

# Sistem Pengendalian Suhu Dan Kelembaban Pada Mesin Pengering Kertas

## Darjat

**Abstract:** An effective and efficient paper drying tool for printing industry is very important. Utilize of this tool is to dry the paper will be printed to get a dry paper that have ideal temperature and humidity level. With the result that will make easier the process of production and to get the optimal quality of printed result.

Focus of this Final Report is to design data acquisition humidity level and temperature system control to the paper drying machine based on fuzzy logic control using Atmega 8535 microcontroller, in order to get the paper that have ideal temperature and humidity level is about 33°C – 35.5°C and 41% of water content in 0.00075 inch of thickness for each of the sheet later (Perry's Chemical Engineers' Handbook: 12.34)<sup>[10]</sup>.

Observation result of fuzzy logic control in paper drying system show that bigger reference of temperature offered to the system so that the time to reach steady state condition will be more longer, where the initial condition of temperature at the same value. To get the dry ideal paper result, the setting reference of temperature that appropriate is 50°C, where the drying process with 50°C reference is resulted the paper with 38.0°C temperature and 40.9% of humidity.

**Keyword:** Paper drying system, Fuzzy logic control, ATmega 8535 microcontroller

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.

## DASAR TEORI Sistem Pengeringan

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

Darjat ([darjat@elektro.ft.undip.ac.id](mailto:darjat@elektro.ft.undip.ac.id)) adalah dosen di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang Jl. Prof. Sudharto, S.H. Tembalang Semarang 50275

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.

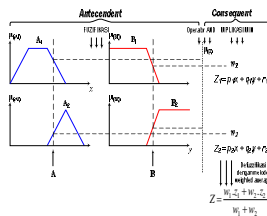
3. Radiasi

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 datang padanya.

**Kendali Logika Fuzzy**

*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 2.1.



**Gambar 2.1** Arsitektur Sugeno fuzzy inference system

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;

$$KeluaranTegas = \frac{\sum_i (Keluaran\ fuzzy)_i \times (Nilai\ parameter\ pada\ sumbu\ z_i)}{\sum_i (Keluaran\ fuzzy)_i}$$

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

**Sensor SHT-11**

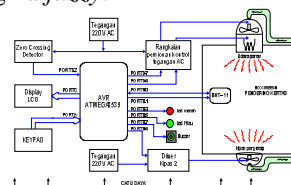


**Gambar 2.2** SHT (Sensor Humidity and Temperature) 11

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.

**PERANCANGAN ALAT**

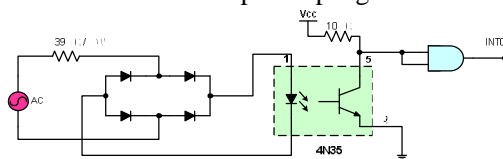
Blok diagram perancangan perangkat keras secara keseluruhan adalah seperti ditunjukkan pada gambar 3.1. Perangkat keras dirancang untuk membentuk sistem pengaturan temperatur dan pendeteksian tingkat kelembaban pada ruangan mesin pengering kertas dengan menggunakan kendali kogika *fuzzy*.



**Gambar 3.1.** Blok diagram rancangan hardware sistem pengeringan kertas

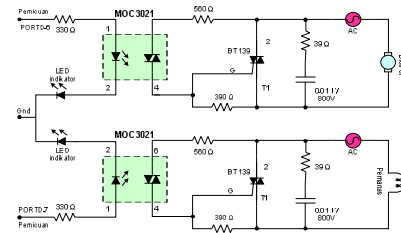
Spesifikasi perancangan perangkat keras dari sistem pengeringan kertas ini terdiri dari:

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 3.2. 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.

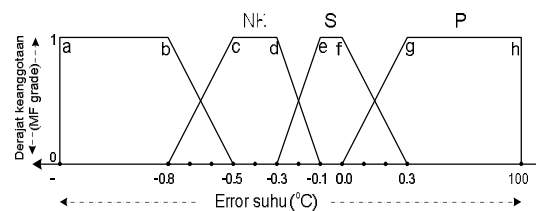


**Gambar 3.3. Rangkaian pengendali tegangan AC**

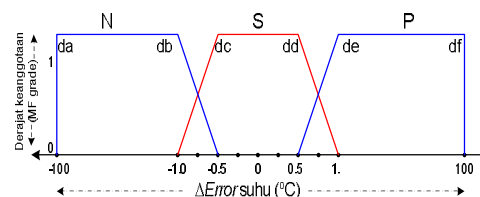
8. Sensor SHT 11 adalah sensor pendeteksi suhu dan kelembaban ruangan mesin pengering kertas, datanya dikirim ke mikrokontroler yang akan digunakan sebagai umpan balik dari sistem kendali logika *fuzzy*, kemudian ditampilkan ke LCD.
9. LCD (*liquid crystal display*) dan *driver* LCD berfungsi sebagai 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*).

**Program Kendali Logika Fuzzy**

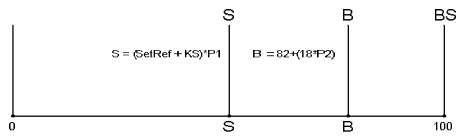
Pengendali logika fuzzy yang dirancang akan mengevaluasi dua masukan yaitu *error* dan perubahan *error*, serta satu keluaran berupa sinyal kontrol seperti diperlihatkan pada gambar dibawah ini.



**Gambar 3.4. Perancangan fungsi keanggotaan error**



**Gambar 3.5. Perancangan fungsi keanggotaan  $\Delta$ error**



Gambar 3.6. Nilai konstanta yang mewakili sinyal control (Co)

Fungsi-fungsi nilai konstanta sinyal kontrol dapat dijelaskan bahwa, K (kecil) berarti sinyal kontrol yang dikeluarkan adalah 0. S (sedang) dan B (Besar). Dimana nilai S dan B akan berubah-ubah tergantung dari besar referensi suhu yang diinginkan, dan BS (besar sekali) yang berarti bahwa sinyal kontrol yang keluar adalah 100%. Listing program untuk menentukan besarnya parameter sinyal kontrol 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 senarai program penentuan nilai parameter-parameter diatas, maka besar nilai konstanta S dan B dapat ditentukan dengan rumus :

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

$$B = 82 + (18 \times \text{P2})$$

Dengan KS: Konstanta Set Point; P1: Pengali 1; P2: Pengali 2

Rancangan basis aturan kendali logika menggunakan 12 aturan seperti pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Rancangan basis aturan kendali logika fuzzy

Error	$\Delta Error$			
$\Delta Error$	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

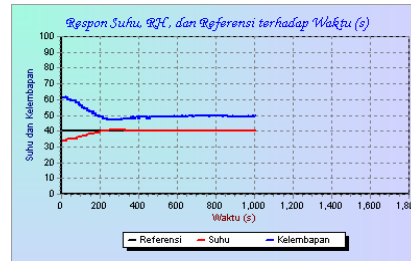
mengubah himpunan fuzzy keluaran menjadi keluaran tegas (*crisp*). Untuk mendapatkan nilai tegas (*crisp*) keluaran dari himpunan-himpunan fuzzy keluaran, digunakan metode rata-rata berbobot (*weight average*).

**PENGUJIAN DAN ANALISA**

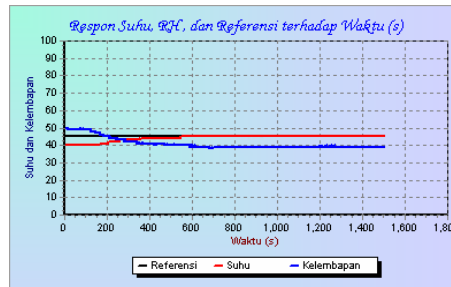
Pengujian ini dilakukan agar sistem pengering kertas nantinya dapat mengeringkan kertas (HVS atau buram) dengan suhu kertas kering normal sekitar 33-35,5°C dengan kelembaban relative 41,0%.

**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 4.1 Respon sistem tanpa beban dengan referensi 40°C



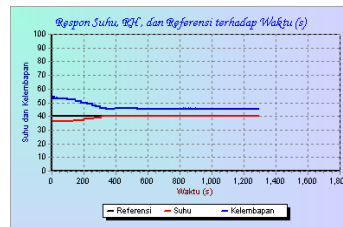
Gambar 4.2 Respon sistem tanpa beban dengan referensi 45°C

Gambar 4.1, 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%.

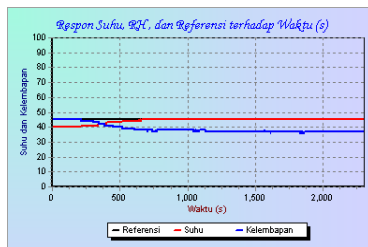
Pada gambar 4.2, referensi yang diberikan adalah 45°C dengan suhu dan kelembaban awal 40.0°C dan 50.0%, setelah detik ke 1500 pengujian untuk referensi 45°C dihentikan. Respon suhu terhadap referensi memiliki waktu naik 550 detik, waktu penetapan 560 detik, dan tidak ada kesalahan keadaan tunak. Suhu dan kelembaban yang terukur pada saat suhu berada pada waktu penetapan adalah 45.2°C dan 39.6%.

**Respon Sistem Pengering dengan Beban Kertas**

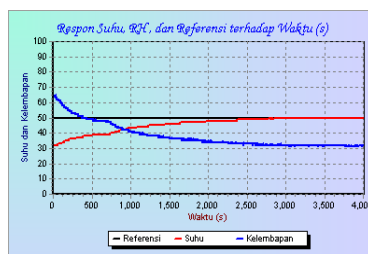
Tanggapan pengendali sistem pengering dengan beban (kertas) untuk nilai referensi suhu yang berbeda yaitu 40°C, 45°C, dan 50°C, dimana suhu dan kelembaban diluar ruang mesin pengering kertas/suhu dan kelembaban lingkungan adalah 29. 6°C dan 69.1%. Sedangkan suhu dan kelembaban kertas sebelum dikeringkan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



**Gambar 4.3 Respon sistem dengan beban untuk referensi 40°C**



**Gambar 4.4 Respon sistem dengan beban untuk referensi 45°C**



**Gambar 4.5 Respon sistem dengan beban untuk referensi 50°C**

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

**Table 4.1 Karakteristik tanggapan sistem pengeringan dengan beban**

Suhu awal (°C)	Ref (°C)	Waktu naik t <sub>r</sub> (detik)	Waktu penetapan t <sub>s</sub> (detik)	Lonjakan maks M <sub>p</sub> (%)
35.5	40.0	315	325	0
40.0	45.0	645	650	0
32.1	50.0	2818	2846	0

**Table 4.2 Pengujian pengeringan kertas**

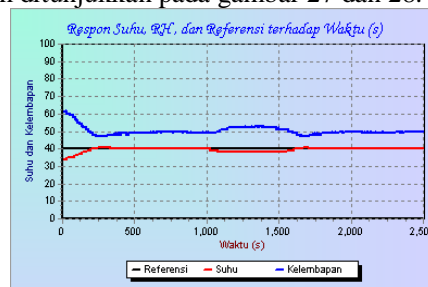
Ref. suhu (°C)	Kertas awal pengeringan		Kertas setelah dikeringkan	
	Suhu (°C)	RH (%)	Suhu (°C)	Kelembaban (%)
40	31.1	63.1	34.7	49.2
45	34.7	49.2	36.1	43.5
50	31.3	63.1	38.0	40.9

**Table 4.3 Pengujian pengeringan ruangan**

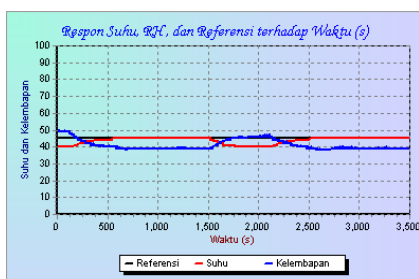
Ref. suhu (°C)	Pengeringan ruang awal		Pengeringan ruang akhir	
	Suhu (°C)	RH (%)	Suhu (°C)	RH (%)
40	35.5	55.1	40.1	45.4
45	40.1	45.5	45.1	38.6
50	32.1	64.6	50.0	32.9

**Respon sistem pengering terhadap gangguan**

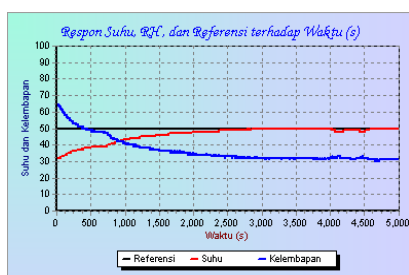
Pengaruh gangguan sesaat pada sistem pengeringan tanpa beban dengan variasi pemberian referensi suhu dilakukan dengan cara membuka pintu mesin pengering setelah suhu plant sudah mencapai keadaan stabil pada referensi yang diberikan. Pemberian gangguan sesaat dilakukan selama 500 sekon, setelah itu pintu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



**Gambar 4.6 Respon sistem tanpa beban terhadap gangguan sesaat pada referensi 40°C**



**Gambar 4.7 Respon plant tanpa beban terhadap gangguan sesaat pada referensi 45°C**



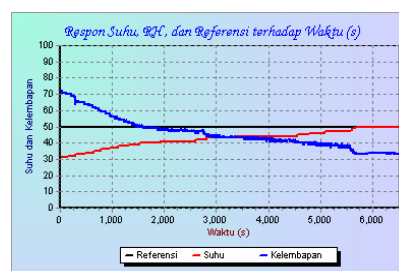
**Gambar 4.8 Respon plant dengan beban terhadap gangguan sesaat pada referensi 50°C**

Pada gambar 4.3, 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 kelembaban 53.3%. Setelah itu pintu mesin pengering ditutup lagi, dan waktu pemulihan menuju kestabilan selama 200 detik setelah terjadi lonjakan.

Gambar 4.5, 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 4.9.



**Gambar 4.9 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.

#### PENUTUP

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. 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%.

3. 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.
  4. Pengujian dengan gangguan kontinyu, dimana nilai referensi = 50°C, respon suhu sulit mencapai referensi keadaan tunak yang diberikan.
- Pranata, Antoni, *Pemrograman Borland Delphi 6 (Edisi 4)*, Andi, Yogyakarta, 2003.
- Pratomo, Andi, *Panduan Praktis Pemrograman AVR Mikrokontroler AT90S2313*, Andi, Yogyakarta, 2005.
- Rashid, Mohammad H., *Elektronika Daya, jilid 1*, Prenhallindo, Jakarta, 1999.

#### DAFTAR RUJUKAN

- Holman, J.P., “*Perpindahan Kalor*” (terjemahan) oleh Ir. E. Jasjfi, Erlangga, Jakarta, 1994.
- Jamshidi, Mohammad, *Application of Fuzzy Logic*, Prentice-Hall International, Inc., New Jersey, 1980.
- ....., Nader Vadiie, and Timothy J. Ross, *Fuzzy Logic And Control (Software And Hardware Application)*, Prentice-Hall International, Inc., New Jersey, 1993.
- Kreith, Frank, *Prinsip-Prinsip Perpindahan Panas*, Erlangga, Jakarta, 1986.
- Kusumadewi, Sri, Sri Hartati, Agus Harjoko, dan Retantyo Wardoyo, *Fuzzy Multi-Attribute Decision Making (Fuzzy MADM)*, Graha Ilmu, Yogyakarta, 2006.
- Laksono, Suryo Krido, “*Pengaturan sudut fasa berbasis logika fuzzy untuk sistem pengaturan temperatur*”, Skripsi S-1, UNDIP, Semarang, 2003.
- Malvino, Albert Paul, *Prinsip-prinsip elektronika, Buku satu*, Salemba Teknika, Jakarta, 2003.
- Mizutani, Eiji, J.S.R. Jang, and C.T. Sun, “*Neuro-Fuzzy and Soft Computing*”, Prentice-Hall International, Inc, New Jersey, USA, 1997.
- Ogata, Katsuhiko, *Teknik Kontrol Automatik Jilid 1*, diterjemahkan oleh Edi Leksono, Erlangga, Jakarta, 1994.
- Perry, R., Green, D.W., and Maloney, J.O., *Perry's Chemical Engineers Handbook, 6<sup>th</sup> Edition*, Mcgraw-Hill, Japan, 1984.