

PROTOTYPE SISTEM KENDALI TEMPERATUR BERBASIS FUZZY LOGIC PADA SEBUAH INKUBATOR

Anies Hannawati, Thiang, Resmana
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS KRISTEN PETRA

Abstrak

Makalah ini menyajikan framework teknik perancangan kendali temperatur berbasis fuzzy logic yang diaplikasikan pada sebuah inkubator. Dengan fuzzy logic memungkinkan dibuat sistem kendali cerdas yang mengemulasikan kepandaian seorang pakar dalam mengendalikan temperatur. Pengetahuan seorang pakar kendali diekstrak (knowledge acquisition) dan ditransformasikan ke dalam bentuk membership function dan fuzzy if-then rules yang selanjutnya diproses untuk menghasilkan aksi kendali.

Penekanan utama makalah ini terletak pada metodologi perancangan kendali fuzzy yang terdiri dari pemahaman sistem plant yang akan dikendalikan, identifikasi input/output, penentuan membership function dan pembentukan fuzzy if-then rules. Pada proses perancangan ini penulis dibantu dengan program PetraFuz, yaitu sistem pengembangan kendali fuzzy logic dengan menggunakan sistem mikrokontroler MCS51 yang dikembangkan pada institusi penulis.

Proses kendali fuzzy dilakukan oleh sistem mikrokontroler MCS51 yang dilengkapi dengan interface digital dan analog. Sebuah sensor temperatur LM335 dan aktuator pemanas berupa bola lampu digunakan disini. Percobaan menunjukkan bahwa kendali fuzzy logic relatif mudah dan fleksibel dirancang, dengan tidak melibatkan model matematik rumit dari sistem yang akan dikendalikan. Untuk mencapai setting point 57° dibutuhkan waktu dua menit dengan steady state error 3° . Pemberian disturbance dapat ditangani dengan cukup baik tanpa diikuti degradasi respon kendali yang berarti. Penggunaan tools PetraFuz pada prototipe ini sangat membantu proses rancang bangun sistem kendali fuzzy. Respon kendali secara langsung bisa diamati pada layar monitor PC dan secara interaktif proses penalaan membership function dan if-then rules dapat dilakukan untuk mencapai respon yang optimum.

Kata Kunci: *fuzzy logic controller, temperature control, microcontroller MCS51*

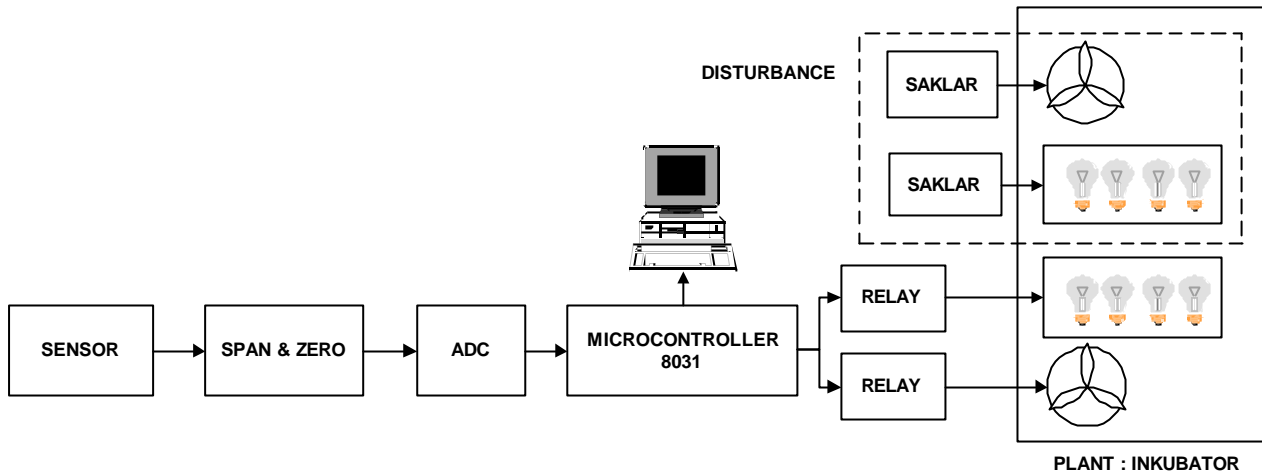
1. PENDAHULUAN

Penggunaan teknik kendali Fuzzy Logic telah cukup meluas pada berbagai aplikasi mulai dari kendali proses industri, elektronika rumah tangga, kendali robot dan lain-lain⁽¹⁾. Dalam makalah ini diberi suatu contoh aplikasi sederhana yang menggunakan kendali fuzzy, yaitu sistem pengaturan temperatur udara pada sebuah inkubator. Dimana nantinya sistem ini dapat diterapkan pada berbagai aplikasi kendali bidang pertanian, misalnya: inkubator, penetasan anak ayam, cold/hot storage dan sebagainya. Sistem kendali bidang pertanian saat ini sudah melewati perkembangan yang pesat, akan tetapi kendali fuzzy di bidang pertanian belum banyak dikembangkan. Padahal proses kendali ini relatif mudah dan fleksibel dirancang, dengan tidak melibatkan model matematik rumit dari sistem yang akan dikendalikan. Penggunaan tools PetraFuz pada prototipe ini sangat membantu proses rancang bangun sistem kendali fuzzy. Respon kendali secara langsung bisa diamati pada layar monitor PC.

2. METODE PERANCANGAN SISTEM

Perancangan prototipe sistem kendali temperatur inkubator ini diawali dengan pemahaman plant yang akan dikendalikan. Di sini digunakan sebuah kotak inkubator berukuran 25 cm x 50 cm x 30 cm yang terbuat dari kaca. Sebagai pemanas digunakan empat buah bola lampu masing-masing 100 Watt. Plant juga dilengkapi dengan pendingin berupa kipas. Sebagai sensor suhu digunakan sebuah solid state temperatur sensor LM335. Agar dapat diamati pengaruh pemberian gangguan dari luar, plant ini dilengkapi dengan sumber disturbance berupa empat buah lampu masing-masing 100 Watt dan sebuah kipas.

Langkah berikutnya, dilanjutkan dengan identifikasi input/output bagi kendali Fuzzy. Di sini digunakan dua input yaitu sinyal Error, yaitu berupa selisih antara Setting Point dan Present Value dan sinyal D_error yang merupakan kecepatan perubahan sinyal Error. Untuk output digunakan dua buah yaitu output lampu yang merupakan langkah perubahan penyalakan lampu serta output kipas (on atau off).



Gambar 1 Blok Diagram Perangkat Keras

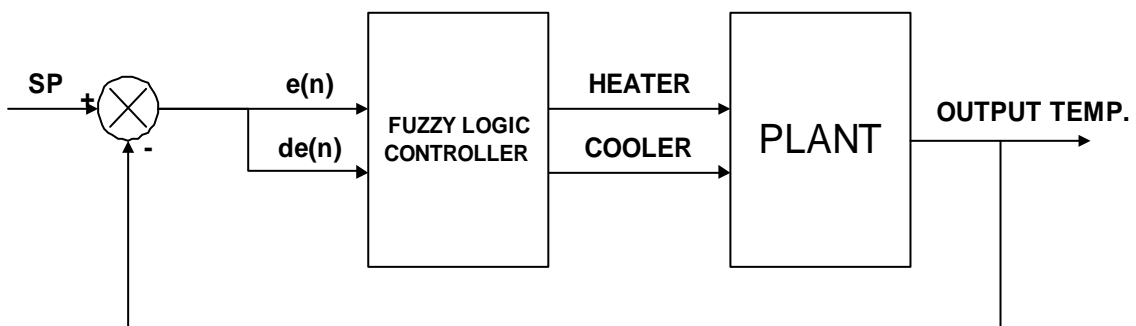
Setelah I/O fuzzy teridentifikasi, langkah selanjutnya adalah membangun I/O membership function dan fuzzy if-then rules dengan bantuan program Petra Fuz yang akan dijelaskan kemudian. Selanjutnya PetraFuz membentuk program bahasa assembly MCS51 yang akan digabungkan dengan user program, lalu dicompile dan didownload menuju target sistem Mikrokontroler MCS51.

2.1 Perangkat Keras

Blok diagram perangkat keras yang dibuat seperti pada gambar 1 di atas. Sensor yang digunakan adalah sensor suhu LM335, dimana range output tegangan yang didapat adalah 0-2,5 Volt. Untuk menyesuaikan dengan range ADC 0-5 Volt maka digunakan rangkaian *Span and Zero*. Output ADC berupa data 8 bit yang diinputkan pada Mikrokontroler 8031. Dalam Mikrokontroler terdapat program fuzzy yang digunakan untuk

mengontrol suhu, yaitu dengan menyalakan atau mematikan kipas atau lampu. Penyalakan kipas dan lampu dilakukan melalui relay. Setting Point (SP), Present Value (PV), error, d_error sistem akan dimonitor oleh program PetraFuz pada PC. Sistem juga dilengkapi dengan gangguan dari luar (disturbance) yaitu berupa empat buah lampu dan satu kipas yang dapat dinyalakan atau dimatikan sewaktu-waktu melalui saklar, sistem kendali temperatur berbasis fuzzy dapat dilihat pada gambar 2.

Saat SP diinputkan ke dalam sistem, maka sistem akan menghitung error dan d_error. Kedua variabel ini menjadi input akan dalam *Fuzzy Logic Controller* yang berupa perangkat lunak sistem. Output dari FLC memberikan aksi kendali pada plant, dalam hal ini mengaktifkan relay-relay untuk mematikan atau menyalakan kipas/lampu. Temperatur output plant akan diumpambalikkan guna menghitung sinyal error dan d_error.



Gambar 2 Blok Diagram Plant Dan Sistem Kendali Fuzzy

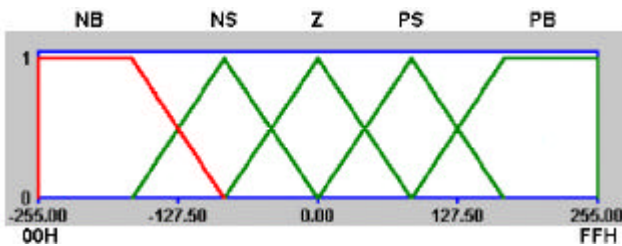
2.2 Perangkat Lunak

2.1.1 Pembuatan Membership Function (MF)

Pembuatan perangkat lunak FLC diawali dengan membentuk membership function dari crisp input dan output. Pada plant yang kami gunakan, terdapat dua buah crisp input dan dua buah crisp output. Crisp input yang digunakan yaitu Error dan D_error sedangkan crisp output yang digunakan yaitu Lampu dan Kipas. Tidak seperti kontroler konvensional yang membutuhkan batasan yang tepat dari input dan outputnya, FLC menggunakan pendekatan secara lebih sederhana yaitu dengan menggunakan batasan-batasan negatif, nol dan positif. Pada desain ini, digunakan segitiga dan trapesium untuk MF input dan bentuk singleton untuk MF output. Alasan digunakan bentuk singleton pada MF output yaitu untuk memudahkan perhitungan COG (*Center of Gravity*) dari output.

- Input Error

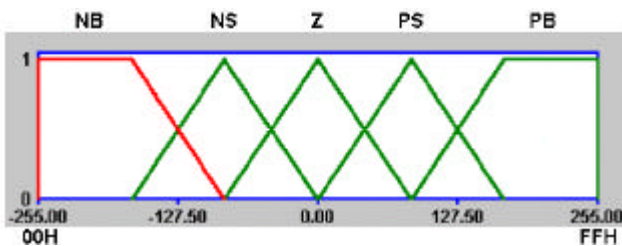
Jumlah label membership function yang digunakan untuk error adalah lima buah yaitu dengan label Negative Big (NB), Negative Small (NS), Zero (Z), Positive Small (PS), dan Positive Big (PB), dengan batasan 00H-FFH. Bentuk membership function yang digunakan yaitu trapesium dan segitiga (lihat gambar 3).



Gambar 3 Input Error Membership Function

- Input D_error

Untuk crisp input d_error, membership function yang digunakan sama dengan crisp input error, yaitu Negative Big (NB), Negative Small (NS), Zero (Z), Positive Small (PS), dan Positive Big (PB). Untuk lebih jelasnya lihat gambar 4.



Gambar 4 Input D_error Membership Function

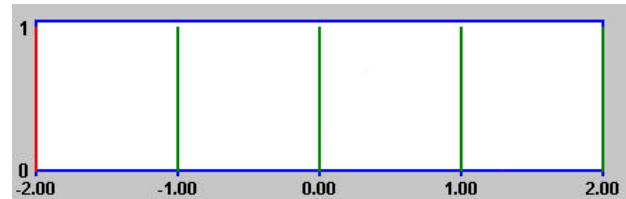
Batasan-batasan yang digunakan untuk input membership function dapat dilihat di tabel 1.

Tabel 1 Batasan Input Membership Function

Label	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4
NB	-255.00	-255.00	-170.00	-85.00
NS	-170.00	-85.00	-85.00	0.00
Z	-85.00	0.00	0.00	85.00
PS	0.00	85.00	85.00	170.00
PB	85.00	170.00	255.00	255.00

- Output Lampu

Jumlah output membership function yang digunakan untuk Lampu adalah lima buah yaitu dengan label Negative Big (NB), Negative Small (NS), Zero (Z), Positive Small (PS), dan Positive Big (PB), dalam bentuk singleton.



Gambar 5 Output Membership Function Lampu

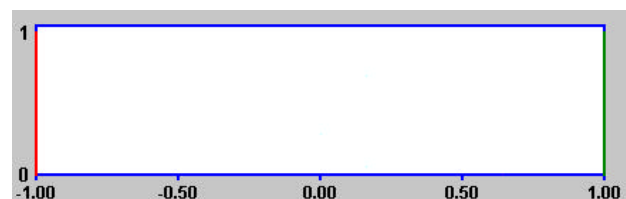
Batasan yang digunakan untuk output membership function dari lampu dapat dilihat di tabel 2.

Tabel 2 Batasan Output Membership Function Lampu

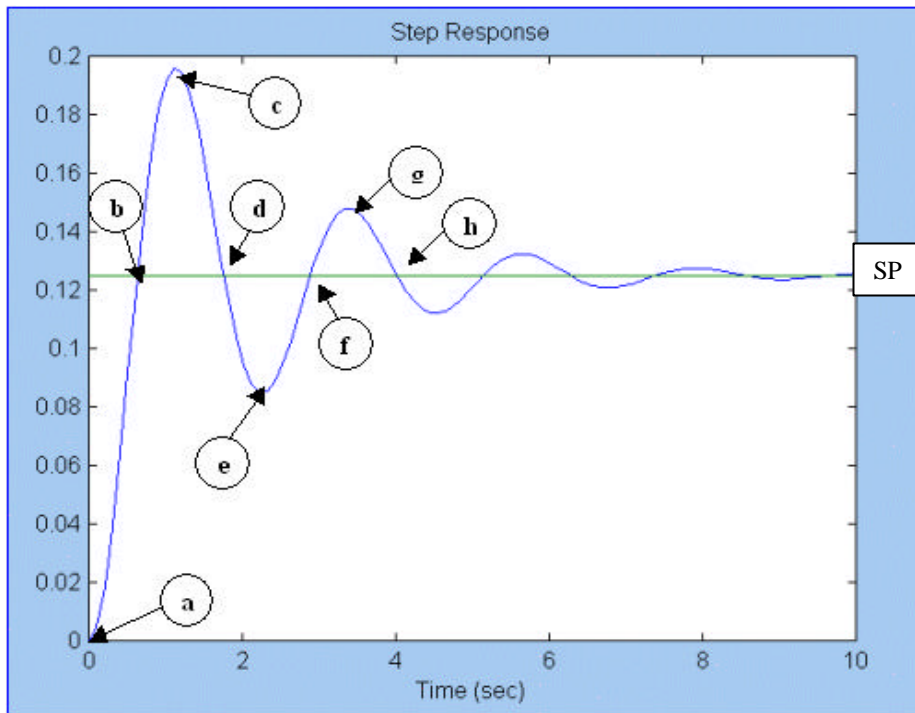
Label	Point	Arti
NB	-2.00	Matikan dua buah lampu
NS	-1.00	Matikan satu buah lampu
Z	0.00	Tetap pada kondisi terakhir
PS	1.00	Nyalakan satu buah lampu
PB	2.00	Nyalakan dua buah lampu

- Output Kipas

Untuk output Kipas digunakan dua buah membership function yaitu Negative (N) dan Positive (P) dalam bentuk singleton dengan batasan Negative (N) = -1.00 yang artinya matikan kipas dan Positive (P) = 1.00 yang artinya nyalakan kipas.



Gambar 6 Output Membership Function Kipas



Gambar 7 Grafik Respon Output terhadap Waktu

2.1.2 Pembuatan Rules ⁽²⁾

Setelah selesai membuat input dan output membership function, langkah selanjutnya yaitu membuat rules. Proses pembuatan rules dilakukan dengan menerapkan kemampuan manusia dalam mengendalikan suatu sistem kendali. Secara umum respon fungsi step suatu sistem kendali akan memberikan output seperti yang terlihat pada gambar 7. Pada saat sistem diaktifkan (output=0 dan waktu=0), output akan naik dengan cepat menuju setting point (SP), bahkan jauh melebihi SP. Output ini oleh kontroler akan diturunkan menuju SP, tetapi proses penurunan ini juga mengalami kelebihan sehingga outputnya akan berosilasi di sekitar SP, hingga akhirnya outputnya mencapai SP. Apa yang dilakukan oleh kontroler untuk menaikkan dan menurunkan output harus sesuai dengan harga output saat itu dan sebelumnya (tergantung dari error dan d_error), sehingga kontroler dapat mengambil tindakan yang tepat untuk menyesuaikan outputnya.

Harga Error dan D_error ditentukan dari persamaan :

$$Error = SP - PV \quad (1)$$

$$D_error = e(n) - e(n-1) \quad (2)$$

Keterangan :

- SP = Harga Setting Point
- PV = Harga Output pada saat t
- e(n) = Harga error pada saat t
- e(n-1) = Harga error pada saat t-1

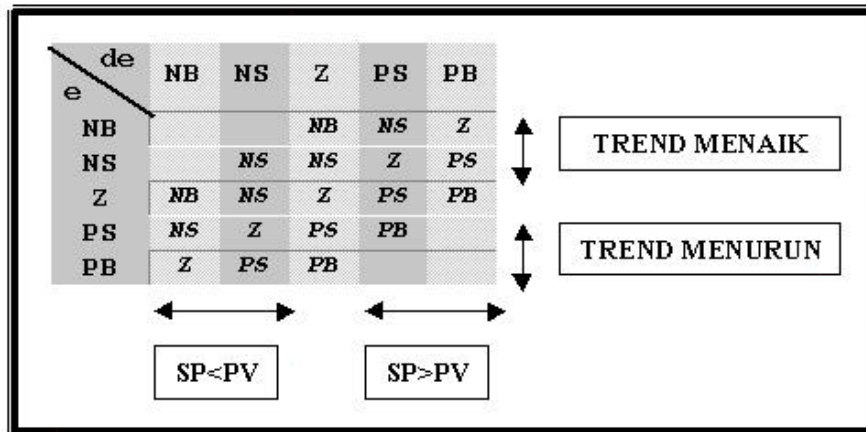
Dari gambar 7, terlihat jika Error adalah positif besar, dan D_error adalah nol, maka output yang harus

dikeluarkan adalah positif dan besar (point a), atau bila dituliskan dalam bentuk rule yaitu :

IF error e(n) is Positive Big (PB) **AND** d_error De(n) is Zero (Z) **THEN** Output u(n) is Positive Big (PB), untuk lebih jelasnya perhatikan tabel 3.

Tabel 3 Rules

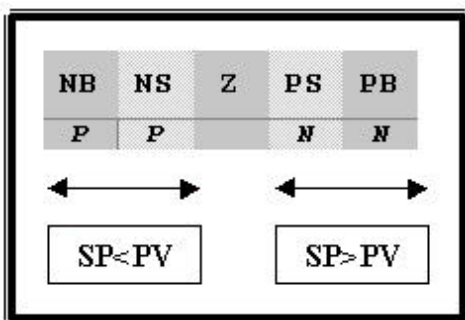
RULE	e(n)	De(n)	u(n)	POINT
1.	PB	Z	PB	A
2.	Z	NB	NB	B
3.	NB	Z	NB	C
4.	Z	PB	PB	D
5.	PS	Z	PS	E
6.	Z	NS	NS	F
7.	NS	Z	NS	G
8.	Z	PS	PS	H
9.	Z	Z	Z	SP
10.	PB	NS	PS	A-B
11.	PB	NB	Z	A-B
12.	PS	NB	NS	A-B
13.	NS	NS	NS	B-C
14.	NB	PS	NS	C-D
15.	NB	PB	Z	C-D
16.	NS	PS	Z	C-D
17.	NS	PB	PS	C-D
18.	PS	PS	PS	D-F
19.	PS	NS	Z	E-F



Gambar 8 Rules untuk Output Lampu

Untuk lebih memudahkan penyusunan rules, maka sering kali digunakan sistem matrix seperti terlihat pada gambar 8 dan gambar 9. Pada plant yang dirancang, digunakan dua buah output yaitu lampu dan kipas sehingga rules yang ada terbagi dua yaitu masing-masing untuk output lampu dan kipas. Untuk output lampu kami menggunakan 19 buah rules seperti terlihat pada gambar 8, dengan memperhatikan input error dan d_error. Sedangkan untuk output kipas, kami menggunakan lima buah rules yang hanya memperhatikan input error (lihat gambar 9).

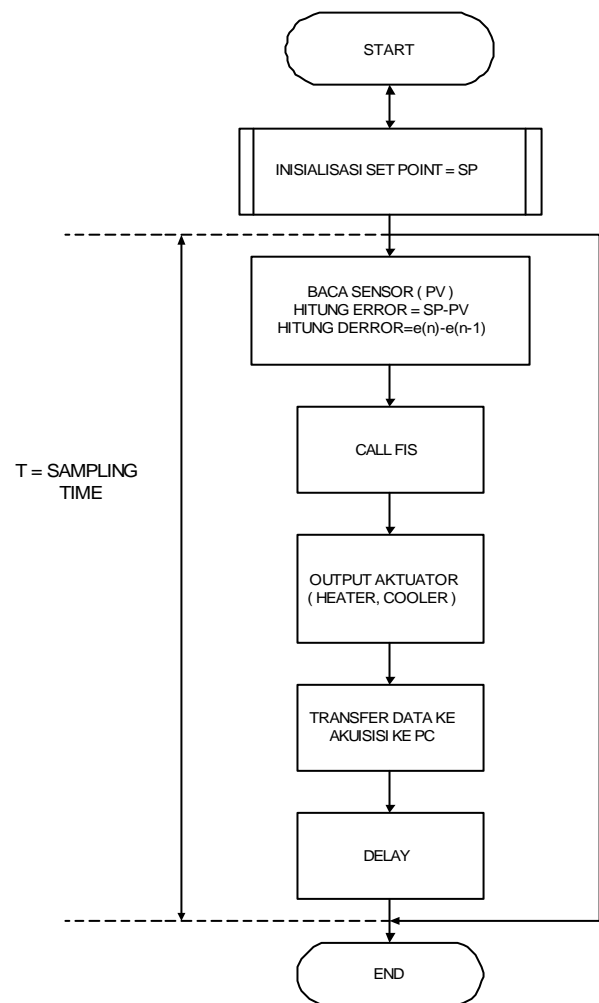
respon sistem atau memonitor harga SP, PV, error dan d_error beserta hasil defuzzification maka data-data tersebut perlu ditransfer ke PC melalui serial RS 232 agar dapat diakuisisi oleh program PetraFuz. Kegiatan ini dilakukan terus-menerus dengan selang waktu T merupakan periode sampling. Di sini digunakan T = 0,5 detik. Program utama dapat dilihat pada gambar 11.



Gambar 9 Rules untuk Output Kipas

2.1.3 Pembuatan Program Assembly

Secara singkat diagram alir dari program yang dibuat seperti pada gambar 10. Pada saat awal dilakukan inialisasi dengan memasukkan harga SP. Kemudian program akan dilanjutkan dengan membaca keadaan suhu saat itu dari sistem (PV), melakukan perhitungan error dan d_error. Setelah harga-harga Error dan D_error siap, program akan memanggil prosedur fuzzy (LCALL FIS). Prosedur fuzzy ini terdapat dalam Kernel System target yang berada pada alamat 40A H. Dalam prosedur ini harga error dan d_error akan melalui proses *fuzzification*, *rules evaluation* dan *defuzzification*. Kemudian dari hasil defuzzification digunakan untuk menentukan tindakan yang akan dilakukan, yaitu mematikan atau menyalakan kipas/lampu. Untuk melihat



Gambar 10 Diagram Alir Program

```

FIS EQU 40AH ;Alamat prosedur fuzzy dalam Kernel sistem target.
INCLUDE SUHU.ASM ;Assembly code hasil generate PetraFuz
START
MOV SP#65h
ACALL DELAY
MOV TMOD#00100010B
MOV TL1#0FDH ;T1 mode2 generate BR=9600 Bps
MOV TH1#0FDH
MOV TCON#01000000B
MOV SCON#01000000B
MOV PCON#00H
ACALL DELAY
MOV A#098H ;Inisialisasi PPI
MOV DPTR#CW
MOVX @DPTR,A
MOV SPOINT#073H ;SET SP = 57 Celcius
MOV OUT#0 ;OUTPUT = 0
BACA ACALL READADC ;Prosedur membaca suhu aktual
ACALL COUNT_ERR_DERR ;Prosedur menghitung crisp input error
; dan d_error
LCALL FIS ;Menjalankan prosedur Fuzzy Logic meliputi proses
; Fuzzifikasi, Evaluate Rule, Defuzzifikasi
ACALL OUTDATA ;Mengeluarkan data hasil proses Fuzzy Logic
; sebagai aksi dari sistem kendali
ACALL DELAY
AJMP BACA

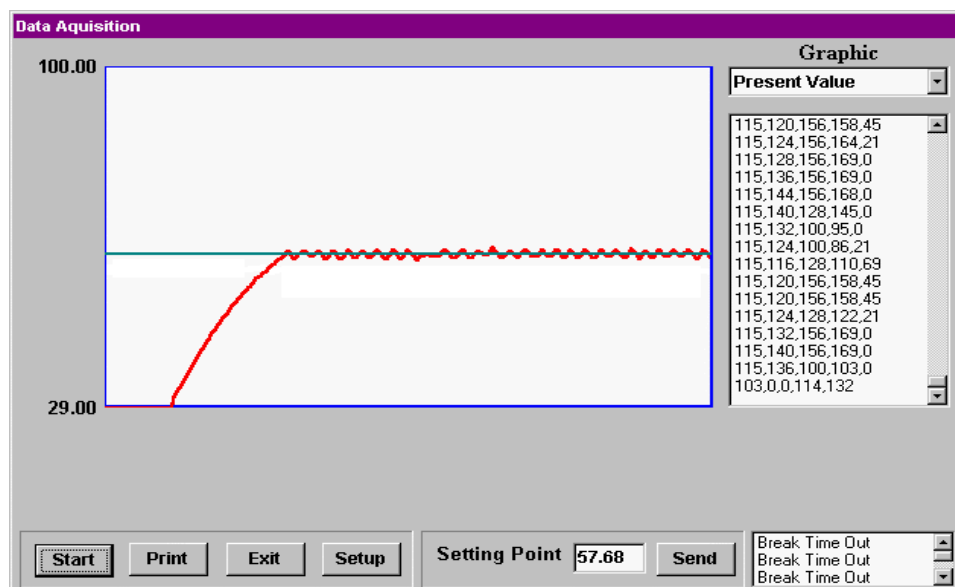
```

Gambar 11 Potongan Program Utama

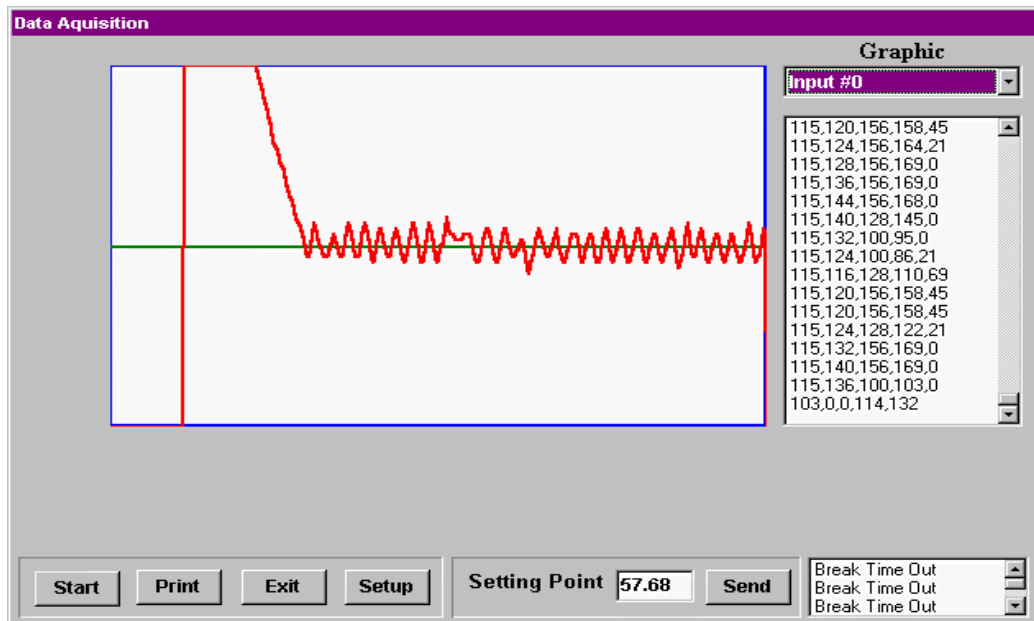
3. HASIL-HASIL

Eksperimen dilakukan dengan memanfaatkan tools yang disediakan oleh sistem PetraFuz sehingga respon dari sistem kendali temperatur udara dapat dimonitor secara terus-menerus melalui PC. Berikut ini adalah beberapa gambar hasil akuisi data dari eksperimen yang dilakukan. Gambar 12 adalah grafik respon sistem kendali temperatur udara yang telah dirancang yaitu nilai

PV terhadap waktu. Garis lurus menunjukkan SP dari sistem. Dari grafik ini terlihat bahwa sistem kendali bekerja cukup baik. Harga PV mendekati harga SP dengan sedikit osilasi. Respon sistem untuk mencapai harga yang diinginkan dapat dilakukan dengan cepat dan baik. Untuk SP 57° dapat dicapai dalam 2 menit dengan steady state error 3°.



Gambar 12 Grafik Respon Sistem PV dan SP terhadap Waktu

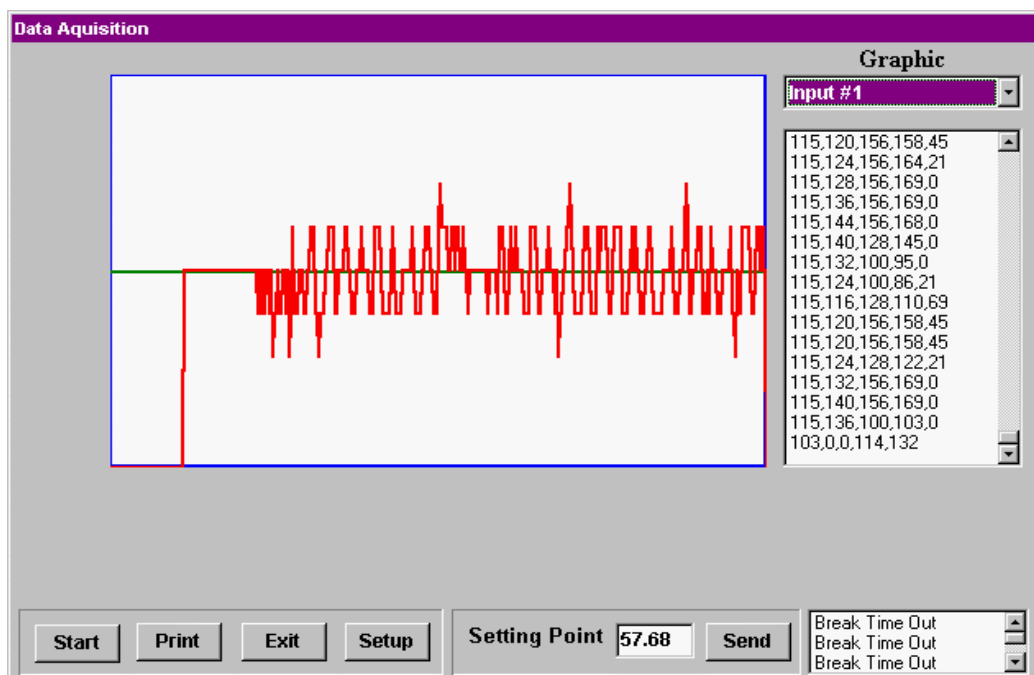


Gambar 13 Grafik Error terhadap Waktu

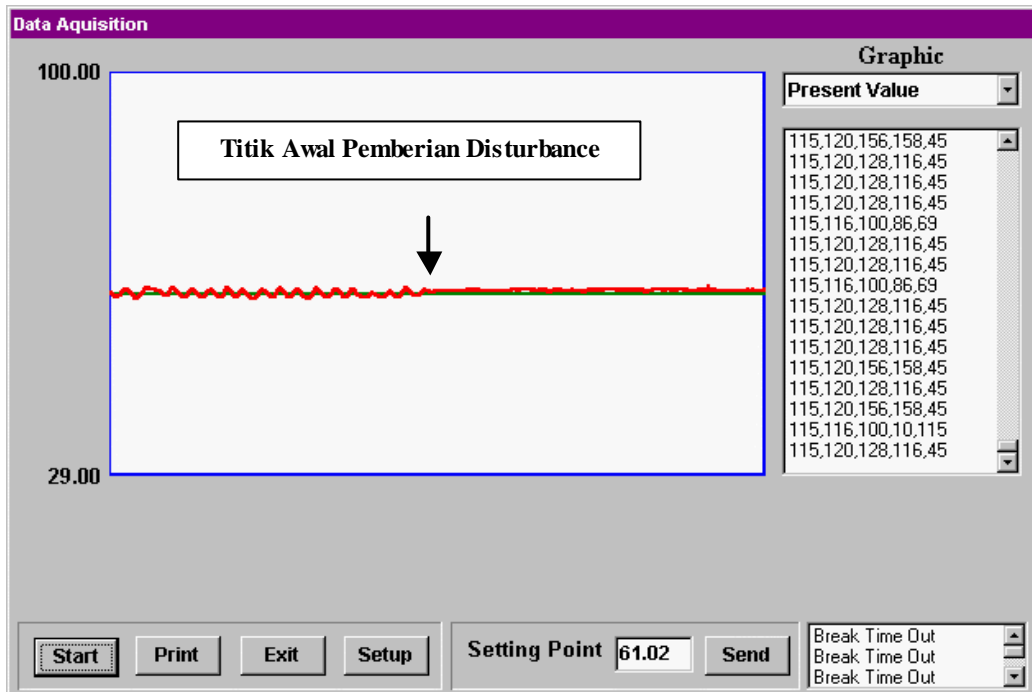
Gambar 13 merupakan grafik error terhadap waktu. Terlihat bahwa pada saat awal harga error bernilai positif sangat besar. Hal ini terjadi karena pada saat pertama kali harga PV jauh di bawah harga SP. Beberapa saat kemudian sistem kendali dapat berjalan dengan baik dan berhasil menurunkan error mendekati nol. Garis lurus adalah posisi pada saat nilai error nol.

Gambar 14 menunjukkan grafik d_error terhadap waktu. Garis lurus menunjukkan nilai nol dari d_error .

Pada saat awal harga d_error adalah nol kemudian untuk beberapa saat selalu negatif baru kemudian harga d_error berubah-ubah dari nilai negatif ke positif kembali ke negatif demikian seterusnya. Saat d_error negatif berarti sistem kendali sedang berusaha menaikkan suhu aktual (PV) menuju ke SP. Sedangkan saat d_error positif berarti sistem kendali sedang menurunkan suhu menuju ke SP.



Gambar 14 Grafik D_error terhadap Waktu

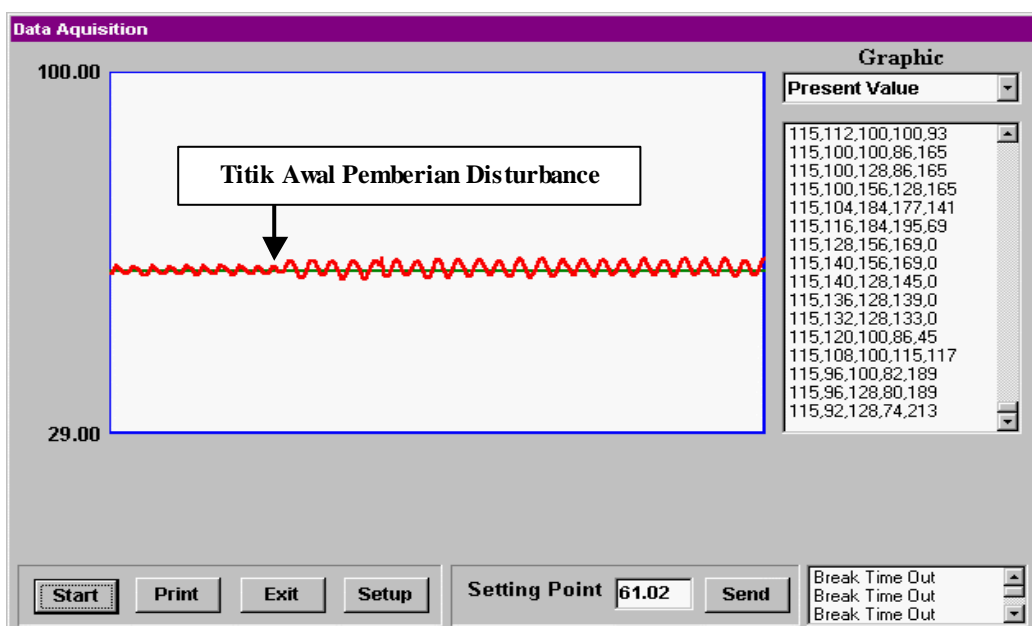


Gambar 15 Grafik Respon Sistem dengan Gangguan Dua Lampu

Eksperimen selanjutnya dilakukan dengan memberikan gangguan pada sistem yang dikendalikan. Gangguan tersebut berupa panas dari luar sistem yang disimulasikan dengan menyalakan lampu disturbance. Gambar 15 merupakan grafik respon sistem (nilai PV terhadap waktu) jika sistem diberi gangguan berupa dua lampu yang dinyalakan bersama-sama.

Dari gambar terlihat bahwa sistem kendali yang dirancang bekerja cukup baik dalam mengatasi gangguan yang timbul dari luar sistem. Eksperimen selanjutnya

dengan menambahkan gangguan sehingga sistem mendapatkan gangguan yang lebih besar. Dalam hal ini gangguan berupa empat lampu yang dinyalakan. Gambar 16 menunjukkan grafik respon sistem bila sistem diberi gangguan dari luar berupa empat buah lampu dinyalakan bersama-sama. Dari grafik tersebut terlihat bahwa respon sistem kendali masih dapat dikatakan bekerja dengan baik karena sistem kendali dapat mempertahankan harga PV selalu mendekati SP. Bila dibandingkan dengan gangguan dua lampu, tentu hasilnya lebih buruk.



Gambar 16 Grafik Sistem dengan Gangguan Empat Lampu

4. KESIMPULAN

Dari hasil hasil eksperimen yang sudah dilakukan terdapat beberapa hal yang perlu dicatat antara lain:

- Proses eksperimen menunjukkan bawah teknik kendali fuzzy logic relatif mudah untuk dirancang. Dengan menerapkan asas-asas atau logika umum, fuzzy rules dapat dibentuk dengan mudah.
- Penggunaan sistem pengembangan fuzzy logic PetraFuz cukup membantu dalam melakukan perancangan dan implementasi kendali temperatur inkubator ini. Proses kendali dapat diamati secara online dimana hal ini sangat dibutuhkan dalam penalaan fuzzy.
- Dari hasil pengujian tampak bahwa kendali fuzzy mampu mengatasi gangguan dari luar dengan degradasi respon kendali yang tidak terlalu signifikan.
- Penelitian ini terbuka luas untuk pengembangan lebih lanjut, terutama pada aplikasi kendali temperatur pada bidang pertanian. Aturan fuzzy dapat disesuaikan dengan respon kendali yang dikehendaki sesuai dengan plant yang hendak dikendalikan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada asisten laboratorium Sistem Kontrol jurusan Teknik Elektro Universitas Kristen Petra yaitu Ban Eng, Jaury Adi Wijaya, Silviya, Kardy Antolis, Darwin, Eric PS atas dukungan dan kerja samanya selama proyek ini dikerjakan sehingga proyek ini bisa diselesaikan. Tak lupa juga ucapan terima kasih kepada laboran laboratorium Sistem Kontrol, bapak Heri Soehartono atas dukungan dan bantuan yang diberikan selama pengerjaan proyek ini. Serta terima kasih kami tujukan kepada teman-teman dosen Jurusan Teknik Elektro atas dukungan membangun sehingga proyek ini terlaksana.

DAFTAR PUSTAKA

1. Klir, George J, "Fuzzy Sets and Fuzzy Logics : Theory and Applications", NJ : Prentice Hall, 1995.
2. Wang, Paul P. & Dai, Jing, "Design of Fuzzy Controller According to the Parameters of A Feedback System", Technical Report Electrical Engineering Department, Duke University, 1994.
3. Advanced Micro Device, "Microcontrollers Handbook", California : Advanced Micro Device, 1988.
4. Thiang, Anies Hannawati, Resmana, "Pembuatan Program Kernel Fuzzy Logic PetraFuz untuk Microcontroller MCS51", Technical Report Control

System Laboratory, Petra Christian University,
1998.

KONTAK PERSON

Anies Hannawati, S.T. ; Thiang, S.T. ; Ir. Resmana, MEng.

Laboratorium Sistem Kontrol

Jurusan Teknik Elektro

Universitas Kristen Petra

Siwalankerto 121-131, Surabaya

Telp. (031) 8439040

Fax. (031) 8436418

E-mail: thiang@peter.petra.ac.id

anies@peter.petra.ac.id

resmana@peter.petra.ac.id