

PERBANDINGAN SISTEM KENDALI PID DAN KENDALI LOGIKA *FUZZY* PADA PENGENDALIAN SUHU SISTEM PEMANAS INDUKSI

Muhtarom¹, Sujono²

1. Muhtarom: Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Budi Luhur
Jakarta, Indonesia
muhtarom.mr@gmail.com
2. Sujono: Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Budi Luhur
Jakarta, Indonesia
soejon@yahoo.com

ABSTRAK

Dalam tugas akhir ini dirancang kendali PID dan kendali logika fuzzy sebagai pengendali suhu pada sistem pemanas induksi. Pada sistem pemanas induksi terdiri dari rangkaian switching dengan IC 4066, sensor thermocouple, MAX6675, LCD dan keypad matrix 4x4. Pengendali PID menggunakan struktur paralel dengan tuning parameter Kp, Ki dan Kd yang diperoleh dengan metode heuristic (trial and error). Sedangkan logika fuzzy yang dirancang adalah fuzzy mamdani. Metode defuzzifikasi yang digunakan adalah metode weight average area. Output kendali PID dan kendali logika fuzzy berupa tegangan yang digunakan untuk mengatur switching tingkat pemanasan =(watt) ke pemanas induksi. Respon pengendali PID dibandingkan dengan respon pengendali logika fuzzy. Parameter yang dibandingkan adalah respon transien dan respon steady state sehingga dapat diketahui pengendali yang lebih tepat untuk sistem pemanas induksi. Dari hasil pengujian menggunakan kendali PID dengan nilai setpoint 72°C s/d 89°C didapatkan nilai rise time 354 s/d 465 detik, peak time 433 s/d 818 detik dan error steady state 2,08% s/d 2,52%. Sedangkan hasil pengujian menggunakan kendali logika fuzzy dengan nilai setpoint 72°C s/d 89°C didapatkan nilai rise time 444 s/d 523 detik, peak time 974 s/d 818 detik dan error steady state 0,024% s/d 0,008%.

Kata kunci : perbandingan, kendali PID, kendali logika fuzzy, pengendalian suhu, pemanas induksi

ABSTRACT

In this final project, PID control and fuzzy logic control are designed as temperature control in induction heating systems. The induction heating system consists of switching circuits with IC 4066, thermocouple sensors, MAX6675, LCD and 4x4 matrix keypad. PID controllers use parallel structures with tuning parameters Kp, Ki and Kd obtained by heuristic (trial and error) methods. While the fuzzy logic that is designed is fuzzy mamdani. The defuzzification method used is the weight average area method. The output of the PID control and fuzzy logic control is the voltage used to adjust the switching of heating rate = (watts) to the induction heater. The PID controller response is compared with the fuzzy logic controller response. The parameters compared are transient response and steady state response so that more precise controllers can be found for induction heating systems. From the results of testing using PID control with a set of 72 ° C to 89 ° C, the rise time value is 354 to 465 seconds, peak time is 433 to 818 seconds and steady state error is 2.08% to 2, 52%. While the results of testing using fuzzy logic control with a set point value of 72 ° C to 89 ° C, the rise time value is 444 to 523 seconds, the peak time is 974 to 818 seconds and the steady state error is 0.024% to 0.008%.

Keywords: comparison, PID control, fuzzy logic control, temperature controller, induction heater.

I. PENDAHULUAN

Prinsip kerja pemanas induksi adalah timbulnya panas pada logam yang terkena induksi medan magnet, hal ini disebabkan karena pada logam timbul arus Eddy atau arus pusar yang arahnya melingkar melingkupi medan magnet terjadinya

arus pusar akibat dari induksi magnet yang menimbulkan fluks magnetik yang menembus logam, sehingga menyebabkan panas pada logam (Noviansyah, 2015).

Penelitian yang berjudul rancang bangun kompor induksi berbasis PLC (*Programmable Logic Controller*) pada restoran cepat saji, perancangan

ini menggunakan program zelio. Hasil pengujian yaitu panas maksimum sebesar 100°C dan daya 1400 watt (Afandria, 2014). Selanjutnya penelitian yang berjudul perancangan dan pembuatan pemanas induksi dengan metode pancake coil berbasis mikrokontroler atmega 8535, dirancang resonansi di 40 KHz. Hasil pengujian menunjukkan perubahan frekuensi kerja pada pemanas induksi memiliki pengaruh pada waktu pencapaian panas, besarnya daya, energi elektrik, dan efisiensi energi. (Yukovany, 2013).

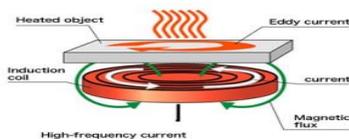
Penelitian yang berjudul aplikasi PID pengendalian suhu pada sistem pemanas induksi, pengendali PID menggunakan struktur paralel dengan parameter K_p , T_i dan T_d yang diperoleh dengan metode heuristic (trial and error). Hasil pengujian dengan $K_p = 1$, $T_i = 0,02$ dan $T_d = 0,02$ diperoleh respon dengan time constant 2 menit, overshoot sebesar 4% dan steady state error 0,05 pada suhu acuan 60°C (Eko Joko Saksono, 2016). Kemudian penelitian yang berjudul perbandingan sistem pengontrolan PID konvensional dengan pengontrolan *CMAC*, *Fuzzy Logic* dan *ANN* pada *water level pressurizer* didapatkan hasil pengujian bahwa respon waktu PID kurang stabil apabila makin banyak masukan datanya. (Restu Maerani, 2013)

Berdasarkan hal tersebut di atas, pada tugas akhir ini akan dirancang dan diimplementasikan kendali PID dan kendali logika *fuzzy* pada pengendalian suhu sistem pemanas induksi. Hasil kendali PID akan dibandingkan dengan sistem kendali logika *fuzzy*, dengan parameter yang dibandingkan adalah respon transien dan respon *steady state*.

II. SISTEM PEMANAS INDUKSI

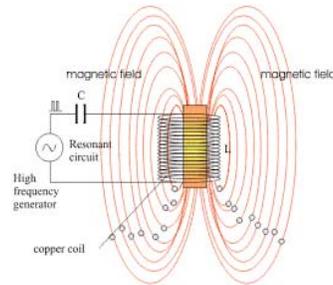
A. Sistem pemanas induksi dengan arus eddy

Pemanas induksi adalah sistem pemanas yang terjadi karena induksi medan magnet dan timbul panas pada objek yang terkena induksi medan magnet. Pada objek timbul arus *eddy* yang arahnya melingkar melingkupi medan magnet yang menembus objek seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Konsep pemanas induksi (QT-QD shumiu induction equipment co., n.d.)

Ketika lilitan dialiri oleh arus bolak-balik, maka akan timbul medan magnet di sekitar kawat penghantar. Medan magnet tersebut besarnya berubah-ubah sesuai dengan arus yang mengalir pada lilitan tersebut. Bilah metalik yang ditempatkan di koil tembaga dengan cepat dipanaskan sampai suhu tinggi oleh arus induksi dari medan magnet yang sangat terkonsentrasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Jalur medan magnet (Sumber : QT-QD shumiu induction equipment co., n.d.)

Salah satu yang penting dari desain pemanas induksi ini adalah hasil pengukuran pemanasan yang berupa panas (kalor). Dengan mengetahui ukuran pemanasan yang dihasilkan, maka kita dapat memperkirakan apakah alat ini dapat diterapkan pada kebutuhan untuk pemanasan benda kerja.

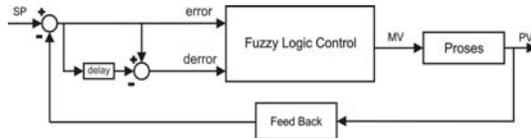
Hal ini bergantung pada beberapa faktor antara lain desain pemanas induksi tersebut dan kapasitas dari sumber AC yang digunakan pada pemanas induksi. Menurut Lozinski (1969), yang dapat menentukan banyaknya arus *eddy* pada logam adalah:

- Besar medan magnet yang menginduksi Logam.
- Bahan logam yang digunakan untuk menghasilkan panas. Semakin kecil hambatan jenis logam, semakin baik untuk dijadikan obyek panas logam.
- Luas permukaan logam, makin luas permukaan logam maka makin banyak arus Eddy pada permukaan logam tersebut.
- Besar frekuensi, makin besar frekuensi maka makin banyak medan magnet yang dihasilkan.

B. Sistem kendali dengan kendali logika fuzzy

Kendali logika *fuzzy* (*fuzzy logic controller*) merupakan pengendali yang melakukan pendekatan terhadap cara berpikir, pengalaman, dan pengetahuan manusia tanpa harus memodelkan dalam persamaan matematika yang kompleks. Pada sistem kendali dengan *fuzzy logic*, digunakan dua buah masukan berupa sinyal *error* (sinyal kesalahan) dan sinyal *derror* (perubahan nilai *error* diproses dengan *fuzzy logic* sehingga didapatkan

output sinyal kendali untuk mengendalikan proses. Pada Gambar 3. dapat dilihat diagram blok penerapan *fuzzy logic* pada sistem kendali.

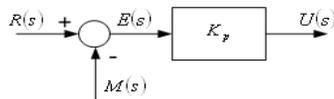


Gambar 3. Penerapan fuzzy logic pada sistem kendali.

C. Kendali *proportional integral differensial* (PID)

1. Pengendali Proporsional (K_p)

Dengan kendali proporsional, besarnya keluaran pengendali adalah proporsional terhadap besarnya *error* yang terjadi yang merupakan masukan pengendali. Diagram blok pengendali proporsional ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram blok pengendali proporsional

Dari Gambar 4 didapatkan persamaan :

$$U(t) = K_p \cdot E(t) \quad (1)$$

Dengan $U(s) = U(t)$

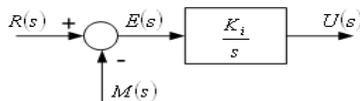
$U(t)$ = Output pengendali proporsional

K_p = Gain (penguatan) Proporsional

$E(t)$ = Error signal sebagai input pengendali proporsional.

2. Pengendali integral (K_i)

Pengendali integral merupakan mode kendali dimana keluaran pengendali berbanding lurus dengan integral error terhadap waktu. Diagram blok pengendali integral ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram blok pengendali integral

Dari Gambar 5. didapatkan persamaan :

$$U(t) = \frac{1}{T_i} \int e(t) dt \quad (2)$$

Dengan $K_i = \frac{1}{T_i}$,

$U(t)$ = Output pengendali integral

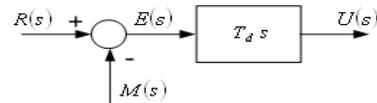
$e(t)$ = error signal

T_i = Integral time (waktu intergral).

3. Pengendali differensial (K_d)

Dengan pengendali *derivative* atau differensial, perubahan keluaran pengendali dari titik

pengaturan akan berbanding lurus dengan laju perubahan terhadap waktu dari sinyal *error*. Diagram blok pengendali integral ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram blok pengendali differensial

Dari Gambar 6. didapatkan persamaan :

$$U(t) = T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (3)$$

Dengan $T_d = K_d$,

$U(t)$ = Output pengendali differensial

$e(t)$ = error signal

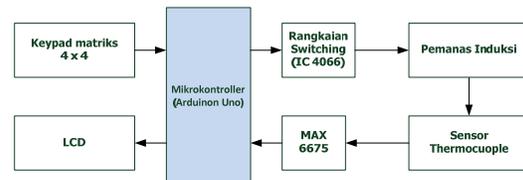
T_d = Differential time (waktu turunan)

III. PERANCANGAN SISTEM

Pada bab ini dibahas mengenai perancangan dan implementasi kendali PID dan logika *fuzzy* pada pengendalian suhu sistem pemanas induksi.

A. Diagram blok sistem

Diagram blok sistem secara keseluruhan menggunakan mikrokontroler ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Diagram blok sistem

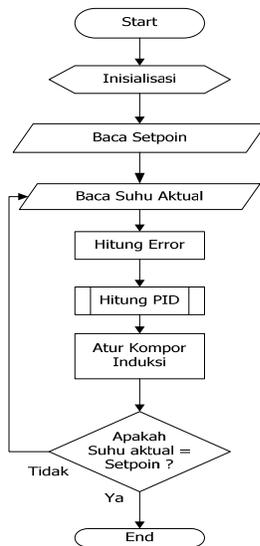
Keterangan dari Gambar 7 sebagai berikut :

Keypad 4x4 : tombol-tombol yang digunakan untuk memberikan setpoint suhu pada mikrokontroler. *Rangkaian switching* : sebuah saklar IC CMOS yang memiliki 4 switch bilateral individu yang tertanam pada IC 4066, masing-masing mampu *switching* analog atau sinyal digital. *Pemanas induksi* : merupakan sistem pemanas dengan induksi medan magnet. *Sensor thermocouple* : merupakan sensor suhu yang digunakan untuk membaca suhu pada media yang dipanaskan. *MAX6675* : dibentuk dari kompensasi *cold-junction* yang outputnya didigitalisasi dari sinyal termokopel tipe -K. *Mikrokontroler* : pusat pengolahan dan kendali dari keseluruhan sistem yang di program, untuk membaca dan menerima inputan dari sensor, melakukan perhitungan kendali PID dan kendali logika *fuzzy*, dan

mengeluarkan sinyal kontrol melalui IC 4066. LCD : perangkat untuk menampilkan suatu data, karakter, huruf dan pada pemanas induksi.

B. Desain pengendali PID

Algoritma pengendali PID yang digunakan pada pengendalian suhu pada sistem pemanas induksi menggunakan struktur paralel dengan *tunning* parameter nilai proporsional (Kp), nilai integral (Ki) dan nilai differensial (Kd). Metode PID yang digunakan adalah dengan metode *heuristic (trial error)*. Tahapan yang dilakukan pertama adalah melakukan *tunning* nilai Kp. Setelah mendapatkan nilai Kp yang mendekati nilai setpoint kemudian menggabungkan Nilai Kp, Ki dan Kd sehingga mendapat nilai yang tepat untuk parameter nilai Kp, Ki dan Kd. Setelah dilakukan perancangan tahapan kendali PID pada pengendalian suhu pemanas induksi kemudian merancang *Flowchart* program kendali PID. *Flowchart* kendali logika *fuzzy* ditunjukkan pada Gambar 8.



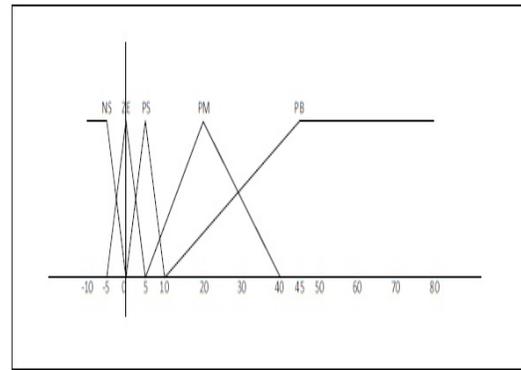
Gambar 8. Flowchart kendali PID

C. Desain kendali logika fuzzy

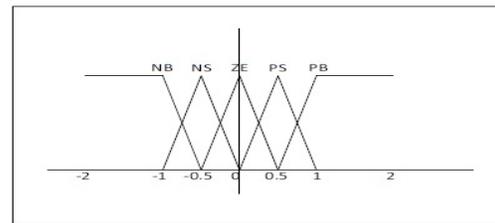
Algoritma kendali logika *fuzzy* yang digunakan pada pengendalian suhu pada sistem pemanas induksi menggunakan metode mamdani. Tahapan yang dilakukan adalah:

1. Proses fuzzifikasi.

Pada proses fuzzifikasi sistem dilakukan terhadap 2 buah masukan *crisp* yaitu nilai *error* dan nilai *derror*. Masing-masing *fuzzy set* masukan *error* maupun *derror* diklasifikasikan kedalam 5 buah *membership function* yang dapat dilihat pada Gambar 9 dan 10.



Gambar 9. Fuzzy set error



Gambar 10. Fuzzy set derror

Dari Gambar 9 *membership function* di dalam *fuzzy set* sinyal *error* terdiri dari 5 buah label *membership function* yaitu :

- NS : *Negative Small* ($-10 < error < 0$).
- ZE : *Zero* ($-5 < error < 5$).
- PS : *Positive small* ($0 < error < 10$).
- PM : *Positive Medium* ($5 < error < 40$).
- PB : *Positive Big* ($10 < error < 80$).

Dari Gambar 10 *membership function* di dalam *fuzzy set* sinyal *derror* terdiri dari 5 buah label *membership function* yaitu :

- NB : *Negative Big* ($-2 < derror < -0,5$).
- NS : *Negative Small* ($-1 < derror < 0$).
- ZE : *Zero* ($-0,5 < derror < 0,5$).
- PS : *Positive Small* ($0 < derror < 1$).
- PB : *Positive Big* ($0,5 < derror < 2$).

Dari Gambar 9 dan 10, proses fuzzifikasi dilakukan untuk mendapatkan nilai DOM masing-masing *membership function* dari setiap *fuzzy set error* dan *derror* yang dihitung dengan menggunakan rumus persamaan garis linear sebagai berikut.

$$\frac{Y - Y_1}{X - X_1} = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} \quad (4)$$

Keterangan :

- Y = Nilai DOM yang dicari.
- Y1 = Batasan Awal Sumbu Y.
- Y2 = Batasan Akhir Sumbu Y.
- X = Nilai input *crisp*.
- X1 = Batasan Awal Sumbu X.
- X2 = Batasan Akhir Sumbu X.

2. Evaluasi Rule.

Setelah ditentukan *fuzzy set* masukan *error* dan *derror*, kemudian sistem diberikan aturan-aturan terhadap *antecedent* untuk menentukan keluaran *consequent* yang diharapkan. Pada tabel 2 dapat dilihat Tabel *rule base* yang diaplikasikan pada sistem.

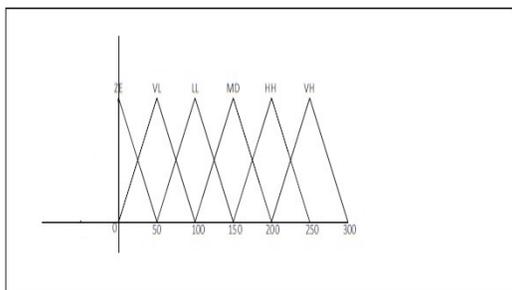
Tabel 2 Rule base

		Error				
		NS	ZE	PS	PM	PB
Derror	PB	ZE	VL	MD	VH	VH
	PS	ZE	VL	MD	VH	VH
	ZE	ZE	ZE	LL	HH	VH
	NS	ZE	ZE	LL	HH	VH
	NB	ZE	ZE	LL	HH	VH

Dari Tabel 2 dapat dibuat *rule-rule* dengan input masukan nilai *error* dan *derror*. Operator yang digunakan pada setiap rule adalah operator *AND*. *Output consequent* yang dihasilkan adalah berupa daya dari kompor induksi.

3. Proses defuzzifikasi.

Defuzzifikasi pada pengendalian suhu pada sistem pemanas induksi yang dibuat dilakukan dengan metode *weight average area* terhadap *output* sinyal kendali berupa daya kompor yang dibutuhkan. Dari nilai *DOM* masing-masing *membership function* dari setiap *fuzzy set* *error* dan *derror* untuk masing-masing *fuzzy set* sinyal *output* diklasifikasikan menjadi 6 buah *membership function* yang dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Fuzzy set output sinyal power kompor

Dari Gambar 11 *membership function* di dalam *fuzzy set output* sinyal power kompor diklasifikasikan dengan 6 buah label *membership function* yaitu :

- Zero (ZE) : *output crisp* ($0 < \text{watt} < 50$)
- Very Low (VL) : *output crisp* ($0 < \text{watt} < 100$)
- LL (Low) : *output crisp* ($50 < \text{watt} < 150$)
- Middle (MD) : *output crisp* ($100 < \text{watt} < 200$)
- High (HH) : *output crisp* ($150 < \text{watt} < 250$)
- Very High (VH) : *output crisp* ($200 < \text{watt} < 300$)

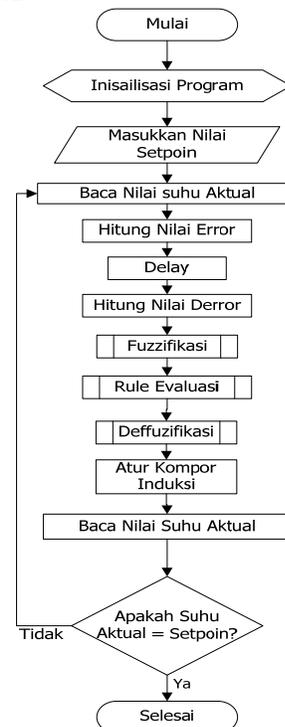
Berdasarkan Gambar 11 didapatkan perhitungan nilai Z^* untuk didapatkan *output crisp* daya kompor yang dibutuhkan dapat dihitung dengan rumus pada Persamaan 5.

$$Z^* = \frac{Z_1 \cdot \mu_{ZE} + Z_2 \cdot \mu_{VL} + Z_3 \cdot \mu_{LL} + Z_4 \cdot \mu_{MD} + Z_5 \cdot \mu_{HH} + Z_6 \cdot \mu_{VH}}{\mu_{ZE} + \mu_{VL} + \mu_{LL} + \mu_{MD} + \mu_{HH} + \mu_{VH}} \quad (5)$$

Keterangan Persamaan 5 :

- Z^* = Nilai *output* sinyal kendali.
- ZE = *Membership function zero*.
- VL = *Membership function very low*.
- LL = *Membership function low*.
- MD = *Membership function middle*.
- HH = *Membership function high*.
- VH = *Membership function very high*.

Flowchart kendali logika *fuzzy* ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Flowchart program kendali fuzzy

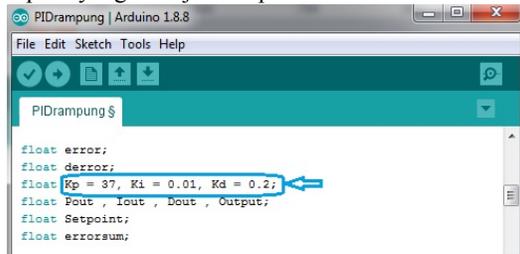
IV. PENGUJIAN DAN ANALISA

Pada proses pengujian dan analisa yang dilakukan yaitu melakukan *tunning* PID, Pengujian sistem dengan kendali PID, pengujian sistem dengan kendali logika *fuzzy* dan perbandingan sistem dengan kendali PID dan kendali logika *fuzzy*.

A. Tunning PID

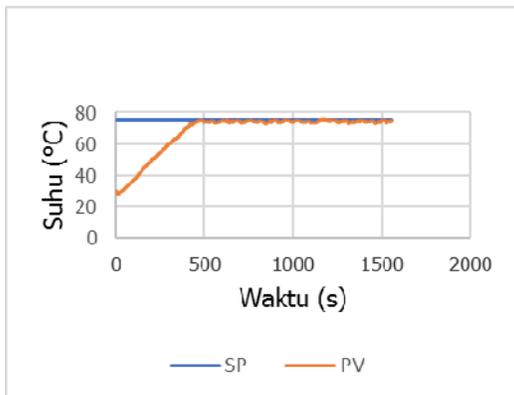
Pada saat *tunning* dengan nilai $K_p = 37$, $K_i = 0,01$, $K_d = 0,2$ dan nilai setpoint 75°C dengan suhu awal air $28,25^\circ\text{C}$, suhu ruangan 29°C dan

kapasitas air 1000 ml. Pengujian dilakukan dengan cara memasukan nilai parameter Kp, Ki dan Kd kedalam algoritma program PID yang telah dibuat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Tampilan Program Algoritma PID

Hasil pengujian untuk perbandingan suhu setpoint dan suhu aktual pada air ditunjukkan dalam bentuk grafik pada Gambar 14.



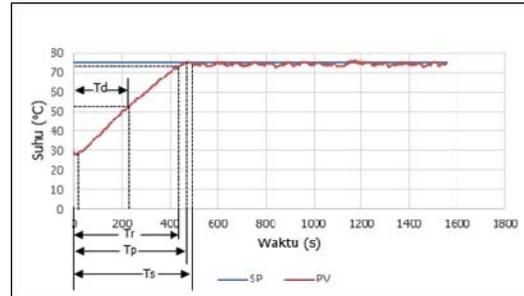
Gambar 14. Grafik Perbandingan Suhu Setpoint (SP) dan Suhu Aktual (PV) Terhadap Waktu Pada Pengujian Tuning PID Saat Nilai Kp = 37, Ki = 0,01 Kd = 0,2 dan Nilai Setpoint 75 °C

Berdasarkan hasil pengujian *tuning* PID yang telah didapatkan dengan nilai parameter Kp = 37, Ki = 0,1, Kd = 0,2 dan nilai setpoint suhu air 75°C seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.22a maka dapat dianalisa bahwa sistem sudah mencapai steady state pada nilai setpoint yang diinginkan. Dari hasil analisa yang telah dilakukan maka untuk nilai parameter Kp = 37, Ki = 0,1, Kd = 0,2 cocok digunakan untuk sistem pemanas induksi.

B. Pengujian dengan kendali PID

Pengujian sistem dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja sistem dengan melihat nilai *delay time*, *rise time*, *peak time*, *settling time*, *%overshoot* dan *%error*. Pada pengujian ini didapatkan suhu awal air 28,25 °C dalam suhu ruangan 29 °C dan kapasitas air 1000 ml. Pengujian dilakukan dengan cara memasukan nilai setpoint suhu air pada nilai 75 °C. Setelah itu mengamati dan menulis hasil dari nilai suhu setpoint, suhu aktual, pada sistem pemanas induksi melalui serial monitor pada komputer yang terhubung dengan kontroller. Hasil

pengujian perbandingan antara suhu aktual dan suhu setpoint ditunjukkan dalam bentuk grafik pada Gambar 15.



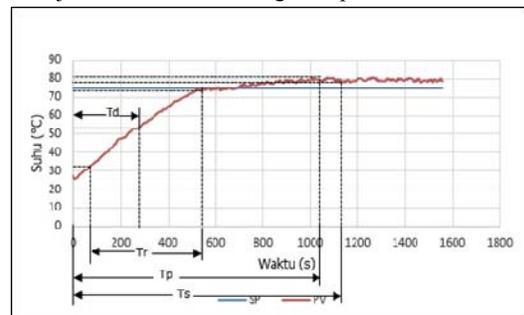
Gambar 15. Grafik Analisa Respon Sistem Kontrol Pada Nilai Setpoint 75 °C

Berdasarkan grafik pada Gambar 12 maka didapatkan analisa sebagai berikut :

- *Delay time* = 222 detik
- *Rise time* = 376 detik
- *Peak time* = 475 detik
- *Settling time* = 486 detik
- *%Overshoot* = $0,5 / 75 \times 100 \%$
= 0,67%
- *%Error* = $1,75 / 75 \times 100 \%$
= 2,34%.

C. Pengujian dengan kendali logika fuzzy

Pengujian sistem dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja sistem dengan melihat nilai *delay time*, *rise time*, *peak time*, *settling time*, *%overshoot* dan *%error*. Pada pengujian ini didapatkan suhu awal air 26 °C dalam suhu ruangan 26 °C dan kapasitas air 1000 ml. Pengujian dilakukan dengan cara memasukkan nilai setpoint suhu air pada nilai 75 °C. Setelah itu mengamati dan menulis hasil dari nilai suhu setpoint, suhu aktual, pada sistem pemanas induksi melalui serial monitor pada komputer yang terhubung dengan kontroller. Hasil pengujian perbandingan antara suhu aktual dan suhu setpoint ditunjukkan dalam bentuk grafik pada Gambar 16.



Gambar 16 Grafik Analisa Respon Sistem Kontrol Pada Nilai Setpoint 75 °C

Berdasarkan grafik pada 13 maka didapatkan analisa sebagai berikut :

- *Delay time* = 248 detik
- *Rise time* = 443 detik
- *Peak time* = 1069 detik
- *Settling time* = 1138 detik
- *%Overshoot* = $5,5 / 75 \times 100 \%$
= 0,073 %
- *%Error* = $2,5 / 75 \times 100 \%$
= 0,033 %.

D. Perbandingan kendali PID dan kendali logika fuzzy

Perbandingan respon sistem kendali dengan nilai suhu setpoint suhu 75 °C dilakukan untuk mengetahui respon sistem kendali PID dan kendali logika fuzzy saat nilai setpoint suhu 75 °C. Hasil dari perbandingan pengujian ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan Respon Sistem Kendali Dengan Nilai Setpoint Suhu 75 °C

Respon Sistem	Kendali PID	Kendali Logika Fuzzy
Delay time	222 detik	248 detik
Rise time	376 detik	443 detik
Peak time	475 detik	1069 detik
Settling time	486 detik	1138 detik
<i>%Overshoot</i>	0,67 %	0,073 %
<i>%Error</i>	2,34 %	0,033 %

Dari hasil data pengujian pada Tabel 4.2 maka didapatkan analisa bahwa kendali PID lebih baik respon kendalinya dibandingkan dengan kendali logika fuzzy saat nilai setpoint suhu 75 °C. Dikarenakan kendali PID bisa mencapai *steady state* di nilai setpoint suhu 75 °C sedangkan untuk kendali logika fuzzy didapatkan *steady state* yang melebihi nilai dari setpoint suhu 75 °C.

V. KESIMPULAN

Dari pengujian dan analisa secara keseluruhan terhadap alat yang telah dibuat. Maka dapat diambil

beberapa kesimpulan yaitu untuk hasil pengujian dari setpoint 72°C s/d 89°C dengan kendali PID didapatkan nilai *rise time* 354 s/d 465 detik, *peak time* 433 s/d 818 detik dan *error steady state* 2,08% s/d 2,52%. Sedangkan untuk kendali logika fuzzy didapatkan nilai *rise time* 444 s/d 523 detik, *peak time* 974 s/d 818 detik dan *error steady state* 0,024% s/d 0,008%. Secara keseluruhan didapatkan hasil bahwa yang lebih baik adalah pada kendali PID. Hal tersebut ditunjukkan dengan PID yang memiliki *overshoot*, *error steady state*, *rise time* dan *peak time* yang lebih kecil daripada logika fuzzy.

REFERENSI

- [1] Afandria, D. (2014). Rancang bangun kompor induksi berbasis PLC (Programmable Logic Control) pada restoran cepat saji. *Jurnal Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Medan*.
- [2] Eko Joko Saksono. (2016). Aplikasi PID Pengendalian Suhu Pada Sistem Pemanas Induksi. *Jurnal Tugas Akhir Fakultas Teknik Universitas Budiluhur Jakarta*.
- [3] Noviansyah, R. (2015). Pemanas Induksi (Induction Heating) Kapasitas 200 Watt. *Jurnal Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin Universitas Gunadarma*.
- [4] QT-QD shumiu induction equipment co., ltd. (n.d.). Induction Heating Principle Theory, What is induction heating. Retrieved from <http://www.dw-inductionheater.com/induction-heating-principle.html>
- [5] Restu Maerani, S. B. (2013). Perbandingan Sistem Pengontrolan PID Konvensional Dengan Pengontrolan CMAC, Fuzzy Logic dan ANN Pada Water Level Pressurizer, *17(Sigma Epsilon, ISSN 0853-9103)*, hal 129-141.
- [6] Yukovany, Z. (2013). Perancangan dan pembuatan pemanas induksi dengan metode pancake coil berbasis mikrokontroler atmega 8535. *Sarjana Thesis, Universitas Brwijaya, Malang*.