temperatur Pengeringan Terhadap Daya Kilap Cat Pada Komponen Kendaraan Bermotor. *METALIK: Jurnal Manufaktur, Energi, Material Teknik*, 1(1), 16-21.
- Irianto, I., Suharningsih, S., & Dewanti, V. R. (2018). Rancang Bangun Alat Pengering Pelepah Pisang (Menggunakan Metode Controller Chien Regulator I dan Chien Servo I Sebagai Tuning Kontrol PI). *JEEE-U (Journal of Electrical and Electronic Engineering-UMSIDA)*, 2(1), 1-7.
- Licari, J. J. (2003). *Coating materials for electronic applications: polymers, processing, reliability, testing*. Newyork: Noyes Publications
- Nugraha, A. T., & Eviningsih, R. P. (2022). *Konsep Dasar Elektronika Daya*. Deepublish.
- Nugraha, A. T., & Eviningsih, R. P. (2022). ZETA Converter as a Voltage Stabilizer with Fuzzy Logic Controller Method in The Pico Hydro Power Plant. *Indonesian Journal of Electronics, Electromedical Engineering, and Medical Informatics*, 4(3), 131-137.
- Rahmadani, A., Windarko, N., & Raharja, L. (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), 219-228. doi:10.24843/MITE.2022.v21i02.P09

- Rifai, S., & Suwahyo, S. (2021). Pengaruh Variasi Jenis Cat Primer dan Temperatur Terhadap Laju Korosi pada Pengecatan Menggunakan *Oven*. *Automotive Science and Education Journal*, 10(1), 11-17.
- Ristanto, F. (2017). Analisa Pelapisan Powder Coating Pada Box Panel Terhadap Kebocoran Arus Listrik. *Jurnal Teknik Mesin*, 5(2), 9–15.
- Robinson, A., & Livesey, A. (2013). *The repair of vehicle bodies*. Routledge.
- Said, R., S., Wibowo, H., & Djatmiko R., D. (2014, November 24). *Pengembangan Oven Cat Untuk Keperluan Praktik Di Bengkel Fabrikasi*. Retrieved from <http://staffnew.uny.ac.id/upload/132231618/penelitian/artikel-24-nov-2014.pdf>
- 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.
- Silvano, K., Triwiyatno, A., & Setiyono, B. (2017). Perancangan Sistem Pengaturan Suhu Pada Prototype *Oven* Pengering Cat (*Paint Booth*) Menggunakan Sensor DHT22 Berbasis Arduino Mega 2560 Dengan Kendali PID. *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 6(2), 267-275.
- Supriyono, S., Mulyanto, T., & Miftahuddin, M. (2019). Analisis pengaruh suhu pengoveran terhadap daya rekat dan kekuatan lapisan pada pengecatan serbuk. *Presisi*, 21(2), 77-87.
- Wachid, A. R., Wahjono, E., & Nugraha, S. D. N. (2021). Design and Simulation of Dual Masukan Single Keluaran Buck Converter with Fuzzy Control. *Jurnal Nasional Teknik Elektro Dan Teknologi Informasi*, 10(1), 63-70.
<https://doi.org/10.22146/jnteti.v10i1.1069>