

## Makalah Seminar Tugas Akhir

### PENGENDALIAN *TEMPERATURE* PADA *PLANT ELECTRIC FURNACE* MENGGUNAKAN SENSOR *THERMOCOUPLE* DENGAN METODE *FUZZY*

Indra Permadi.<sup>[1]</sup>, Sumardi, S.T, M.T <sup>[2]</sup>, Iwan Setiawan, S.T, M.T <sup>[2]</sup>

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jln. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, Indonesia

#### Abstrak

*Thermocouple sensor is a sensor that is used for oil processing industries or steel, where the sensor is able to measure high temperatures to achieve the specifications of the material to be processed. Thermocouple sensors have a very small output voltage with a big noise, so we need a signal conditioner for thermocouple sensor output can be read by the controller where the controller is stable in use is ATMEGA8535. Furnace is a place used for either heating oil or steel materials, which typically use natural gas or coal. The Final Project was used simulate an electrical plant furnace as a heating medium which is more environmentally friendly and safety.*

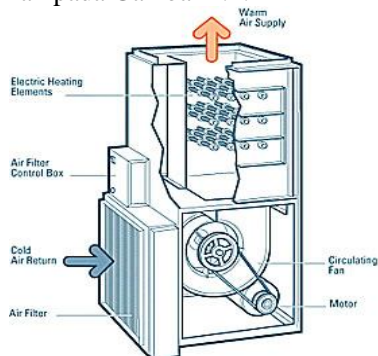
*Final Project aims to implement the use of thermocouple sensor for temperature control of the plant electrical furnace. Method of control used is the fuzzy method is used to adjust the size of the control signal to the heater so the temperature can be controlled. Parameters used in the fuzzy method is the error and error change.*

*From the results of research conducted found that the sensor output signal conditioner thermocouple on the results obtained are quite good and stable. For the fuzzy control method is also able to produce a fairly good system response.*

**Kata kunci :** Logika Fuzzy, Mikrokontroler ATmega 8535, Sensor Thermocouple, Furnace

## I. PENDAHULUAN

Kebutuhan teknologi yang semakin maju, menuntut berkembangnya sistem kendali yang handal. Sistem kendali yang baik sangat diperlukan dalam meningkatkan efisiensi dalam proses produksi. Sebagai contoh, otomatisasi dalam bidang industri yaitu proses pemanasan pada *Furnace*. Salah satu jenis *Furnace* ditunjukkan pada Gambar 1.1.



Gambar 1 Gambar proses pada *Electric Furnace*.

*Furnace* adalah peralatan yang biasa digunakan untuk melakukan proses pemanasan *feed* pada industri pengolahan seperti minyak atau baja untuk mencapai suhu tertentu sehingga didapatkan karakteristik *feed* yang sesuai. Logika Fuzzy ini menggunakan parameter *error* dan perubahan *error*, logika Fuzzy menerapkan suatu sistem kemampuan manusia untuk mengendalikan sesuatu, yaitu dalam bentuk aturan-aturan Jika – Maka ( *If – Then Rules*), sehingga proses

pengendalian akan mengikuti pendekatan secara linguistik. Penelitian ini memfokuskan pada penggunaan *thermocouple* sebagai sensor karena dapat membaca suhu tinggi yang disimulasikan pada *plant electric furnace* sederhana.

## II. DASAR TEORI

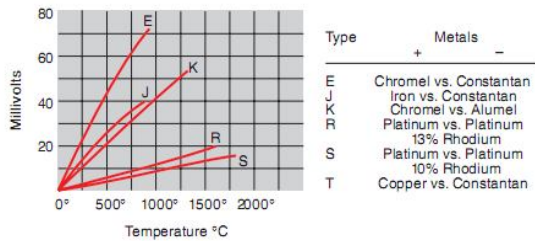
### 2.1 Sensor *Thermocouple*

Berasal dari kata “*Thermo*” yang berarti energi panas dan “*Couple*” yang berarti pertemuan dari dua buah benda. *Thermocouple* adalah transduser aktif suhu yang tersusun dari dua buah logam berbeda dengan titik pembacaan pada pertemuan kedua logam dan titik yang lain sebagai outputnya. *Thermocouple* merupakan salah satu sensor yang paling umum digunakan untuk mengukur suhu karena relatif murah namun akurat yang dapat beroperasi pada suhu panas maupun dingin.

Fenomena termoelektrik pertama kali ditemukan tahun 1821 oleh ilmuwan Jerman, Thomas Johann Seebeck. Ia menghubungkan tembaga dan besi dalam sebuah rangkaian. Di antara kedua logam tersebut lalu diletakkan jarum kompas. Ketika sisi logam tersebut dipanaskan, jarum kompas ternyata bergerak. Belakangan diketahui, hal ini terjadi karena aliran listrik yang terjadi pada logam

menimbulkan medan magnet. Medan magnet inilah yang menggerakkan jarum kompas. Fenomena tersebut kemudian dikenal dengan efek Seebeck.

Penemuan Seebeck ini memberikan inspirasi pada Jean Charles Peltier untuk melihat kebalikan dari fenomena tersebut. Dia mengalirkan listrik pada dua buah logam yang direkatkan dalam sebuah rangkaian. Ketika arus listrik dialirkan, terjadi penyerapan panas pada sambungan kedua logam tersebut dan pelepasan panas pada sambungan yang lainnya. Pelepasan dan penyerapan panas ini saling berbalik begitu arah arus dibalik. Penemuan yang terjadi pada tahun 1934 ini kemudian dikenal dengan efek Peltier. Sir William Thomson, menemukan arah arus mengalir dari titik panas ke titik dingin dan sebaliknya. Efek Seebeck, Peltier, dan Thomson inilah yang kemudian menjadi dasar pengembangan teknologi termoelektrik.



Gambar 2 Grafik thermocouple.

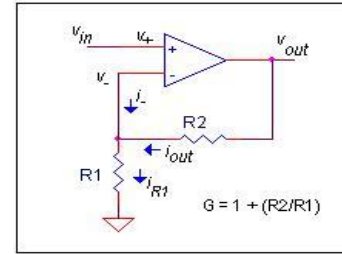
## 2.2 Op-Amp

*Operational Amplifier* atau di singkat op-amp merupakan salah satu komponen analog yang populer digunakan dalam berbagai aplikasi rangkaian elektronika. Aplikasi op-amp populer yang paling sering dibuat antara lain adalah rangkaian inverter, non-inverter, integrator dan differensiator. Op-amp dinamakan juga dengan penguat diferensial (*differential amplifier*). Sesuai dengan istilah ini, op-amp adalah komponen IC yang memiliki 2 input tegangan dan 1 output tegangan, dimana tegangan output-nya adalah proporsional terhadap perbedaan tegangan antara kedua inputnya itu.

### 2.2.1 Non Inverting Amplifier

Prinsip utama rangkaian penguat *non-inverting* adalah seperti yang diperlihatkan pada gambar 3 berikut ini. Seperti namanya, penguat ini memiliki masukan yang dibuat melalui input non-inverting. Dengan demikian tegangan keluaran rangkaian ini akan satu fasa dengan tegangan inputnya. Untuk menganalisa rangkaian

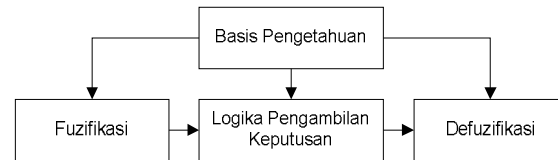
penguat op-amp non inverting, caranya sama seperti menganalisa rangkaian inverting.



Gambar 3 Rangkaian Non Inverting.

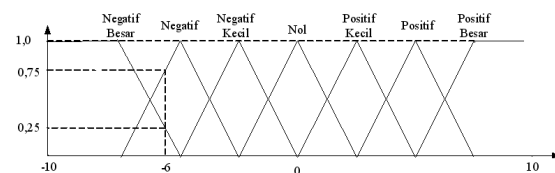
## 2.3 Logika Fuzzy

Fuzzy berarti samar, kabur atau tidak jelas. Fuzzy adalah istilah yang dipakai oleh Lotfi A Zadeh pada bulan Juli 1964 untuk menyatakan kelompok / himpunan yang dapat dibedakan dengan himpunan lain berdasarkan derajat keanggotaan dengan batasan yang tidak begitu jelas (samar), tidak seperti himpunan klasik yang membedakan keanggotaan himpunan menjadi dua, himpunan anggota atau bukan anggota. Gambar 3 menunjukkan struktur dasar pengendalian Fuzzy.



Gambar 4 Struktur dasar pengendali Fuzzy.

Kendali logika Fuzzy dilakukan dalam tiga tahap, yaitu fuzzifikasi, evaluasi aturan dan defuzzifikasi. Komponen Fuzifikasi berfungsi untuk memetakan masukan data tegas ke dalam himpunan Fuzzy menjadi nilai Fuzzy dari beberapa variabel linguistik masukan. Gambar 4 menunjukkan proses Fuzzifikasi



Gambar 4 Proses Fuzzifikasi.

Basis pengetahuan berisi pengetahuan sistem kendali sebagai pedoman evaluasi keadaan sistem untuk mendapatkan keluaran kendali sesuai yang diinginkan perancang. Basis pengetahuan terdiri dari basis data dan basis aturan Fuzzy.

1. Basis Data

Basis data merupakan komponen untuk mendefinisikan himpunan Fuzzy dari masukan dan keluaran.

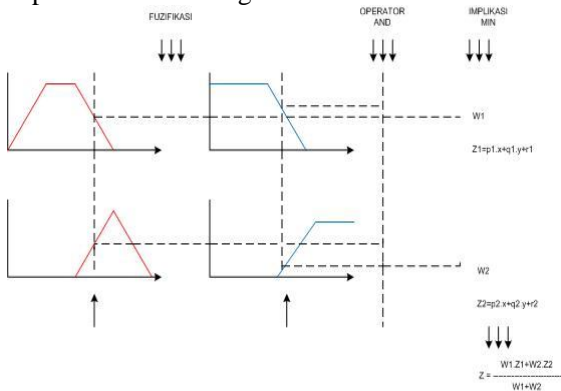
## 2. Basis Aturan Fuzzy

Basis Aturan Fuzzy merupakan kumpulan pernyataan aturan 'IF-THEN' yang didasarkan kepada pengetahuan pakar.

Metode yang digunakan dalam penentuan basis aturan Fuzzy adalah menggunakan metode *trial and error*. Logika pengambilan keputusan disusun dengan cara menuliskan aturan yang menghubungkan antara masukan dan keluaran sistem Fuzzy. Aturan ini diekspresikan dalam kalimat: 'jika <masukan> maka <keluaran>'. Metode ini mempunyai bentuk aturan seperti persamaan 7

$$\text{IF } x \text{ is } A \text{ and } y \text{ is } B \text{ then } z = C \quad (7)$$

Defuzzifikasi dapat didefinisikan sebagai proses perubahan besaran Fuzzy yang disajikan dalam bentuk himpunan-himpunan Fuzzy keluaran dengan fungsi keanggotaan untuk mendapatkan kembali bentuk tegasnya (*crisp*). Gambar 5 menunjukkan proses pengambilan keputusan metode sugeno.

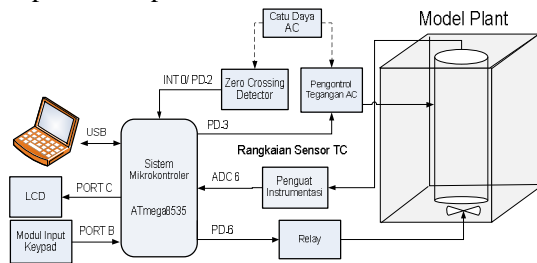


Gambar 5 Proses pengambilan keputusan metode Sugeno.

## III. PERANCANGAN

### 3.1 Perancangan Perangkat Keras

Blok rancangan perangkat keras sistem pengaturan suhu cairan pada Tugas Akhir ini dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Rancangan *plant* kendali temperatur.

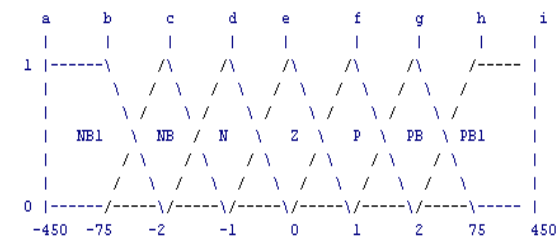
Penjelasan dari masing-masing blok sistem pengendali suhu cairan sebagai berikut :

1. Sensor thermocouple merupakan sensor yang akan mendeteksi kenaikan suhu pada plant *electric furnace*.
2. Sebuah *electric furnace* dengan daya 1000 watt dengan sumber tegangan AC sebagai *aktuator*.
3. *Keypad* sebagai masukan untuk mengatur *set point* suhu cairan dan menjalankan proses pengendalian.
4. LCD (*Liquid Crystal Display*) dan *driver* LCD berfungsi sebagai media tampilan.
5. *Zero crossing detector* adalah rangkaian yang digunakan untuk mendeteksi gelombang sinus tegangan jala-jala AC 220 V ketika melalui persimpangan titik nol.
6. Rangkaian pengendali tegangan AC berfungsi untuk kendali tegangan beban dengan memberi waktu tunda pemucuan *triac*. Komponen utama pengatur tegangan AC berupa *triac* dan optoisolator *MOC3021*.
7. kipas berfungsi sebagai pendingin .
8. Catu daya berfungsi sebagai suplai sistem keseluruhan.
9. Mikrokontroller AVR ATmega 8535 yang berfungsi sebagai pusat pengendalian pada sistem pengatur suhu cairan ini dapat diprogram dengan menggunakan bahasa C *embedded*.
10. Pengkondisi sinyal berfungsi untuk menguatkan tegangan yang keluar dari thermocouple agar dapat terbaca oleh controller.

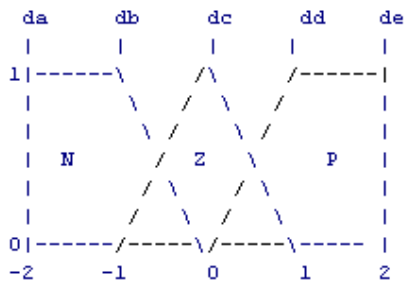
### 3.2 Program Fuzzy

#### A. Fuzzifikasi

Tahapan awal proses Fuzzifikasi adalah menentukan parameter-parameter fungsi keanggotaan pada setiap himpunan Fuzzy masukan. Pada pemrograman Fuzzifikasi ini digunakan parameter fungsi keanggotaan masukan berupa *error* dan *d\_error*. Fungsi keanggotaan dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8.



Gambar 7 Fungsi keanggotaan *error* suhu.



Gambar 8 Fungsi keanggotaan  $d\_error$  suhu.

### B. Evaluasi aturan

Evaluasi aturan adalah proses mengevaluasi derajat keanggotaan tiap-tiap fungsi keanggotaan himpunan Fuzzy masukan ke dalam basis aturan yang telah ditetapkan. Basis aturan yang dibuat berdasarkan tingkah laku plant yang diinginkan. Keluaran Fuzzy akan menentukan nilai konstanta sinyal kontrol. Lima belas aturan yang digunakan terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Basis Aturan fuzzy.

Error D_Error	NB1	NB	N	Z	P	PB	PB1
N	K	K	K	K	S	S	BS
Z	K	K	K	K	S	B	SB
P	K	K	K	K	B	BS	SB

Metode pengambilan keputusan (inferensi) yang digunakan dalam pemrograman ini adalah metode Min. Setelah semua aturan fuzzy dieksekusi, dilakukan proses agregasi dengan mengambil nilai minimum dari masing-masing fungsi keanggotaan variabel keluaran.

### C. Defuzzifikasi

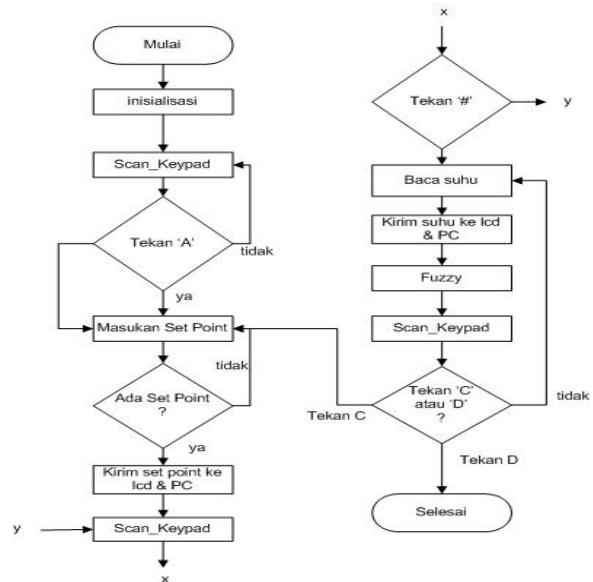
Defuzzifikasi, yaitu mengubah himpunan Fuzzy keluaran menjadi keluaran tegas (*crisp*). Perubahan ini diperlukan karena konstanta kendali fuzzy hanya mengenal nilai tegas sebagai variabel parameter. Perancangan ini, menggunakan sebuah himpunan Fuzzy keluaran dengan fungsi keanggotaannya berupa *singleton*.

Nilai tegas (*crisp*) keluaran diperoleh dari himpunan-himpunan Fuzzy keluaran dengan menggunakan metode rata-rata terbobot.

$$Output = \frac{\sum_{i=1}^N w_i \cdot z_i}{\sum_{i=1}^N w_i}$$

### 3.3 Program Kendali Fuzzy.

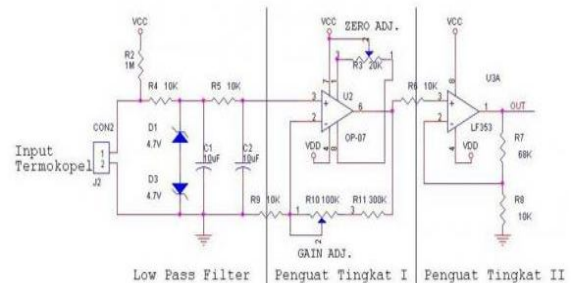
Program utama ini secara garis besar bertujuan untuk mengatur kerja sistem yang meliputi pembacaan masukan (*keypad*), pembacaan sensor thermocouple, menampilkan hasil pembacaan sensor, dan penerapan logika Fuzzy pada mikrokontroler ATmega8535 untuk diagram alir pengendalian ini ditunjukkan dalam Gambar 9.



Gambar 9 Diagram alir pengendalian temperatur

### 3.4 Pengkondisi Sinyal

Kendala utama dalam perancangan pengendalian temperatur ini adalah pada kestabilan output sensor thermocouple dan kecilnya tegangan yang dihasilkan oleh sensor sehingga di butuhkan suatu pengkondisi sinyal agar keluaran sensor dapat terbaca oleh mikrokontroler dan keluarannya lebih stabil. Rangkaian perancangan pengkondisi sinyal.



## IV. PENGUJIAN DAN ANALISA

### 4.1 Pengujian Sensor Thermocouple

Pengujian Pembacaan sensor thermocouple dilakukan dengan mengukur



suhu pada *plant* yang di bandingkan dengan pembacaan pengukuran termometer. Pembacaan sensor untuk pengujian ini dibatasi pada range suhu 30°C-100°C dengan rata-rata *error* sebesar 0,365. Data hasil pengukuran yang dilakukan adalah sebagai berikut.

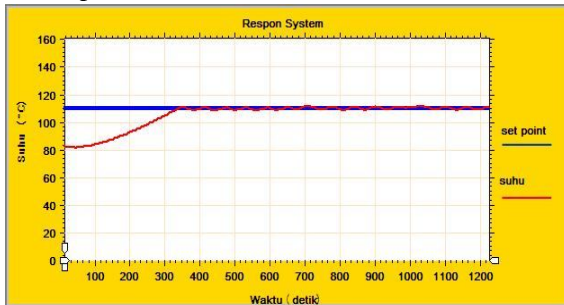
Tabel 2 Hasil perbandingan suhu pembacaan termometer dengan pembacaan sensor Thermocouple.

No	Suhu terukur (°C)	Sensor thermocouple
1	30	30,10
2	40	40,79
3	50	50,01
4	60	60,21
5	70	70,41
6	80	80,60
7	90	90,80
8	100	101,00

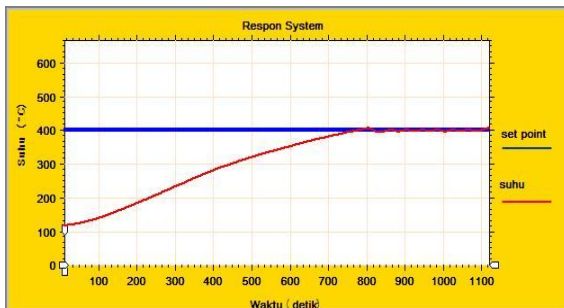
## 4.2 Pengujian Respon Sistem dengan PC.

### A. Pengujian dengan nilai referensi tetap

Respon dengan nilai referensi tetap dapat dilihat pada Gambar 10 dan Gambar 11.



Gambar 10 Respon sistem dengan referensi tetap 110°C.



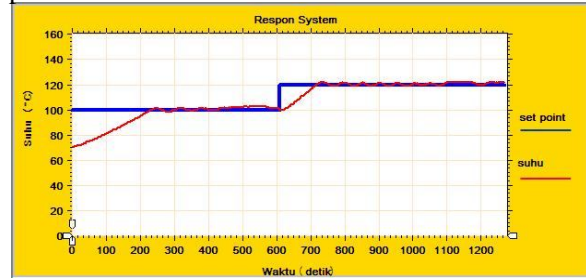
Gambar 11 Respon sistem dengan referensi tetap 400°C.

Grafik respon kendali suhu dengan referensi 110 °C dengan kondisi awal 83°C mempunyai waktu naik ( $t_r$ ) 350 detik dan waktu penetapan ( $t_s$ ) 375 detik. Pada pengujian grafik respon kendali suhu dengan referensi 400 °C dengan kondisi awal 110 °C mempunyai waktu naik ( $t_r$ ) 775 detik dan waktu penetapan ( $t_s$ ) 800 detik, perbedaan lamanya mencapai referensi disebabkan oleh kondisi awal yang berbeda dan

selisih antara referensi dan kondisi awal, pada Gambar 12 kondisi awal 83 °C dengan selisih suhu 27°C sedangkan Gambar 13 kondisi awalnya 110 °C dengan selisih suhu 290 °C.

### B. Respon sistem kendali suhu dengan nilai referensi naik

Pengujian nilai referensi naik dilakukan dengan memberikan referensi menaik yaitu dari 100°C naik menjadi 120°C. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan atau untuk kerja kendali logika *fuzzy* terhadap perubahan kenaikan referensi.

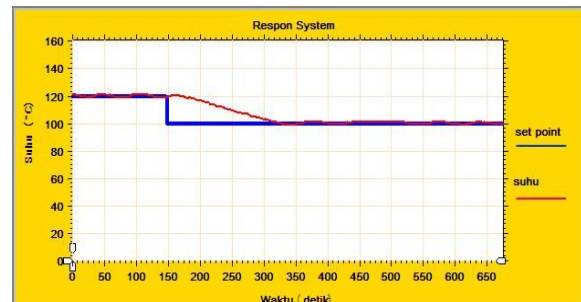


Gambar 12 Respon sistem pada referensi naik 100 °C-120 °C.

Pemberian referensi 100°C mempunyai waktu naik ( $t_r$ ) 225 detik. Ketika referensi dinaikkan menjadi 120°C, dapat dilihat bahwa waktu naik ( $t_r$ ) sistem 125 detik. Hal ini menunjukkan bahwa waktu naik dengan referensi 100°C lebih lama dibandingkan dengan ketika referensi dinaikkan menjadi 120°C. Hal ini disebabkan karena selisih suhu awal 70°C menuju 100°C lebih besar daripada 100°C menuju 120°C.

### C. Respon sistem kendali suhu dengan nilai referensi turun

Pengujian nilai referensi turun dilakukan dengan memberikan referensi menurun yaitu dari 120°C turun menjadi 100°C. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan atau untuk kerja kendali logika *fuzzy* terhadap perubahan penurunan referensi.



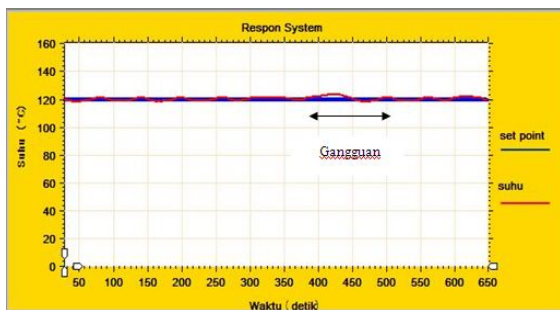
Gambar 13 Respon sistem pada referensi turun 120 °C-100 °C.

Ketika referensi diturunkan menjadi 100°C, dapat dilihat bahwa waktu turun 200 detik. Kendali dengan logika *fuzzy* pada sistem yang

diuji sudah bekerja secara optimal, dimana respon sistem untuk referensi dapat mencapai keadaan stabil dan *error* yang dihasilkan sudah seminimal mungkin.

#### D. Respon sistem Kendali suhu terhadap gangguan.

Pengujian terhadap pengaruh gangguan pada sistem dilakukan dengan pengujian pengaruh gangguan sesaat pada sistem. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan atau untuk kerja kendali logika *Fuzzy* terhadap gangguan luar. Pengaruh gangguan sesaat pada sistem dilakukan dengan mengalirkan udara panas pada daerah pemanasan. Pemberian gangguan dilakukan ketika mencapai keadaan stabil, sesuai dengan referensinya.



Gambar 14 Respon sistem dengan gangguan.

Respon sistem kendali suhu dengan gangguan sesaat pada referensi 120°C, gangguan diberikan dengan mengalirkan udara panas pada daerah pemanasan. Gangguan dilakukan pada detik ke 375 selama 100 detik sehingga mencapai suhu 125°C dan mencapai waktu penetapan ( $t_s$ ) pada detik ke 500 sistem dapat stabil kembali.

## V. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

- 1 Pada pengujian perbandingan pembacaan suhu antara termometer dan thermocouple didapatkan rata-rata error sebesar 0,365.
- 2 Grafik respon kendali suhu dengan referensi 120 °C dengan kondisi awal 83°C mempunyai waktu naik ( $t_r$ ) 350 detik dan waktu penetapan ( $t_s$ ) 375 detik.
- 3 Pada pengujian kendali suhu dengan referensi 400 °C dengan kondisi awal 110 °C mempunyai waktu naik ( $t_r$ ) 775 detik dan waktu penetapan ( $t_s$ ) 800 detik perbedaan lamanya mencapai referensi disebabkan oleh kondisi awal yang berbeda dan selisih antara referensi dan kondisi awal, pada pengujian dengan referensi 120 °C kondisi awal 83 °C dengan selisih suhu 37 °C sedangkan

pengujian dengan referensi 400 °C kondisi awalnya 110°C dengan selisih suhu 290°C.

- 4 Grafik ujicoba respon dengan menaikkan set point pada saat referensi 100°C naik menjadi 120°C. Pemberian referensi 100°C mempunyai waktu naik ( $t_r$ ) 225 detik. Ketika referensi dinaikkan menjadi 120°C, dapat dilihat bahwa waktu naik ( $t_r$ ) sistem 125 detik. Hal ini menunjukkan bahwa waktu naik dengan referensi 100°C lebih lama dibandingkan dengan ketika referensi dinaikkan menjadi 120°C. Hal ini disebabkan karena selisih suhu awal 70°C menuju 100°C lebih besar daripada 100°C menuju 120°C.
- 5 Grafik uji coba pada saat setpoint diturunkan menunjukkan respon pada saat referensi 120°C turun menjadi 100°C. Ketika referensi diturunkan menjadi 100°C, dapat dilihat bahwa waktu turun 200 detik. Kendali dengan logika *fuzzy* pada sistem yang diuji sudah bekerja secara optimal, dimana respon sistem untuk referensi dapat mencapai keadaan stabil dan *error* yang dihasilkan sudah seminimal mungkin.
- 6 Respon sistem kendali suhu dengan gangguan sesaat pada referensi 120°C, gangguan diberikan dengan mengalirkan udara panas pada daerah pemanasan. Gangguan dilakukan pada detik ke 375 selama 100 detik sehingga mencapai suhu 125 °C dan mencapai waktu penetapan ( $t_s$ ) pada detik 500 sistem dapat stabil kembali.

### 1.1 Saran

Untuk pengembangan sistem lebih lanjut, maka ada beberapa saran yang dapat dilakukan yaitu sebagai berikut:

1. Dapat dilakukan penggantian desain model sistem electrical furnace yang lebih baik.
2. Dapat dilakukan penggantian pengkondisi sinyal yang lebih baik agar lebih mudah dalam pengkalibrasian suhu.

## DAFTAR PUSTAKA

- (1) Heryanto, M. Ary dan Wisnu Adi P, *Pemrograman Bahasa C Untuk Mikrokontroler AT MEGA 8535*, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2008.
- (2) Jang, J-S.R., C-T.Sun, E. Mizutani, *Neuro Fuzzy and Soft Computing*, Prentice-Hall International, Inc, 1997.
- (3) Koestoer, R.A, *Pengukuran Teknik Untuk Mahasiswa*, Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, 2004.

- (4) Kusumadewi,S.,*Artificial Intelligence (Teknik dan Aplikasinya)*,Graha Ilmu, Yogyakarta, 2003.
- (5) Mashuri, Ahmad, *Perancangan Sistem Pengendalian Suhu dan Akuisisi Data Tingkat Kelembaban Pada Mesin Pengering Kertas Berbasis Kendali Logika Fuzzy*, Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro Semarang, 2008.
- (6) Naba, Agus, *Belajar Cepat Fuzzy Logic Menggunakan Matlab*, Andi, Yogyakarta, 2009.
- (7) Ogata, Katsuhiko, *Teknik Kontrol Automatik Jilid 1 - 2*, diterjemahkan oleh Edi Leksono, Erlangga, Jakarta, 1994.
- (8) Rindho S, Prestian, *Tuning Parameter Proposional-Integral dengan Fuzzy Logic untuk Pengaturan Suhu Air pada Plant Heat Exanger*, Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro,2011.
- (9) Purwaningrum, Netika, *Aplikasi Fuzzy Logic Untuk Pengendali Penerangan Ruangan Berbasis Mikrokontroller Atmega8535*, Skripsi Jurusan Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang,2007.

**Indra Permadi (L2F 006 052)**



Lahir di Cilacap 30 Mei 1988. Saat ini sedang melanjutkan studi pendidikan Strata I di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro dengan mengambil konsentrasi kontrol.

Mengetahui dan mengesahkan,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Sumardi, ST, MT

Iwan Setiawan, ST, MT

NIP.

NIP.

197005212000121001

197308262000121001

Tanggal: \_\_\_\_\_

Tanggal: \_\_\_\_\_