

## MAKALAH SEMINAR TUGAS AKHIR

## PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN SUHU DAN AKUISISI DATA TINGKAT KELEMBABAN PADA MESIN PENGERING KERTAS BERBASIS KENDALI LOGIKA FUZZY

Ahmad Mashuri<sup>1</sup>, Darjat, ST, MT.<sup>2</sup>, Sumardi, ST, MT.<sup>2</sup>Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro,  
Jl. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah, Indonesia.

**Abstrak-** Alat pengering kertas yang efektif dan efisien sangatlah penting bagi industri percetakan, kegunaan alat ini adalah untuk mengeringkan kertas yang akan dicetak, agar didapatkan kertas kering dengan tingkat kelembaban dan suhu yang ideal. Sehingga akan memperlancar dalam proses produksi dan mendapatkan kualitas hasil cetakan yang optimal.

Dalam Tugas Akhir ini, akan memfokuskan perancangan sistem pengendalian suhu dan akuisisi data tingkat kelembaban pada mesin pengering kertas yang berbasis kendali logika fuzzy menggunakan mikrokontroler Atmega8535, agar kertas yang dikeringkan nanti didapatkan hasil yang memiliki suhu dan tingkat kelembaban ideal yaitu sekitar 33°C – 35.5°C dan 41% dari kadar air pada ketebalan 0.0075 inci setiap lembarnya (Perry's Chemical Engineers' Handbook : 12.34)<sup>[10]</sup>.

Hasil pengujian kendali logika fuzzy pada sistem pengeringan kertas menunjukkan bahwa semakin besar referensi suhu yang diberikan maka waktu untuk mencapai keadaan tunak akan semakin lama, dimana keadaan suhu awalnya pada nilai yang sama. Untuk mendapatkan hasil kertas kering yang ideal, setting referensi suhu yang sesuai adalah 50°C, dimana pada proses pengeringan dengan referensi 50°C dihasilkan kertas dengan suhu 38.0°C dan kelembaban 40.9%.

**Kata Kunci :** Sistem pengering kertas, Kendali logika fuzzy, mikrokontroler ATmega8535

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada industri percetakan, kertas merupakan salah satu bahan utama yang sangat berpengaruh terhadap kelancaran dan kualitas hasil produksi. Salah satu kendala yang sangat berpengaruh ini adalah naiknya tingkat kelembaban pada kertas yang akan dicetak. Ini disebabkan karena menurunnya suhu pada lingkungan, terutama pada musim penghujan. Bila kertas yang akan dicetak memiliki tingkat kelembaban yang tinggi, maka akan terjadi saling lengketnya kertas satu dengan yang lain pada proses percetakan, sehingga kelancaran proses produksi akan terhambat. Juga berpengaruh pada kualitas hasil produksi yang kurang optimal, yaitu hasil cetak yang terlihat kurang jelas atau sedikit kabur. Maka perlulah disini dibuat suatu alat pengering kertas untuk menjaga suhu dan tingkat kelembaban kertas yang akan dicetak agar tetap kering.

Proses sistem pengeringan dilakukan dengan cara memasukkan beberapa kertas yang akan dikeringkan ke dalam ruang mesin pengering, kemudian memanasi suhu ruangan dan membuang udara basah pada ruang mesin pengering kertas. Dalam waktu beberapa menit atau jam pemanasan ruangan yang dilakukan diharapkan mampu mengeringkan dan mengurangi kelembaban kertas.

Sistem kendali logika fuzzy merupakan salah satu alternatif sistem kendali yang sederhana, dimana pada sistem kendali logika fuzzy tidak

memerlukan pengetahuan tentang parameter-parameter numerik dari sistem. Sinyal kendali diperoleh dari *error* (kesalahan) yaitu selisih dari keluaran sistem yang dikendalikan dengan setpoint yang diinginkan, selain itu terdapat pula masukan berupa perubahan *error* ( $\Delta error$ ) sistem yang merupakan selisih antara *error* sekarang dengan *error* sebelumnya.

### 1.2 Tujuan

Tujuan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini adalah perancangan sistem pengendalian suhu dan akuisisi data tingkat kelembaban pada mesin pengering kertas berbasis kendali logika fuzzy secara digital menggunakan mikrokontroler ATmega8535. Keluaran dari kendali logika fuzzy akan mengatur tegangan yang diberikan ke pemanas (*heater*) dan ke kipas *blower*, sehingga suhu mesin pengeringan kertas dapat dikendalikan.

### 1.3 Pembatasan Masalah

Dalam penyusunan tugas akhir ini permasalahan-permasalahan yang akan dibatasi meliputi hal-hal sebagai berikut :

- Plant yang diuji adalah suhu dan kelembaban ruangan mesin pengering kertas.
- Pengendalian menggunakan logika fuzzy metode Sugeno dengan fungsi keanggotaan segitiga dan trapesium.
- Sensor suhu dan kelembaban yang digunakan adalah SHT11.
- Monitoring sistem kendali yang digunakan adalah personal computer dengan bantuan bahasa pemrograman Borland Delphi 6, akan tetapi

<sup>1</sup> Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Undip

<sup>2</sup> Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro Undip

program tampilannya tidak dibahas dalam tugas akhir ini.

- Mikrokontroler yang digunakan adalah ATmega8535 dengan pemrograman code vision AVR.
- Tidak membahas sistem mekanik dari mesin pengering kertas secara detail.
- Kapasitas ruang mesin pengering dapat diisi 60 rem kertas HVS atau buram ( standar A4).

**II. DASAR TEORI**

**2.1 Sistem Pengeringan**<sup>[1], [4], [14]</sup>

Pengeringan zat padat adalah pemisahan sejumlah kecil air atau zat cair dari bahan sehingga kandungan sisa zat cair didalam zat padat itu sampai suatu nilai rendah yang dapat diterima.

Mekanisme perpindahan panas dibagi menjadi tiga, yaitu;

1. Konduksi

Konduksi adalah proses mengalirnya panas dari daerah yang bersuhu lebih tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah didalam satu media (padat, cair, atau gas) atau antara media-media yang berlainan dan bersinggungan secara langsung.

2. Konveksi

Konveksi dalam proses perpindahan energi panas yang terjadi antara permukaan dan fluida yang bergerak. Secara umum, konveksi dibagi menjadi dua yaitu konveksi alam dan konveksi paksa. Konveksi alam pada aliran fluida yang hanya menggunakan perbedaan massa jenis sebagai penggerak aliran. Sedangkan konveksi paksa menggunakan tambahan berupa alat seperti pompa dan kipas.

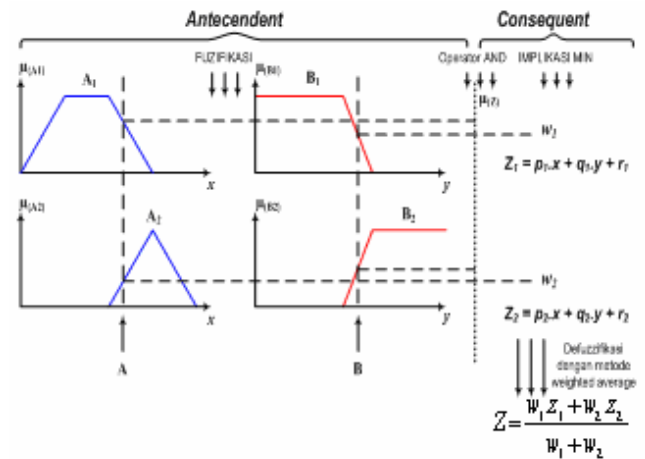
3. Radiasi

Perpindahan panas radiasi dalai energi panas yang dipindahkan melalui gelombang elektromagnetik tanpa membutuhkan media. Sebagai contoh, jika suatu benda hitam beradiasi ke sebuah penutup yang sepenuhnya mengurung permukaan hitam, maka akan menyerap semua energi radiasi yang dating padanya.

**2.2 Kendali Logika Fuzzy**<sup>[2], [5], [6], [8]</sup>

Fuzzy berarti samar, kabur atau tidak jelas. Teori himpunan fuzzy pertama kali diperkenalkan oleh Lotfi A. Zadeh pada bulan Juli 1964. Kendali logika fuzzy bekerja berdasarkan aturan linguistik yang dibuat mirip dengan seorang operator ahli dalam melakukan proses kendali.

Mekanisme proses pengambilan keputusan dengan metode fuzzy sugeno ditunjukkan dalam gambar 1.



Gambar 1. Arsitektur Sugeno fuzzy inference system<sup>[8]</sup>.

Pengambilan keputusan dengan metode sugeno dilakukan setelah proses fuzzifikasi yang diolah berdasarkan basis aturan yang telah dibuat. Langkah selanjutnya, kedua masukan diproses dengan operasi AND yang akan mengambil nilai paling minimal dari keduanya. Implikasi min akan memotong derajat keanggotaan variabel keluaran pada nilai keluaran setelah melalui operator AND.

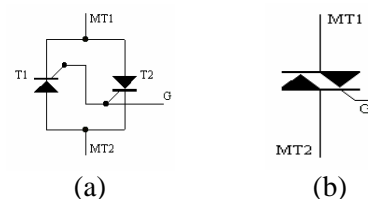
Pada proses pengambilan keputusan tahap akhir metode fuzzy adalah defuzzifikasi, metode yang digunakan adalah metode rata-rata terbobot (*weighted average*). Pada metode rata-rata terbobot, nilai keluaran tegas diperoleh dari jumlah hasil kali keluaran fuzzy untuk setiap himpunan fuzzy keluaran dengan nilai parameter pada sumbu z dibagi dengan jumlah keluaran fuzzy untuk setiap himpunan fuzzy keluaran. Rumus metode defuzzifikasi rata-rata terbobot adalah sebagai berikut;

$$Keluran\ Tegas = \frac{\sum_i (Keluran\ fuzzy) \times (Nilai\ parameter\ pada\ sumbu\ z_i)}{\sum_i (Keluran\ fuzzy)}$$

Keluaran pada proses defuzzifikasi merupakan hasil dari proses kendali fuzzy secara keseluruhan. Keluaran ini berupa himpunan crisp yang akan mengendalikan sistem yang dikontrol.

**2.3 TRIAC**<sup>[7], [13], [17]</sup>

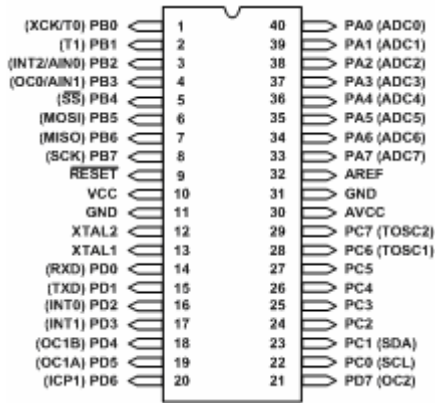
Untuk pengendalian tegangan AC, digunakan *bidirectional triode thyristor* atau yang biasa dikenal sebagai TRIAC. Dalam hal ini dapat dianggap sebagai dua buah *thyristor* tersambung secara antiparalel dengan koneksi gerbang seperti ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2 (a) Rangkaian ekuivalen TRIAC (b) Simbol TRIAC

**2.4 Mikrokontroler ATMEGA8535**<sup>[6],[12],[15],[16]</sup>

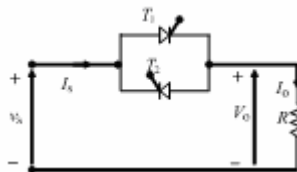
Mikrokontroler ATmega8535 merupakan mikrokontroler 8 bit dengan konsumsi daya rendah produksi ATMEL yang telah didukung penuh dengan program dan sarana pengembangan seperti *compiler C*, *simulator* program, *emulator* dalam rangkaian dan kit evaluasi. Gambar 3 merupakan konfigurasi *pin – pin* pada mikrokontroler Atmega8535.



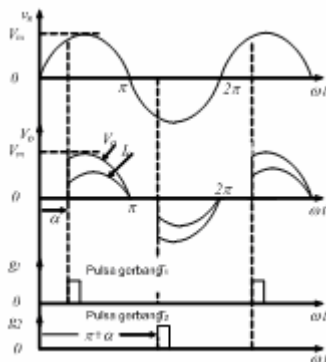
Gambar 3 Konfigurasi *pin – pin* ATMEGA 8535

**2.5 Kendali tegangan AC**<sup>[6],[13]</sup>

Prinsip dari kendali tegangan AC untuk gelombang penuh satu fasa dapat dijelaskan berdasarkan rangkaian pada Gambar 4. Gambar 4 merupakan pengontrol dua arah satu. Energi mengalir ke beban dikontrol dengan menunda sudut pemucuan (*firing angle*) thyristor  $T_1$  dan sudut pemucuan thyristor  $T_2$ . Selama tegangan masukan setengah siklus positif, daya yang mengalir dikontrol oleh beberapa sudut tunda dari thyristor  $T_1$ , dan thyristor  $T_2$  mengontrol daya selama tegangan masukan setengah siklus negatif. Pulsa-pulsa yang dihasilkan pada  $T_1$  dan  $T_2$  terpisah 180°. Bentuk gelombang untuk tegangan masukan, tegangan keluaran, dan sinyal gerbang untuk  $T_1$  dan  $T_2$  ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 4 Rangkaian pengontrol gelombang penuh satu fasa



Gambar 5 Bentuk gelombang pengontrol gelombang penuh satu fasa

**2.6 Sensor SHT-11**<sup>[17]</sup>

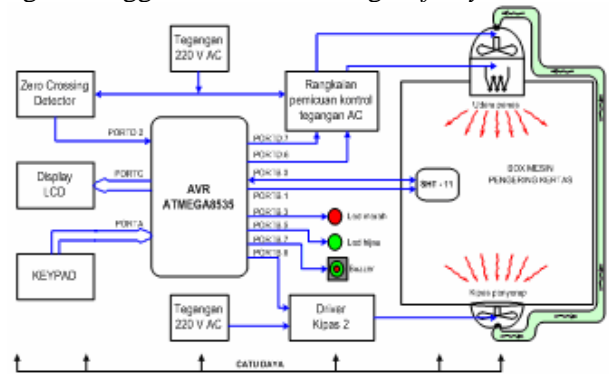


Gambar 6 SHT (*Sensor Humadity and Temperature*) 11

SHT11 adalah sebuah single chip sensor suhu dan kelembaban relatif yang mempunyai banyak sensor module yang terdiri dari sebuah pengkalibrasi output digital. Pada pengukuran suhu data yang dihasilkan 14 bit sedangkan untuk kelembaban data yang dihasilkan 12 bit. Keluaran dari SHT 11 adalah digital sehingga untuk mengaksesnya diperlukan pemrograman dan tidak diperlukan pengkondisi sinyal.

**III. PERANCANGAN ALAT**

Blok diagram perancangan perangkat keras secara keseluruhan adalah seperti ditunjukkan pada gambar 7. Perangkat keras dirancang untuk membentuk sistem pengaturan temperatur dan pendeteksian tingkat kelembaban pada ruangan mesin pengering kertas dengan menggunakan kendali kogika *fuzzy*.

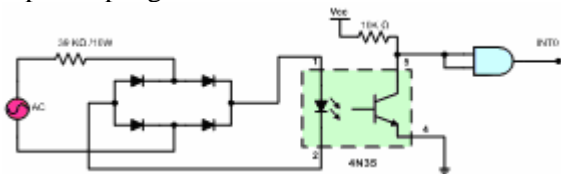


Gambar 7. Blok diagram rancangan *hardware* sistem pengeringan kertas

Spesifikasi perancangan perangkat keras dari sistem pengeringan kertas ini terdiri dari:

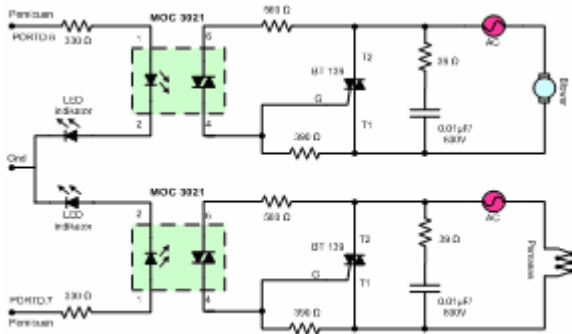
1. Box mesin pengering kertas : sebagai *plant* utama untuk menaruh kertas dan sebagai tempat sirkulasi udara. Didalamnya terdiri dari *heater*, kipas *blower*, kipas *exhaust* dan sensor SHT11.
2. *Heater* : sebagai sumber energi panas, yang nantinya dapat diatur besar kecil panas yang dihasilkan dengan cara diberikan tegangan masukan sesuai sinyal kontrol.
  - a. Daya : 600 Watt
  - b. Tegangan : 220 / 380 V
  - c. Frekuensi : 50 Hz
  - d. Arus : 2.7/1.6 A
3. 2 Kipas : kipas 1 (*blower*) sebagai pengendali aliran fluida pada ruangan pemanas sehingga panas didalam box akan merata dan 1 kipas *exhaust* (keluaran) sebagai pembuangan udara basah (uap).
  - a. Daya : 25 Watt
  - b. Tegangan : 220-240 V

- c. Frekuensi : 50 Hz
  - d. Arus : 0.1A
  - e. Kecepatan : 1600 rpm
4. Catu daya : sebagai sumber daya bagi semua komponen yang digunakan.
  5. Mikrokontroler *Atmega8535* : digunakan sebagai unit kontroler untuk mengaplikasikan kendali *open loop*, algoritma logika *fuzzy*, dan mengirim data referensi dan data sensor ke komputer untuk di-*monitoring*.
  6. *Zero crossing detector* adalah rangkaian yang digunakan untuk mendeteksi gelombang *sinus* tegangan jala-jala AC 220 V ketika melalui persimpangan titik nol.



Gambar 8. Rangkaian zero crossing detector

7. Rangkaian pengendali tegangan AC adalah rangkaian yang berfungsi untuk mengendalikan tegangan beban dengan memberi waktu tunda pemucuan TRIAC. Komponen utama pengatur tegangan AC berupa TRIAC dan optoisolator MOC3021.



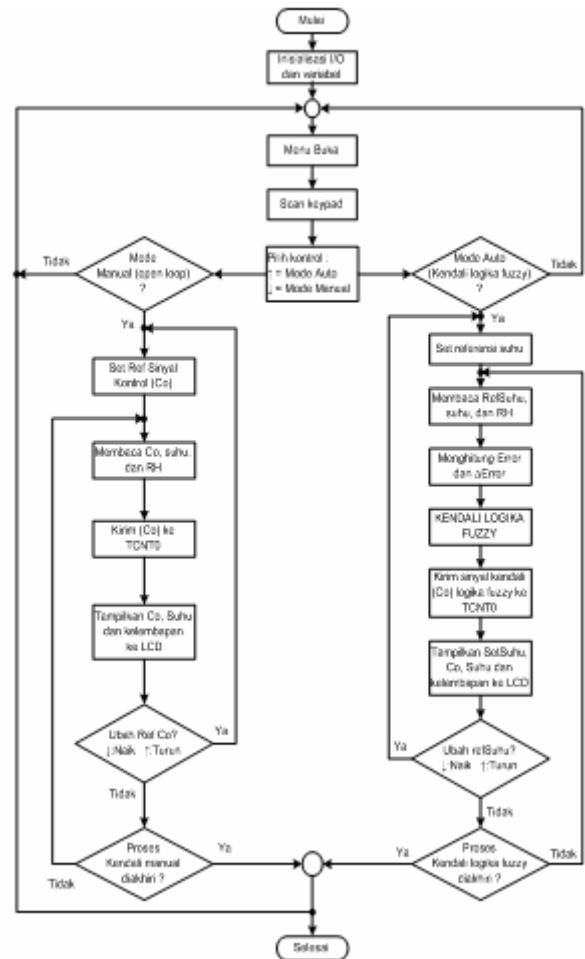
Gambar 9. Rangkaian pengendali tegangan AC

8. Sensor SHT 11 adalah sensor pendeteksi suhu dan kelembaban ruangan mesin pengering kertas, datanya dikirim ke mikrokontroler yang akan digunakan sebagai umpan balik dari sistem kendali logika *fuzzy*, kemudian ditampilkan ke LCD.
9. LCD (*liquid crystal display*) dan *driver* LCD berfungsi sebagai media tampilan selama proses pengendalian berlangsung.
10. Keypad : digunakan sebagai pengaturan dan pemilihan menu-menu proses dan pengesetan referensi.
11. Led (*light emitting diode*) hijau berfungsi sebagai penanda bahwa proses pengendalian sedang berjalan.
12. Led merah dan *buzzer* berfungsi sebagai penanda bahwa suhu yang diinginkan sudah sesuai dengan referensi yang diberikan.
13. Komputer : sebagai penampil respon dari sistem (proses *monitoring*).



Gambar 10. Mesin pengering kertas

### 3.1 Perancangan Program Utama



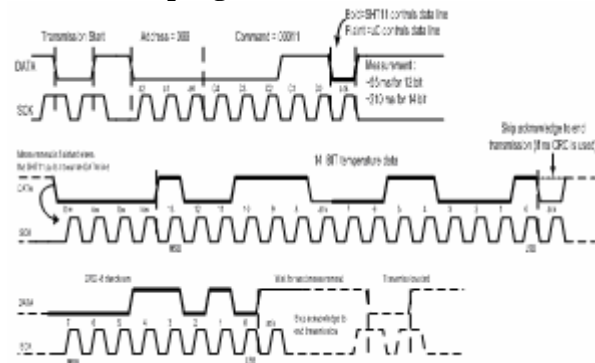
Gambar 11. Diagram alir program utama

Diagram alir program utama dapat dilihat pada gambar 11. Program dimulai dengan melakukan inisialisasi I/O *port-port* dan inisialisasi variable pada mikrokontroler. Setelah inisialisasi, program akan ke menu buka. Menu buka merupakan menu yang pertama kali muncul saat program akan dijalankan. Tombol *enter* pada *keypad* digunakan untuk menuju ke menu berikutnya yaitu menu pemilihan mode pengendalian

secara manual atau otomatis. Saat mode pengendalian secara manual dipilih, selanjutnya adalah memasukkan referensi sinyal control yang dikehendaki. Sinyal control ini yang nantinya akan dikirim ke TCNT0 timer 0. TCNT0 ini digunakan sebagai sinyal picu untuk mengendalikan driver tegangan AC. Semakin besar sinyal control yang diberikan ke TCNT0 maka keluaran pulsa dari TCNT0 akan semakin besar, sehingga sinyal picu yang masuk driver kendali tegangan AC akan besar pula. Karena sinyal picu *triac* besar, maka arus yang diterima beban akan juga ikut besar. Untuk menghentikan program mode manual tinggal menekan tombol *enter* pada *keypad*. Bila tombol *enter* ditekan lagi, maka program akan kembali ke menu buka dan pemilihan mode kendali.

Saat mode kendali logika fuzzy dipilih, selanjutnya adalah memasukkan set referensi suhu yang dikehendaki. Program akan membaca nilai referensi yang dimasukkan oleh operator dan nilai suhu yang terdeteksi oleh sensor, kemudian menghitung *error* dan *delta error* sebagai masukan logika fuzzy. Sinyal control yang dihasilkan oleh kendali logika fuzzy akan diberikan ke TCNT0 sebagai sumber pemicuan pada rangkain pengendali tegangan AC, tegangan AC ini selanjutnya diberikan ke heater dan kipas blower. Heater dan blower ini digunakan untuk mengendalikan tingkat kelembaban dan temperature pada ruang mesin pengering kertas.

**3.2 Proses pengambilan data sensor SHT11**



Gambar 12. Diagram proses pengambilan data suhu

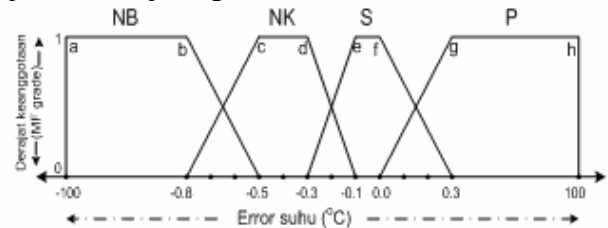
Penjelasan dari proses pengambilan data suhu adalah sebagai berikut;

- a) Kontroler mengirim sinyal ke SHT11 untuk mengambil data suhu dan kelembaban, sinyal yang dikirim berupa sinyal start dan sinyal perintah. Kemudian kontroler memberi sinyal tinggi pada jalur data.
- b) Kontroler menunggu sampai SHT11 siap mengirim data hasil pengukuran, kesiapan SHT11 ditandai dengan berubahnya jalur data menjadi rendah.
- c) Kontroler mengambil data dari sht11 dengan memberikan sinyal clock pada SCK.

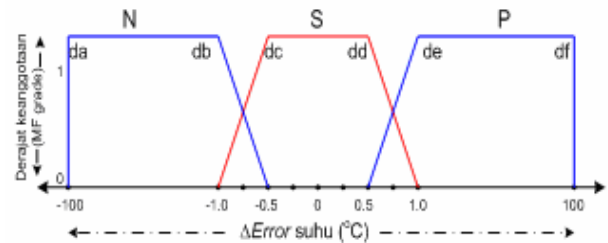
- d) Jika membutuhkan data CRC maka kontroler harus memberikan sinyal rendah pada jalur data. Setelah itu kontroler memberikan sinyal clock pada SCK. Jika tidak membutuhkan data CRC maka kontroler harus memberikan sinyal tinggi pada jalur data. Setelah itu kontroler memberikan sinyal clock pada SCK.

**3.3 Program Kendali Logika Fuzzy**

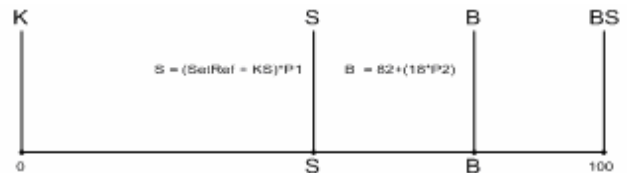
Pengendali logika fuzzy yang dirancang akan mengevaluasi dua masukan yaitu *error* dan perubahan *error*, serta satu keluaran berupa sinyal control seperti diperlihatkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 13. Perancangan fungsi keanggotaan *error*



Gambar 14. Perancangan fungsi keanggotaan  $\Delta$ error



Gambar 15. Nilai konstanta yang mewakili sinyal control ( $C_o$ )

Fungsi-fungsi nilai konstanta sinyal control dapat dijelaskan bahwa, K (kecil) berarti sinyal control yang dikeluarkan adalah 0. S (sedang) dan B (Besarnya). Dimana nilai S dan B akan berubah-ubah tergantung dari besar referensi suhu yang diinginkan, dan BS (besar sekali) yang berarti bahwa sinyal control yang keluar adalah 100%. Listing program untuk menentukan besarnya parameter sinyal control S dan B adalah;

```

if (SetRef >= 0 && SetRef <= 30) {KS= 0; P1=0;P2=0;}
if (SetRef >= 31 && SetRef <= 37) {KS=-30;P1=1;P2=0;}
if (SetRef >= 38 && SetRef <= 43) {KS=-22;P1=1;P2=0;}
if (SetRef >= 44 && SetRef <= 48) {KS= -5;P1=1;P2=0;}
if (SetRef >= 49 && SetRef <= 51) {KS= 14;P1=1;P2=0;}
if (SetRef >= 52 && SetRef <= 60) {KS= 20;P1=1;P2=0;}
if (SetRef >= 61 && SetRef <= 80) {KS= 20;P1=1;P2=1;}
if (SetRef >= 81 && SetRef <= 100) {KS= 100-
SetRef;P1=1;P2=1;}
    
```

Dari listing program penentuan nilai parameter-parameter diatas, maka besar nilai konstanta S dan B dapat ditentukan dengan rumus :

$$S = (\text{SetRef} + \text{KS}) \times P1$$

$$B = 82 + (18 \times P2)$$

Dimana : KS : Konstanta Set Point  
 P1 : Pengali 1  
 P2 : Pengali 2

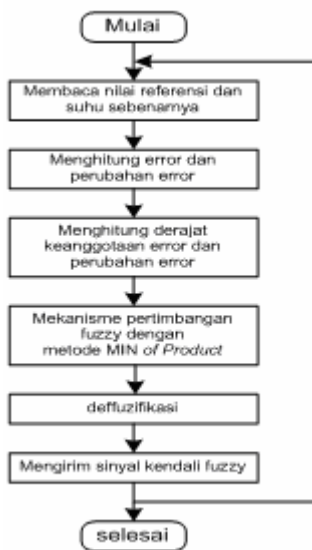
Rancangan basis aturan kendali logika menggunakan 12 aturan seperti pada tabel 1.

Tabel 1 Rancangan basis aturan kendali logika fuzzy

Error				
$\Delta Error$	NB	NK	S	P
N	K	K	S	B
S	K	S	B	BS
P	K	S	BS	BS

Eksekusi aturan diproses menggunakan fungsi implikasi *MIN of product* yang akan mengambil nilai paling minimal dari kedua masukan yaitu sinyal derajat keanggotaan *Error* dan  $\Delta Error$ , dan juga menentukan konstanta parameter keluaran yang digunakan.

Tahap terakhir dari inferensi fuzzy adalah defuzzifikasi. Defuzzifikasi merupakan kebalikan dari proses fuzzifikasi, yaitu mengubah himpunan fuzzy keluaran menjadi keluaran tegas (*crisp*). Untuk mendapatkan nilai tegas (*crisp*) keluaran dari himpunan-himpunan fuzzy keluaran, digunakan metode rata-rata berbobot (*weight average*).



Gambar 16. Diagram alir program kendali logika fuzzy

Diagram alir program utama kendali logika fuzzy terlihat pada gambar 16, program akan membaca nilai referensi yang dimasukkan operator dan nilai suhu yang terdeteksi sensor, kemudian menghitung *error* dan perubahan *error* sebagai masukan kendali logika fuzzy. Langkah selanjutnya adalah menghitung derajat keanggotaan error dan perubahan error. Nilai derajat keanggotaan tersebut akan menghasilkan nilai keluaran setelah melalui logika pengambilan keputusan fuzzy yaitu *min of product*. Pengambilan keputusan *min of product* ini akan menentukan konstanta parameter keluaran yang

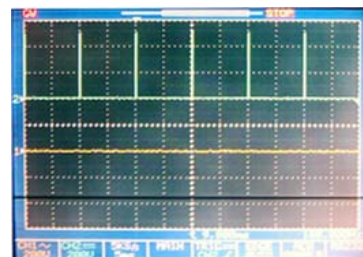
digunakan dan menentukan nilai paling kecil dari derajat keanggotaan *error* dan *delta error*, yang selanjutnya nilai-nilai parameter keluaran dan derajat keanggotaan *error* dan *delta error* itu dijadikan sebagai konstanta penentu proses defuzzifikasi. Dari proses defuzzifikasi ini akan menghasilkan keluaran berbentuk himpunan tegas yang dijadikan sebagai sinyal kendali logika fuzzy. Selanjutnya mengirim sinyal kendali logika fuzzy ke TCNT0 yang akan dijadikan sinyal picu kendali tegangan AC.

**IV. PENGUJIAN DAN ANALISA**

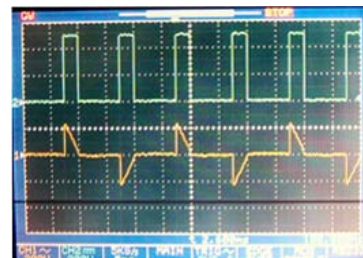
Pengujian ini dilakukan agar sistem pengering kertas nantinya dapat mengeringkan kertas (HVS atau buram) dengan suhu kertas kering normal sekitar 33-35,5°C dengan kelembaban relative 41,0%.

**4.1 Pengujian Rangkain Kendali Tegangan AC**

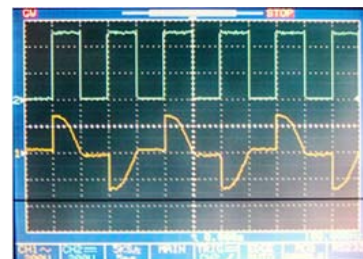
Pengamatan dilakukan dengan osiloskop terhadap gelombang picu dari mikrokontroler dan keluaran pengendali tegangan AC yang diberikan ke beban berdasarkan pengaturan sinyal kontrol. Hasil pengujiannya adalah;



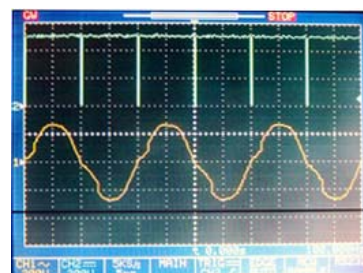
Gambar 17. Sinyal picu dan tegangan beban untuk Co = 0%



Gambar 18. Sinyal picu dan tegangan beban untuk Co = 25%



Gambar 19. Sinyal picu dan tegangan beban untuk Co = 50%



Gambar 20. Sinyal picu dan tegangan beban untuk Co = 100%

Dari kelima bentuk gambar gelombang tegangan pada beban yang diuji, dapat diketahui bahwa semakin besar sinyal control yang diberikan ke pemucuan (TCNT0), maka bagian dari tegangan AC yang diberikan ke beban untuk tiap fasenya (fase positif dan fase negative) akan semakin besar, yang berarti bahwa tegangan listrik yang diberikan ke beban akan semakin besar.

Pengujian juga dilakukan dengan cara mengukur tegangan sinyal picu dari mikrokontroler pinD.7 (TCNT0) dan tegangan keluaran dari rangkaian pengendali tegangan AC dengan variasi berdasarkan sinyal control yang diberikan ke pemucu. Data hasil pengukuran dapat dilihat pada table 2.

Table 2 Data pengujian tegangan sinyal picu dan kendali tegangan AC

No	Co (%)	Nilai TCNT0	Sinyal picu (Volt)	Tegangan ke beban (Volt)
1	0	102 (66h)	0.11	1.5
2	10	117 (75h)	0.55	12.8
3	25	140 (8Ch)	1.30	50.5
4	30	147 (93h)	1.53	66.8
5	40	163 (A3h)	2.04	105.3
6	50	178 (B2h)	2.51	140.1
8	70	209 (D1h)	3.49	202
9	85	232 (E8h)	4.24	226
10	100	255 (FFh)	4.94	230

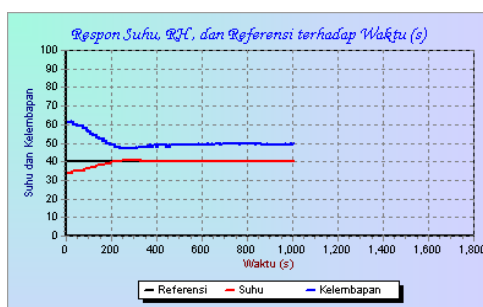
Dari table 2 terlihat bahwa pengujian pada rangkaian pengendali tegangan AC dapat dikatakan linear, karena tegangan keluaran rangkaian kendali tegangan AC naik seiring dengan kenaikan nilai pada TCNT0 dengan nilai maksimum 255 (0xFF).

#### 4.2 Pengujian Penalaan Kendali Logika Fuzzy

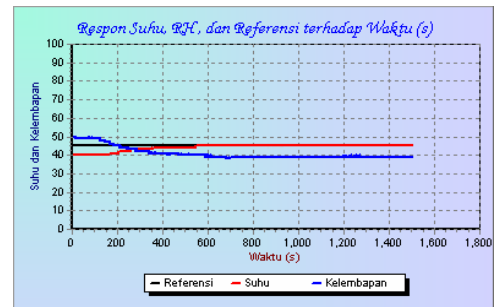
Pengujian penalaan kendali logika fuzzy dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja pengendali pada sistem pengeringan terhadap nilai referensi suhu yang diberikan.

##### A. Respon sistem pengering tanpa beban

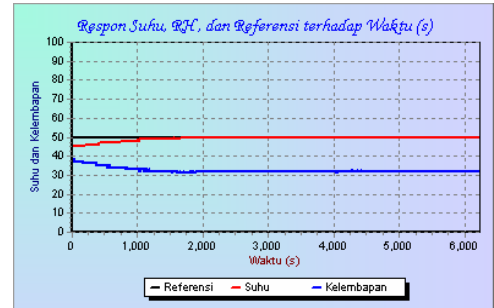
Tanggapan pengendalian sistem pengering tanpa beban kertas dengan memberikan nilai referensi suhu yang berbeda yaitu 40°C, 45°C, dan 50°C. Respon suhu dan kelembaban sistem dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 21. Respon sistem tanpa beban dengan referensi 40°C



Gambar 22. Respon sistem tanpa beban dengan referensi 45°C



Gambar 23. Respon sistem tanpa beban dengan referensi 50°C

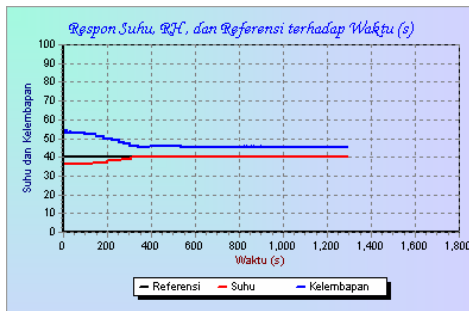
Gambar 21, adalah grafik respon suhu dan kelembaban dengan referensi yang diberikan 40°C dengan suhu dan kelembaban awal 34.2°C dan 61.6%. Respon suhu stabil setelah terjadi lonjakan maksimum pada detik ke 325 dan tidak terjadi kesalahan keadaan tunak, setelah detik ke 1000 pengujian dihentikan untuk referensi 40°C. Waktu tunda ( $t_d$ ) yang diperlukan adalah 125 detik, waktu naik ( $t_r$ ) 200 detik, dan waktu puncak ( $t_p$ ) 275 detik. Suhu dan kelembaban yang terukur pada saat suhu berada pada waktu penetapan ( $t_s$ ) adalah 40.1°C dan 49.9%.

Pada gambar 22, referensi yang diberikan adalah 45°C dengan suhu dan kelembaban awal 40.0°C dan 50.0%, setelah detik ke 1500 pengujian untuk referensi 45°C dihentikan. Respon suhu terhadap referensi memiliki waktu naik 550 detik, waktu penetapan 560 detik, dan tidak ada kesalahan keadaan tunak. Suhu dan kelembaban yang terukur pada saat suhu berada pada waktu penetapan adalah 45.2°C dan 39.6%.

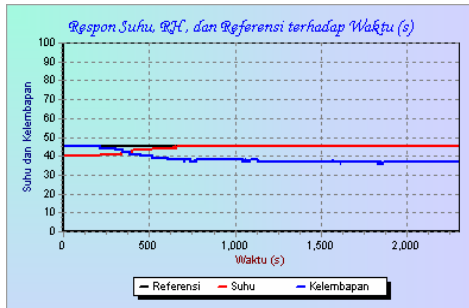
Gambar 23, respon sistem untuk referensi suhu 50°C, dengan suhu dan kelembaban awal 45.2°C dan 38.7%. memiliki waktu naik dan waktu penetapan yaitu 1700 detik dan 1715 detik, dan tidak ada kesalahan keadaan tunak. Suhu dan kelembaban pada suhu berada pada waktu penetapan adalah 50.1°C dan 32.3%.

##### B. Respon sistem pengering dengan beban kertas

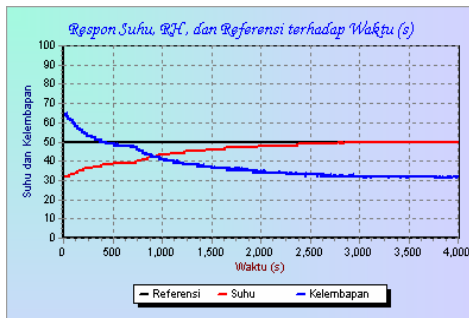
Tanggapan pengendali sistem pengering dengan beban (kertas) untuk nilai referensi suhu yang berbeda yaitu 40°C, 45°C, dan 50°C, dimana suhu dan kelembaban diluar ruang mesin pengering kertas/suhu dan kelembaban lingkungan adalah 29. 6°C dan 69.1%. Sedangkan suhu dan kelembaban kertas sebelum dikeringkan adalah 31.3°C dan 63.1%. Respon suhu dan kelembaban sistem dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 24. Respon sistem dengan beban untuk referensi 40°C



Gambar 25. Respon sistem dengan beban untuk referensi 45°C



Gambar 26. Respon sistem dengan beban untuk referensi 50°C

Karakteristik respon gambar diatas dapat dijelaskan seperti pada tabel dibawah ini;

Table 3. Karakteristik tanggapan sistem pengeringan dengan beban

Suhu awal (°C)	Ref (°C)	Waktu naik $t_r$ (detik)	Waktu puncak $t_p$ (detik)	Waktu penetapan $t_s$ (detik)	Lonjakan maks $M_p$ (%)
35.5	40.0	315	-	325	0
40.0	45.0	645	-	650	0
32.1	50.0	2818	-	2846	0

Table 4. Pengujian pengeringan kertas

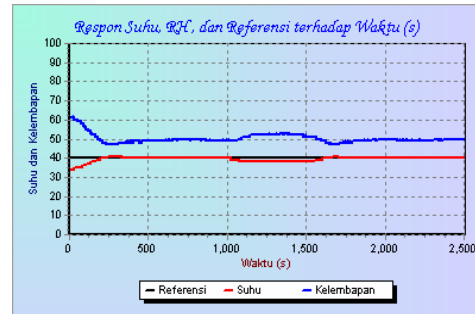
Ref. suhu (°C)	Kertas awal pengeringan		Kertas setelah dikeringkan	
	Suhu (°C)	RH (%)	Suhu (°C)	Kelembapan (%)
40	31.1	63.1	34.7	49.2
45	34.7	49.2	36.1	43.5
50	31.3	63.1	38.0	40.9

Table 5. Pengujian pengeringan ruangan

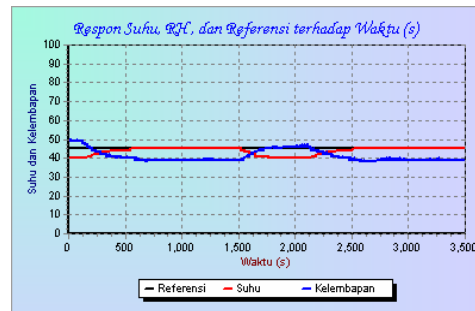
Ref. suhu (°C)	Pengeringan ruang awal		Pengeringan ruang akhir	
	Suhu (°C)	RH (%)	Suhu (°C)	RH (%)
40	35.5	55.1	40.1	45.4
45	40.1	45.5	45.1	38.6
50	32.1	64.6	50.0	32.9

### C. Respon sistem pengering terhadap gangguan

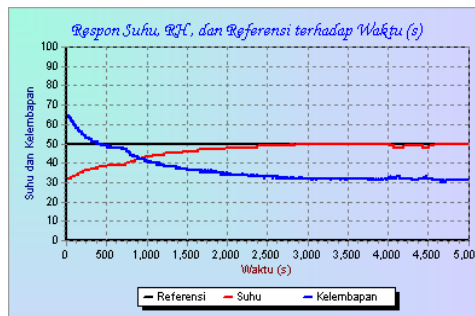
Pengaruh gangguan sesaat pada sistem pengeringan tanpa beban dengan variasi pemberian referensi suhu dilakukan dengan cara membuka pintu mesin pengering setelah suhu plant sudah mencapai keadaan stabil pada referensi yang diberikan. Pemberian gangguan sesaat dilakukan selama 500 detik, setelah itu pintu mesin pengering ditutup lagi. Hasil pengujian respon sistem ditunjukkan pada gambar 27 dan 28.



Gambar 27. Respon sistem tanpa beban terhadap gangguan sesaat pada referensi 40°C



Gambar 28. Respon plant tanpa beban terhadap gangguan sesaat pada referensi 45°C



Gambar 29. Respon plant dengan beban terhadap gangguan sesaat pada referensi 50°C

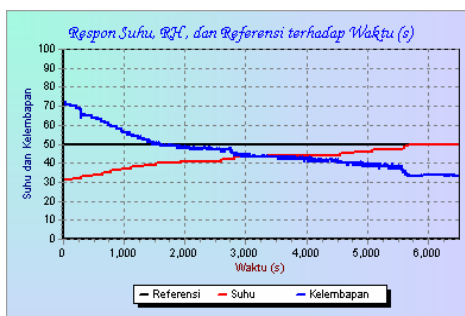
Pada gambar 27, menunjukkan respon sistem gangguan sesaat pada pengeringan tanpa beban dengan referensi 40°C. Gangguan diberikan pada waktu 1000 detik, selama 500 detik suhu sistem berangsur-angsur menurun sampai suhu terendah yaitu 38.4°C dengan kelembapan 53.3%. Setelah itu pintu mesin pengering ditutup lagi, dan waktu pemulihan menuju kestabilan selama 200 detik setelah terjadi lonjakan.

Gambar 28, menunjukkan pengujian gangguan sesaat plant tanpa beban dengan referensi 45°C. Gangguan diberikan pada waktu 1500 detik. Setelah itu diberi gangguan selama 500 detik. Selama diberi gangguan 500 detik, suhu plant menurun hingga 38.6°C

dengan tingkat kelembaban 45.1%. Setelah pintu ditutup lagi, respon suhu mulai naik menuju keadaan tunak dengan besar waktu naik 500 detik, dan respon mulai stabil lagi.

Respon suhu yang ditunjukkan pada gambar 29 terjadi penurunan suhu sebesar 2°C dari referensi setelah diberi gangguan pada detik ke 4000. Pemberian gangguan ini dilakukan dengan cara membuka sedikit pintu mesin pengering, setelah 500 detik pintu ditutup kembali. Waktu pemulihan setelah pintu ditutup kembali adalah 200 detik, dan respon dapat berada pada keadaan tunak.

Pengaruh gangguan kontinyu pada sistem pengeringan tanpa beban dengan pemberian referensi suhu 50°C dilakukan dengan cara membuka pintu mesin pengering terus menerus sampai keadaan suhu plant terlihat stabil. Setelah itu pintu mesin pengering ditutup. Penutupan pintu ini dilakukan untuk menguji kemampuan kendali logika fuzzy dalam mengikuti referensi suhu yang diberikan pada plant. Hasil pengujian respon gangguan sistem ditunjukkan pada gambar 30.



Gambar 30. Respon plant tanpa beban terhadap gangguan kontinyu pada referensi 50°C

Pada gambar 30, terlihat bahwa respon suhu pengeringan dengan gangguan terus menerus untuk referensi 50°C sulit untuk mencapai kondisi stabil pada referensi yang diberikan. Saat respon mencapai suhu 45°C, gangguan diakhiri yaitu dengan menutup pintu mesin pengering. Setelah itu respon mulai mengikuti referensi, dan pada detik ke 5678 respon sistem sudah stabil keadaan tunak.

## V. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian pada mesin pengering kertas berbasis kendali logika fuzzy didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut;

1. Pada pengujian tanpa beban ataupun dengan beban semakin besar referensi suhu yang diberikan maka waktu untuk mencapai keadaan tunak akan semakin lama, dimana keadaan suhu mula-mula pada nilai yang sama.
2. Hasil pengujian tanpa beban yang diperoleh untuk tiga keadaan suhu dan nilai referensi yang berbeda adalah;

- a. Referensi = 40°C, suhu awal = 32,2°C, respon system mempunyai karakteristik waktu naik ( $t_r$ ) = 200 detik, waktu puncak ( $t_p$ ) = 275 detik, dan waktu penetapan ( $t_s$ ) = 325 detik.
- b. Referensi = 45°C, suhu awal = 40°C, respon system mempunyai karakteristik waktu naik ( $t_r$ ) = 550 detik, waktu puncak ( $t_p$ ) = - , dan waktu penetapan ( $t_s$ ) = 560 detik.
- c. Referensi = 50°C, suhu awal = 45°C, respon system mempunyai karakteristik waktu naik ( $t_r$ ) = 1700 detik, waktu puncak ( $t_p$ ) = - , dan waktu penetapan ( $t_s$ ) = 1715 detik.

3. Untuk mendapatkan hasil kertas kering yang ideal yaitu pada suhu 33-35°C dengan kelembaban 41%, *setting* referensi suhu yang sesuai adalah 50°C, dimana pada proses pengeringan dengan referensi 50°C dihasilkan kertas dengan suhu 38.0°C dan kelembaban 40.9%. Sedangkan proses pengeringan dengan referensi 40°C didapatkan kertas dengan suhu 34.7°C dan kelembaban 49.2%. Pengeringan pada referensi 45°C didapatkan kertas dengan suhu 36.1°C dan kelembaban 43.5%.
4. Pengujian dengan gangguan sesaat, semakin tinggi nilai referensi maka penurunan suhu dan peningkatan kelembaban akan semakin besar dan waktu pemulihan akan semakin lama, hal ini dikarenakan pengaruh dari suhu dan kelembaban lingkungan yang tetap, sementara suhu dan kelembaban dalam ruang mesin berubah berdasarkan nilai referensi yang diberikan.
5. Pengujian dengan gangguan kontinyu, dimana nilai referensi = 50°C, respon suhu sulit mencapai referensi keadaan tunak yang diberikan.

## 5.2 Saran

Beberapa hal yang dapat disarankan dari pelaksanaan tugas akhir ini adalah:

1. Untuk memperoleh respon sistem yang lebih baik lagi, maka dapat dicoba dengan;
  - Mengubah dan mengatur basis aturan serta fungsi keanggotaan pada pengendali logika fuzzy.
  - Menggunakan aksi kontrol yang lain seperti kontrol jaringan saraf tiruan atau adaptive.
2. Sistem pengering kertas ini dapat dikembangkan lagi dengan menambah pengendalian tingkat kelembaban pada ruang mesin pengering, agar tingkat kelembaban dan suhu dapat diatur sesuai referensi.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Holman, J.P., "Perpindahan Kalor" (terjemahan) oleh Ir. E. Jasjfi, Erlangga, Jakarta, 1994.

- [2] Jamshidi, Mohammad, *Application of Fuzzy Logic*, Prentice-Hall International, Inc., New Jersey, 1980.
- [3] .....,Nader Vadiee, and Timothy J. Ross, *Fuzzy Logic And Control (Software And Hardware Application)*, Prentice-Hall International, Inc., New Jersey, 1993.
- [4] Kreith, Frank, *Prinsip-Prinsip Perpindahan Panas*, Erlangga, Jakarta, 1986.
- [5] Kusumadewi, Sri, Sri Hartati, Agus Harjoko, dan Retantyo Wardoyo, *Fuzzy Multi-Attribute Decision Making (Fuzzy MADM)*, Graha Ilmu, Yogyakarta, 2006.
- [6] Laksono, Suryo Krido, "Pengaturan sudut fasa berbasis logika fuzzy untuk sistem pengaturan temperatur", Skripsi S-1, UNDIP, Semarang, 2003.
- [7] Malvino, Albert Paul, *Prinsip-prinsip elektronika, Buku satu*, Salemba Teknika, Jakarta, 2003.
- [8] Mizutani, Eiji, J.S.R. Jang, and C.T. Sun, "Neuri-Fuzzy and Soft Computing", Prentice-Hall International.Inc, New Jersey, USA, 1997.
- [9] Ogata, Katsuhiko, *Teknik Kontrol Automatik Jilid 1*, diterjemahkan oleh Edi Leksono, Erlangga, Jakarta, 1994.
- [10] Perry, R., Green, D.W., and Maloney, J.O., *Perry's Chemical Engineers Handbook, 6<sup>th</sup> Edition*, Mcgraw-Hill, Japan, 1984.
- [11] Pranata, Antoni, *Pemrograman Borland Delphi 6 (Edisi 4)*, Andi, Yogyakarta, 2003.
- [12] ratomo, Andi, *Panduan Praktis Pemrograman AVR Mikrokontroler AT90S2313*, Andi, Yogyakarta, 2005.
- [13] Rashid, Mohammad H., *Elektronika Daya, jilid 1*, Prenhallindo, Jakarta, 1999.
- [14] Stoecker, Wilbert F., *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*, Erlangga, Jakarta, 1996.
- [15] Tim,2007, *Modul Pelatihan Mikrokontroler Avr Atmega8535 dan Codevision Avr*, Universitas Diponegoro, Semarang.
- [16] Wardhana, Lingga, *Belajar Sendiri Mikrokontroler AVR Seri ATmega8535*, Andi, Yogyakarta, 2006.
- [17] ....., <http://www.alldatasheet.com>
- [18] .....,<http://www.sensirion.com/>



**Ahmad Mashuri (L2F305182)**

Saat ini sedang menempuh studi pendidikan strata I di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Konsentrasi yang ditekuni adalah pada bidang kendali.

Mengetahui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

**Darjat, S.T., M.T**

NIP.132 231 134

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

**Sumardi, S.T., M.T.**

NIP. 132 125 670

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