

Pengaturan Sudut Fasa Berbasis Logika Fuzzy untuk Sistem Pengaturan Temperatur

Suryo Krido Laksono, Sumardi ST. MT, Aris Triwiyatno ST

Laboratorium Teknik Kontrol Otomatik
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Abstrak — Pada banyak aplikasinya, sistem pengaturan temperatur menggunakan pemanas (*heater*) listrik dan umumnya untuk pengaturan tegangan pemanas digunakan prinsip pengaturan secara *on-off*. Namun karena keterbatasan range pengaturan tegangan yang dapat diberikan, maka kontrol tegangan secara *on-off* kurang dapat memberikan akurasi nilai keluaran yang dibutuhkan sistem pengaturan, sehingga untuk beberapa aplikasinya dapat menimbulkan tanggapan sistem pengaturan temperatur yang berosilasi. Terdapat alternatif lain untuk pengaturan tegangan pemanas, yaitu dengan kontrol tegangan secara sudut fasa. Kontrol secara sudut fasa memberikan range pengaturan tegangan yang lebih luas, sehingga dapat memberikan akurasi nilai keluaran yang dibutuhkan oleh sistem pengaturan, dengan demikian dimungkinkan untuk memperoleh tanggapan sistem yang lebih halus (*amplitudo osilasi yang minimum*). Karena itu, dalam tugas akhir dirancang perangkat keras dan perangkat lunak pembentuk sistem pengaturan temperatur yang pengaturan tegangan pemanasnya dilakukan secara kontrol sudut fasa. Sebagai penentu besarnya tegangan secara sudut fasa maka digunakan aksi kontrol yang berbasis pada logika fuzzy. Untuk mengetahui kemampuan dari sistem pengaturan temperatur yang dirancang, maka sistem pengaturan temperatur diaplikasikan untuk pengaturan temperatur air dan hanya melibatkan proses pemanasan. Dari hasil pengujian tanggapan sistem pada plant yang telah dirancang, diperoleh bahwa untuk beberapa setting value tanggapan sistem secara umum berosilasi sekitar $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ dari nilai akhirnya dan offset terbesar yang terjadi adalah sebesar $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ dari setting value. Sistem pengaturan temperatur yang telah dirancang juga dapat mengatasi gangguan dengan baik.

I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Khususnya di dunia industri, sistem termal memegang peranan yang sangat penting. Pada beberapa proses produksi misalnya, agar dapat digunakan, maka suatu bahan atau zat harus dipanaskan terlebih dahulu hingga mencapai temperatur tertentu. Namun sistem termal untuk memanaskan saja tidak cukup, tetapi sangat diperlukan sistem yang juga dapat menjaga besarnya temperatur dalam proses agar tetap stabil pada nilai yang diinginkan atau diperlukan tanggapan sistem dengan osilasi yang seminim mungkin. Untuk keperluan ini, maka digunakan suatu sistem pengaturan temperatur.

Pada banyak aplikasinya, sistem pengaturan temperatur menggunakan pemanas (*heater*) yang menerapkan prinsip pemanasan secara listrik. Umumnya untuk pengaturan tegangan pemanas digunakan prinsip pengaturan tegangan secara *on-off*. Namun karena keterbatasan range pengaturan tegangan yang dapat diberikan, maka kontrol tegangan secara

on-off kurang dapat memberikan akurasi nilai keluaran yang dibutuhkan oleh sistem pengaturan, sehingga untuk beberapa aplikasinya dapat menimbulkan tanggapan sistem pengaturan temperatur yang berosilasi. Terdapat alternatif lain untuk pengaturan tegangan pemanas, yaitu dengan pengaturan tegangan secara kontrol sudut fasa. Kontrol secara sudut fasa memberikan range pengaturan tegangan yang lebih luas, sehingga dapat memberikan akurasi nilai keluaran yang dibutuhkan oleh sistem pengaturan, dengan demikian dimungkinkan untuk memperoleh tanggapan sistem yang lebih halus (*amplitudo osilasi yang minimum*).

Karena itu dalam tugas akhir dirancang penggunaan kontrol tegangan secara sudut fasa untuk pemanas pada sistem pengaturan temperatur. Sebagai penentu besarnya tegangan pemanas secara sudut fasa, maka digunakan aksi kontrol yang berbasis pada logika fuzzy. Digunakannya pengendali logika fuzzy sebagai aksi kontrol terutama karena aksi kontrol ini menawarkan kemudahan dalam perancangan karena tidak memerlukan model matematis dari sistem.

1.2 Tujuan

Tujuan yang hendak dicapai dari tugas akhir ini adalah membuat alat yang meliputi perangkat keras dan perangkat lunak guna mengaplikasikan pengaturan tegangan secara sudut fasa berbasis logika fuzzy untuk pemanas pada sistem pengaturan temperatur.

1.3 Pembatasan Masalah

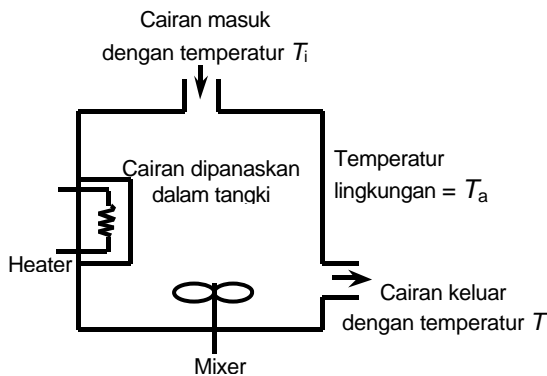
Pada tugas akhir ini dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Sistem pengaturan temperatur diaplikasikan untuk mengatur temperatur cairan yaitu air dan hanya untuk proses pemanasan.
2. Pengontrol tegangan AC yang digunakan adalah pengontrol gelombang penuh AC satu fasa, dan digunakan triac sebagai komponen pengatur tegangan. Pengamatan hanya dilakukan pada bentuk sinyal pemicu dan gelombang keluaran.
3. Range pengukuran temperaturnya adalah 25°C sampai $50,5^{\circ}\text{C}$ dengan *step* $0,1^{\circ}\text{C}$, sedangkan range untuk setting value adalah 30°C sampai 50°C .
4. Pengendali logika fuzzy direalisasikan menggunakan mikrokontroler AT89C51.
5. Fungsi keanggotaan untuk masukan fuzzy adalah gabungan antara tipe trapezoid dan segitiga. Sedangkan fungsi keanggotaan keluaran menggunakan tipe *singleton*.
6. Metode yang digunakan untuk pengambilan keputusan adalah metode MAX-MIN.
7. Metode yang digunakan untuk proses defuzifikasi adalah COG (*Center Of Gravity*).
8. Pengujian tanggapan sistem hanya dilakukan pada *plant* yang telah dirancang.

II DASAR TEORI

2.1 Sistem Pengaturan Temperatur [6], [10], [20]

Suatu sistem termal ditunjukkan pada Gambar 2.1. Cairan dengan temperatur T ($^{\circ}\text{C}$) mengalir keluar dari tangki dengan laju tertentu dan cairan ini digantikan dengan cairan yang masuk ke tangki dengan temperatur T_i ($^{\circ}\text{C}$), dimana $T_i < T$. Cairan yang berada di dalam tangki dipanaskan menggunakan sebuah pemanas (*heater*) listrik. *Mixer* mengaduk cairan sedemikian rupa sehingga seluruh cairan yang berada dalam tangki dapat dianggap memiliki temperatur yang sama.



Gambar 2.1 Sistem termal

Dalam kasus sistem kontrol, temperatur T adalah variabel yang akan dikontrol, dan nilai T inilah yang diinginkan sebagai output. Kemudian input kontrol adalah output dari pemanas listrik (*electric heater*) q_e . Sedangkan T_i dan T_a disebut input-input gangguan, atau dikenal sebagai gangguan dimana input berupa gangguan ini tidak dikontrol. Besarnya kalor sebagai input kontrol selalu diatur dengan mengatur tegangan yang diberikan ke pemanas. Jika pemanas dimodelkan sebagai suatu beban resistif, maka besarnya kalor per unit waktu adalah:

$$P = \frac{V_h^2}{R_h} \quad (2-1)$$

Dengan P adalah daya pemanas (watt), V_h adalah tegangan efektif (volt) yang diberikan ke pemanas, dan R_h adalah resistansi pemanas (ohm). Ini menunjukkan bahwa energi listrik yang dikonversi ke pemanas merupakan sebuah fungsi nonlinier terhadap tegangan yang diberikan ke pemanas, dan tidak dapat diperoleh transfer function yang menunjukkan hubungan antara temperatur T dengan tegangan input V_h . Namun telah ditunjukkan bahwa besarnya temperatur dapat diatur dengan mengatur besarnya tegangan yang diberikan ke pemanas.

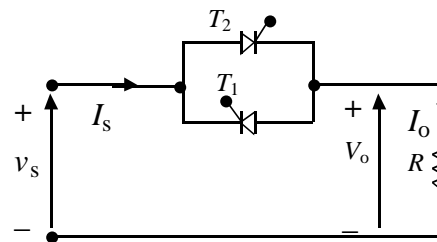
2.2 Pengontrol Tegangan AC [5], [15], [17]

Untuk transfer energi, dua jenis pengontrol yang biasa digunakan yaitu: Kontrol on-off dan Kontrol sudut fasa. Pada kontrol on-off, saklar thyristor menghubungkan beban dengan sumber ac selama beberapa putaran tegangan masukan dan diputus selama beberapa putaran yang lain. Pada kontrol sudut fasa, saklar thyristor menghubungkan beban dengan sumber ac untuk setiap bagian dari putaran tegangan masukan. Sehingga bila dibandingkan dengan kontrol on-off, kontrol sudut fasa dapat memberikan range pengaturan tegangan secara penuh.

A. Prinsip Kontrol Sudut Fasa

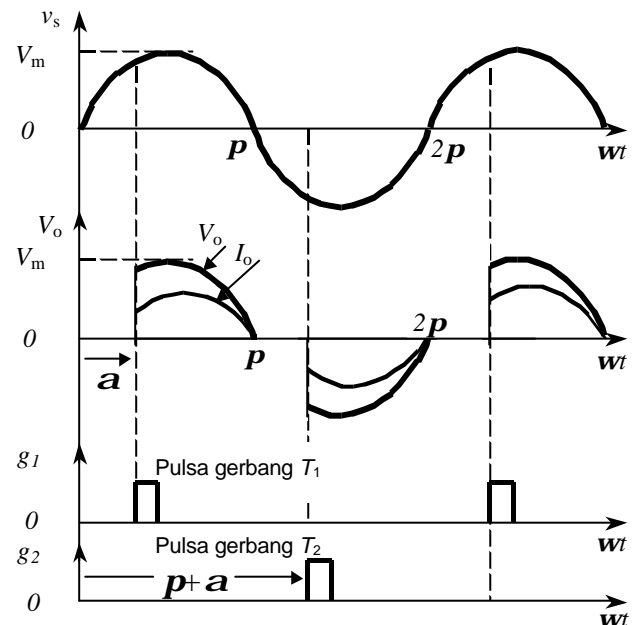
Prinsip dari kontrol sudut fasa untuk gelombang penuh satu fasa dapat dijelaskan berdasarkan rangkaian pada Gambar

2.2. Energi mengalir ke beban dikontrol dengan menunda sudut pemucuan (*firing angle*) thyristor T_1 dan sudut pemucuan thyristor T_2



Gambar 2.2 Rangkaian pengontrol gelombang penuh satu fasa

Bentuk gelombang untuk tegangan masukan, tegangan keluaran, dan sinyal gerbang untuk T_1 dan T_2 ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Bentuk gelombang pengontrol gelombang penuh

Selama setengah siklus positif dari tegangan masukan, anoda thyristor T_1 relatif positif terhadap katoda sehingga thyristor T_1 dalam kondisi terbias maju. Ketika thyristor T_1 dinyalakan/dipicu pada $wt = a$ (a disebut sudut penyalan/pemucuan), thyristor T_1 akan tersambung dan tegangan masukan akan muncul ke beban. Ketika tegangan masukan mulai negatif pada $wt = p$, anoda thyristor T_1 akan negatif terhadap katodanya dan thyristor T_1 disebut terbias mundur dan dimatikan. Selanjutnya pada saat tegangan masukan mulai negatif pada $wt = \pi$ ini, maka anoda thyristor T_2 relatif positif terhadap katoda dan thyristor T_2 berada dalam kondisi terbias maju. Sehingga ketika thyristor T_2 dinyalakan/dipicu pada $wt = \pi + a$ thyristor T_2 akan tersambung dan tegangan masukan juga akan muncul ke beban, kemudian ketika tegangan masukan mulai positif lagi, maka thyristor T_2 akan dimatikan dan seterusnya, kembali seperti siklus awal.

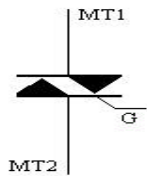
Jika $v_s = \sqrt{2} \cdot V_s \sin \omega t$ adalah tegangan input dan sudut tunda pemucuan dari thyristor T_1 dan T_2 adalah $\alpha = \alpha = a$ Tegangan keluaran *rms* dapat diperoleh dari persamaan (2-3).

$$V_o = \left[\frac{2}{2p} \int_a^{p+a} 2V_s^2 \sin^2 \omega t d(\omega t) \right]^{1/2} \quad (2-2)$$

Dengan mengatur α dari 0 sampai π (atau 0° sampai 180°), maka V_O akan dapat bervariasi dari V_S sampai 0 yang berarti bahwa besarnya daya yang diberikan ke beban juga dapat diatur.

B. Triac

Untuk pengendalian fasa pada pengontrol tegangan AC, digunakan *bidirectional triode thyristor* atau yang biasa dikenal sebagai triac. Triac dapat bersifat konduktif dalam dua arah. Dalam hal ini dapat dianggap sebagai dua buah thyristor tersambung secara antiparalel. Simbol triac ditunjukkan pada Gambar 2.4

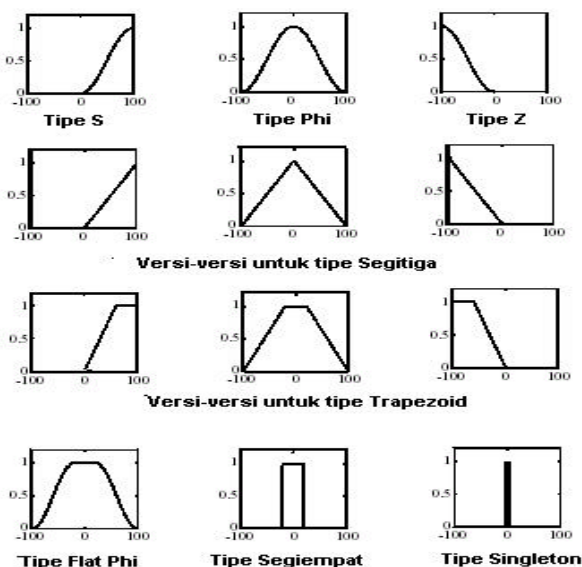


Gambar 2.4 Simbol Triac

2.3 Sistem Fuzzy^{[7], [9], [12]}

Fuzzy berarti samar, kabur atau tidak jelas. Istilah fuzzy ini digunakan oleh Lotfi A. Zadeh untuk menyatakan suatu himpunan yang dapat dibedakan dengan himpunan lain berdasarkan derajat keanggotaan yang kabur antara 0 dan 1. Pada teori himpunan klasik hanya dikenal dua kemungkinan dalam fungsi keanggotaannya, yaitu kemungkinan termasuk keanggotaan himpunan (logika 1) atau kemungkinan berada diluar keanggotaannya (logika 0). Namun pada teori himpunan fuzzy tidak hanya memiliki dua kemungkinan dalam menetapkan sifat keanggotaannya, tetapi memiliki derajat keanggotaan yang nilainya berkisar antara 0 dan 1. Fungsi yang menetapkan nilai ini dinamakan fungsi keanggotaan.

Berbagai tipe fungsi keanggotaan untuk himpunan fuzzy dalam bentuk grafik ditunjukkan pada Gambar 2.5.



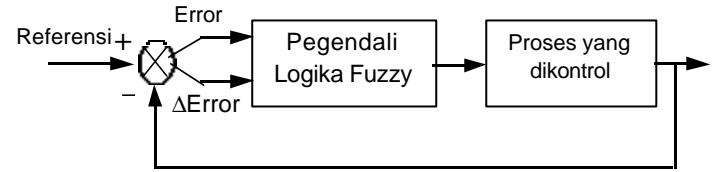
Gambar 2.5 Berbagai tipe fungsi keanggotaan

A. Konfigurasi Dasar Pengendali Logika Fuzzy

Pengendali logika fuzzy merupakan suatu sistem kendali yang berdasar pada basis pengetahuan manusia didalam melakukan kendali terhadap suatu proses. Karena pengendali ini tidak memerlukan model matematika dari proses yang dikendalikannya, maka teori kendali ini dapat diterapkan untuk

berbagai macam proses bahkan pada proses dimana teori kendali konvensional tidak dapat diterapkan karena kurangnya atau tidak adanya model matematik dari proses.

Mekanisme pengendali logika fuzzy untuk loop tertutup ditunjukkan pada Gambar 2.6. Pada Gambar 2.6 ditunjukkan dua masukan (*Crisp Input*), yaitu masukan error dan perubahan error (Δ error) yang diperoleh dari nilai referensi, keluaran *plant*, dan error sebelumnya.

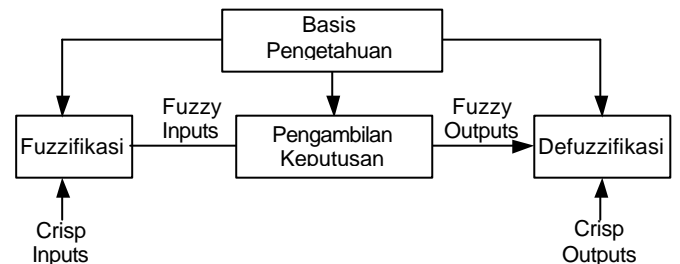


Gambar 2.6 Sistem loop tertutup dengan pengendali logika fuzzy

Struktur dasar dari pengendali logika diperlihatkan pada Gambar 2.7. Yaitu terdiri dari bagian-bagian sebagai berikut:

1. Fuzzifikasi

Fuzzifikasi merupakan proses yang digunakan untuk mengubah masukan tegas/nyata (*crisp inputs*) yang bersifat bukan fuzzy ke dalam himpunan fuzzy menjadi nilai fuzzy dari beberapa *variabel linguistik* masukan yang telah didefinisikan, hasil pengubahan data ini dinamakan masukan fuzzy (*Fuzzy Inputs*).



Gambar 2.7 Konfigurasi dasar pengendali logika fuzzy

2. Basis Pengetahuan

Basis pengetahuan terdiri dari basis data dan basis aturan. Basis data mendefinisikan himpunan fuzzy atas ruang-ruang masukan dan keluaran. Basis aturan berisi aturan-aturan kendali fuzzy yang digunakan untuk pengendalian proses.

Pembentukan basis data mencakup perancangan fungsi keanggotaan untuk masing-masing variabel masukan dan keluaran, pendefinisian semesta pembicaraan dan penentuan variabel linguistik setiap variabel masukan dan keluaran. Basis aturan kendali fuzzy adalah kumpulan aturan-aturan kendali fuzzy yang dibuat berdasarkan pengetahuan manusia dalam pengendalian suatu sistem. Aturan yang ditetapkan digunakan untuk menghubungkan antara variabel-variabel masukan dan variabel-variabel keluaran. Aturan ini berbentuk 'JIKA – MAKA' (*IF – THEN*).

3. Pengambilan Keputusan

Berdasarkan basis aturan yang telah dibuat, variabel masukan fuzzy diolah lebih lanjut untuk mendapatkan suatu penyelesaian. Dengan demikian dapat diambil suatu keputusan berupa suatu peubah fuzzy keluaran, yaitu himpunan-himpunan keluaran fuzzy dengan fungsi keanggotaan yang telah ditetapkan. Teknik pengambilan keputusan yang paling sering digunakan adalah metode MAX-MIN dan MAX-DOT.

Dalam tugas akhir ini digunakan metode MAX-MIN. Pada metode ini pengambilan keputusan didasarkan pada aturan operasi minimum Mamdani. Keputusan yang diambil berdasarkan aturan ke-*i* dapat dinyatakan dengan $\alpha_i \wedge \mu_{C_i}(w)$. Sehingga keanggotaan C adalah titik yang diberikan oleh:

$$\mu_C(w) = (\alpha_1 \wedge \mu_{C_1}(w)) \vee (\alpha_2 \wedge \mu_{C_2}(w)) \quad (2-4)$$

4. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi adalah proses pengubahan besaran fuzzy yang disajikan dalam himpunan fuzzy ke sinyal yang bersifat bukan fuzzy. Strategi defuzzifikasi ditujukan untuk menghasilkan suatu aksi kontrol *non fuzzy* (crisp output) yang paling tepat dalam merepresentasikan kemungkinan distribusi aksi kontrol fuzzy yang telah dihitung. Terdapat beberapa metode yang umum digunakan untuk proses defuzzifikasi, yaitu : (1) Metode *Maximum*, (2) Metode *Mean Of Maximum* (MOM) dan (3) Metode *Center Of Area* (COA). Dalam Tugas Akhir ini digunakan metode COA.

Metode COA atau dikenal juga sebagai metode *Center of Gravity* (COG) menghasilkan titik berat dari daerah distribusi kemungkinan aksi kontrol fuzzy. Dalam bentuk diskrit, metode ini dinyatakan sebagai:

$$W = \frac{\sum_{k=1}^n w_k \mathbf{m}_z(w_k)}{\sum_{k=1}^n \mathbf{m}_z(w_k)} \quad (2-5)$$

Dengan n adalah jumlah level kuantisasi dari keluaran.

2.4 Mikrokontroler AT89C51

Untuk mengimplementasikan pengendali berdasarkan logika fuzzy, maka digunakan mikrokontroler AT89C51 buatan Atmel. Mikrokontroler AT89C51 adalah sebuah sistem mikrokontroler 8 bit Instruksi-instruksi maupun pin-nya kompatibel dengan standar MCS 51. AT89C51 memiliki beberapa kelebihan antara lain: 4 Kbyte flash memory, RAM 128 byte, 32 jalur input-output, dua timer 16 bit, lima sumber interupsi, port serial dua arah, rangkaian detak (clock), dan osilator internal.

A. Sistem Interupsi

Apabila CPU pada mikrokontroler AT89C51 sedang melaksanakan suatu program, maka pelaksanaan program dapat dihentikan sementara dengan meminta interupsi. Apabila CPU mendapat permintaan interupsi, program counter akan diisi alamat dari vektor interupsi. CPU kemudian melaksanakan rutin pelayanan interupsi mulai dari alamat tersebut. Bila rutin pelayanan interupsi selesai dilaksanakan, CPU AT89C51 kembali ke pelaksanaan program utama yang ditinggalkan.

Mikrokontroler AT89C51 menyediakan 5 sumber interupsi yaitu: *External interrupt* yang berasal dari pin *INT0* dan *INT1*, *Timer Interrupt* yang berasal dari timer 0 maupun timer 1, dan yang terakhir adalah interupsi port serial.

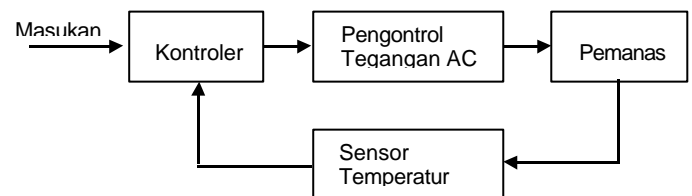
B. Timer

Pada mikrokontroler AT89C51 terdapat dua buah timer/counter 16 Bit yang dapat diatur melalui perangkat lunak, yaitu timer/counter 0 dan timer/counter 1. Apabila periode waktu tertentu telah dilampaui, timer/counter segera menginterupsi mikrokontroler untuk memberitahukan bahwa perhitungan periode waktu telah selesai dilaksanakan.

III PERANCANGAN ALAT

Secara umum blok diagram rancangan alat adalah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1. Alat yang dirancang akan membentuk suatu sistem pengaturan temperatur. Pengaturan temperatur dilakukan dengan mengatur besarnya panas yang dihasilkan oleh pemanas. Untuk mengatur besarnya panas, maka dilakukan pengaturan tegangan AC yang diberikan ke pemanas. Pengaturan tegangan AC dilaksanakan oleh blok pengontrol tegangan AC. Prinsip pengaturan tegangannya adalah menggunakan prinsip kontrol fasa, yaitu besarnya tegangan AC ditentukan oleh sudut pemucuan triac. Nilai sudut pemucuan triac adalah berupa waktu tundaan untuk pemucuan triac. Waktu tundaan ini merupakan nilai keluaran dari blok kontroler.

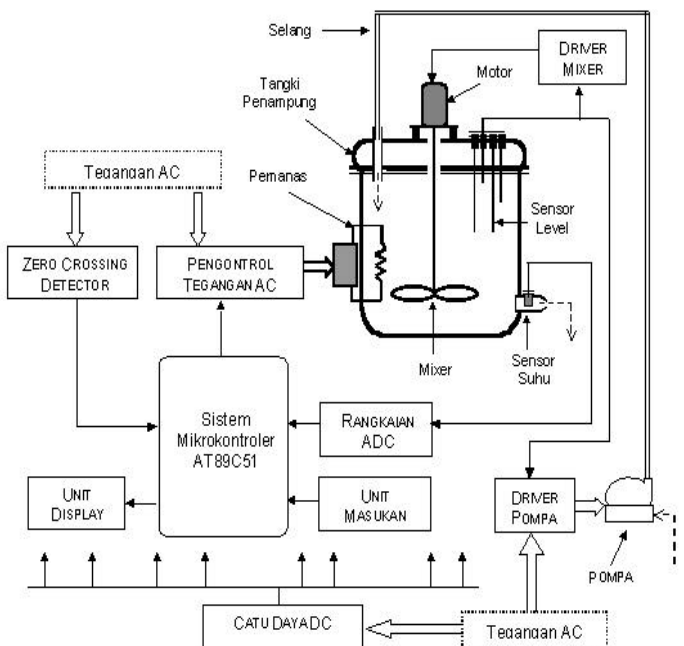
Variabel keluaran dari proses yaitu temperatur akan diukur oleh sensor temperatur yang kemudian menghasilkan sinyal sebagai masukan umpan balik bagi kontroler. Kontroler akan membandingkan sinyal umpan balik dari sensor temperatur dengan masukan *setting value* dan mengolahnya berdasarkan prinsip logika fuzzy, untuk kemudian menghasilkan suatu nilai keluaran yang berupa waktu tundaan untuk pemucuan triac. Kontroler akan terus mengolah sinyal masukan dan menghasilkan suatu nilai keluaran sehingga terbentuk suatu sistem loop tertutup.



Gambar 3.1 Blok diagram rancangan alat

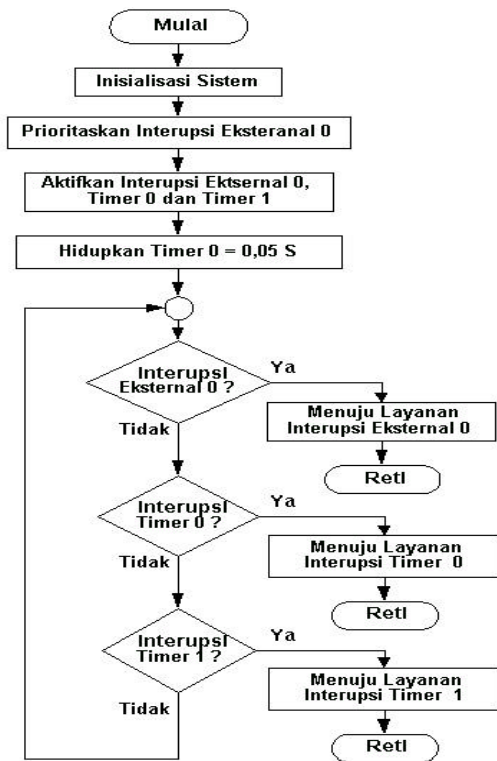
3.1 Perancangan Perangkat Keras (Hardware)

Blok diagram perancangan perangkat keras secara keseluruhan adalah seperti ditunjukkan pada Gambar 3.2. Perangkat keras dirancang untuk membentuk sistem pengaturan temperatur yaitu temperatur air yang mengalir keluar dari tangki penampung.



Gambar 3.2 Blok diagram perancangan perangkat keras

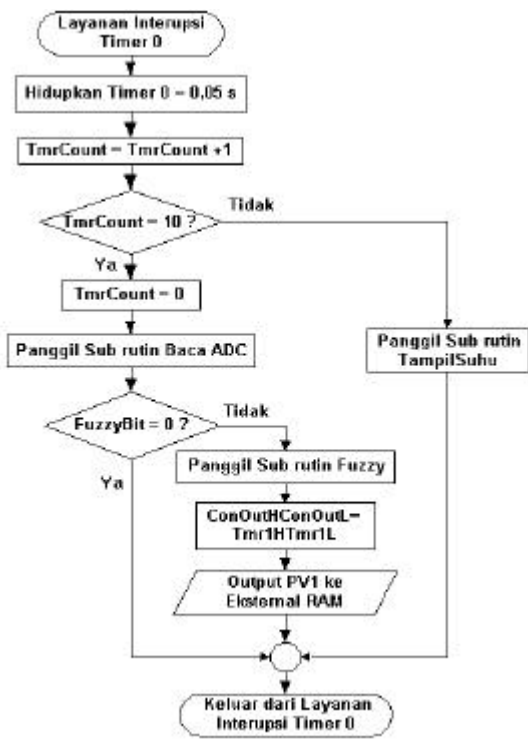
mikrokontroler AT89C51. Perancangan dilakukan untuk mengatur kerja sistem dengan tujuan utama melakukan proses pengaturan berdasarkan logika fuzzy untuk menghasilkan sinyal pemicuan bagi triac pada rangkaian pengontrol tegangan AC. Adapun diagram alir dari program utama adalah seperti ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Diagram alir program utama

A. Layanan Interupsi Timer 0

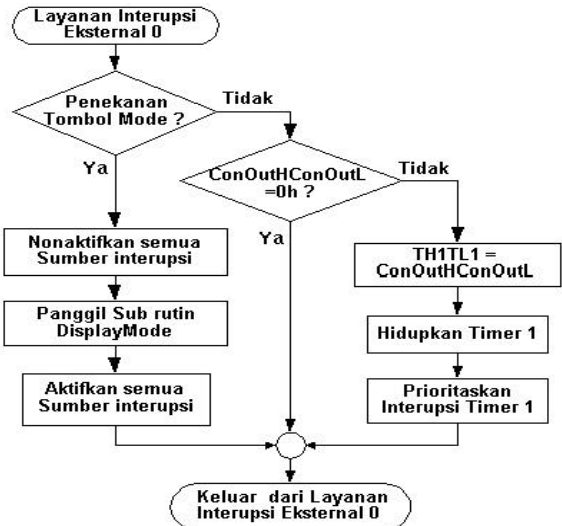
Interupsi timer 0 terjadi setiap kali perhitungan periode waktu sebesar 0,05 detik telah selesai dilaksanakan. Diagram alir program untuk layanan interupsi timer 0 ditunjukkan pada Gambar 3.7



Gambar 3.7 Diagram alir layanan interupsi Timer 0

B. Layanan Interupsi Eksternal 0

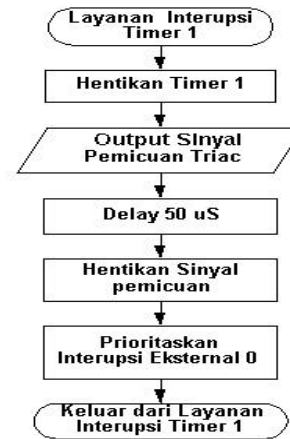
Masukan untuk Port $\overline{INT0}$ adalah berasal dari keluaran rangkaian zero crossing detector yang di-AND-kan dengan keluaran tombol push on MODE pada rangkaian unit masukan. Sehingga jika tegangan AC melewati titik tegangan nol atau terjadi penekanan tombol MODE, maka akan terjadi interupsi eksternal 0. Gambar 3.8 menunjukkan diagram alirnya



Gambar 3.8 Diagram alir layanan interupsi eksternal 0

C. Layanan interupsi Timer 1

Interupsi timer 1 terjadi bila perhitungan periode waktu untuk tundaan pemicuan triac yang diberikan pada layanan interupsi eksternal 0 telah selesai dilaksanakan. Diagram alir untuk program layanan interupsi timer 1 diperlihatkan pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Diagram alir layanan interupsi timer 1

D. Pemrograman pengendali logika fuzzy

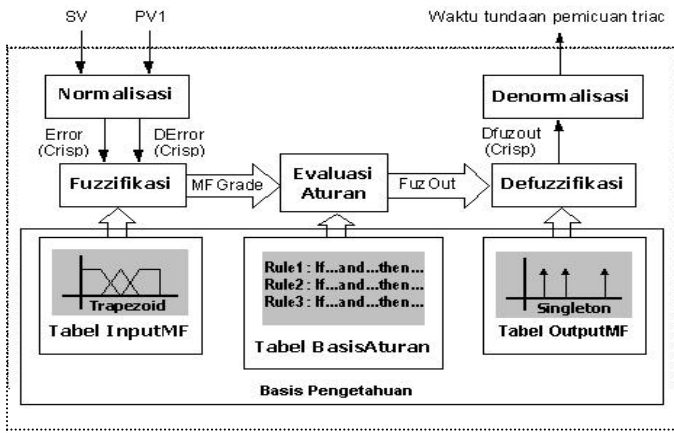
Gambar 3.10 menunjukkan blok diagram pemrograman untuk pengendali logika fuzzy. Sebagai data masukannya adalah data SV dan PV1 sedangkan keluarannya adalah berupa nilai waktu tundaan untuk pemicuan triac.

1. Perancangan Fungsi keanggotaan masukan

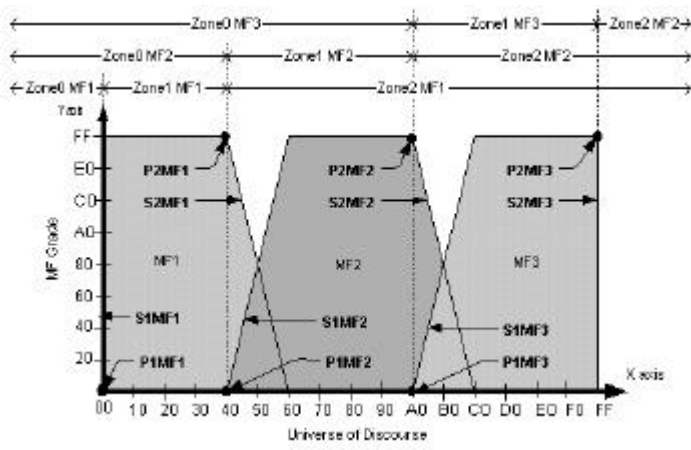
Struktur perancangan fungsi keanggotaan masukan yang secara umum digunakan untuk pemrograman pada mikrokontroler ditunjukkan pada Gambar 3.11. Batas-batas setiap variabel linguistik pada Gambar 3.11 dapat diwakili oleh dua buah titik, yaitu *Point1* (P1) dan *Point2* (P2), dan diwakili oleh dua buah nilai yang menyatakan kemiringan dari garis, yaitu *Slope1* (S1) dan *Slope2* (S2). Nilai P1 dan P2 diperoleh

dari nilai pada sumbu horisontal (sumbu x) yang merupakan nilai Crisp Input, sedangkan nilai S1 dan S2 dapat ditentukan dari persamaan (3-2)

$$Slope = \frac{\Delta Y}{\Delta X} \tag{3-2}$$



Gambar 3.10 Blok Diagram pemrograman pengendali logika fuzzy



Gambar 3.11 Struktur perancangan fungsi keanggotaan masukan secara umum

Untuk kondisi khusus dimana slope berbentuk vertikal seperti pada S1MF1 dan S1MF3, maka nilai slopenya adalah FFh. Representasi fungsi keanggotaan masukan untuk segmen program assembly-nya adalah:

```
db <P1h>, <S1h>, <P2h>, <S2h> ; MF1
db <P1h>, <S1h>, <P2h>, <S2h> ; MF2
db <P1h>, <S1h>, <P2h>, <S2h> : MF3
```

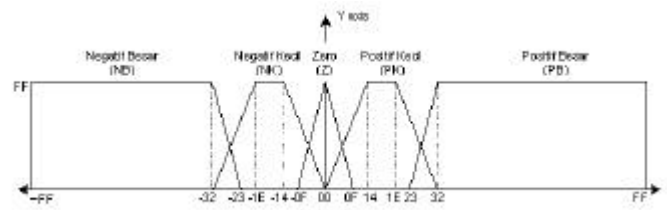
Untuk fuzzifikasi, nilai crisp input pada setiap variabel linguistik dibagi menjadi tiga zone (zone0, zone1 dan zone2) seperti ditunjukkan pada Gambar 3.11. Jika crisp input berada di zone0, maka derajat keanggotaan (MF Grade) dari variabel linguistik yang bersangkutan (MFx) adalah nol (00h), kemudian jika crisp input berada di zone1, MF Grade dari variabel linguistik yang bersangkutan (MFx) ditentukan berdasarkan persamaan (3-3).

$$MF\ Grade(zone1) = (Crisp\ Input - P1MFx) \times S1MFx \tag{3-3}$$

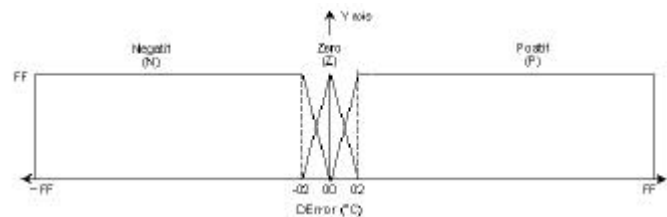
Sedangkan untuk crisp input yang berada di zone2, maka besarnya MF Grade untuk MFx adalah:

$$MFGrade(zone2) = FFh - [(CrispInput - P2MFx) \times S2MFx] \tag{3-4}$$

Dalam tugas akhir ini didesain fungsi keanggotaan Error dan DError seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.12 dan Gambar 3.13



Gambar 3.12 Rancangan fungsi keanggotaan Error

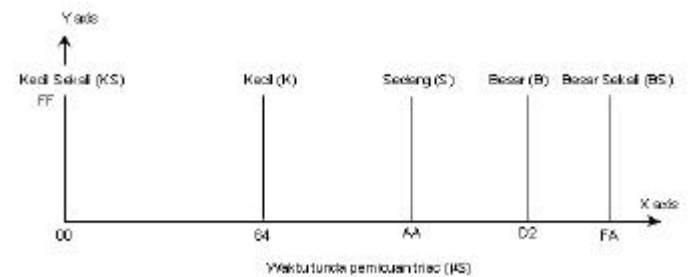


Gambar 3.13 Rancangan fungsi keanggotaan DError

2. Perancangan Fungsi Keanggotaan Keluaran

Nilai keluaran merupakan parameter yang akan menentukan besarnya waktu tundaan pemecuan triac. Fungsi keanggotaan yang digunakan untuk keluaran adalah fungsi keanggotaan yang berbentuk singleton. Rancangan fungsi keanggotaan keluaran ditunjukkan pada Gambar 3.14. Baris program yang digunakan untuk merealisasikan tabel OutputMF adalah sebagai berikut:

```
db 000h ; Kecil Sekali (KS) = 0
db 064h ; Kecil (K) = 100
db 0AAh ; Sedang (S) = 170
db 0D2h ; Besar (B) = 210
db 0FAh ; Besar Sekali (BS) 250
```



Gambar 3.14 Rancangan fungsi keanggotaan keluaran

3. Perancangan Basis Aturan

Rancangan basis aturan yang digunakan dalam tugas akhir ini ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Rancangan Basis Aturan

		Error				
		NB ₍₀₎	NK ₍₁₎	Z ₍₂₎	PK ₍₃₎	PB ₍₄₎
DError	N ₍₀₎	BS ₍₄₎	BS ₍₄₎	B ₍₃₎	K ₍₁₎	KS ₍₀₎
	Z ₍₁₎	BS ₍₄₎	B ₍₃₎	S ₍₂₎	K ₍₁₎	KS ₍₀₎
	P ₍₂₎	BS ₍₄₎	B ₍₃₎	K ₍₁₎	KS ₍₀₎	KS ₍₀₎

Representasi basis aturan untuk segmen program assembly-nya adalah:

```

db 00h,00h,04h      ;Aturan 1
db 01h,00h,04h      ;Aturan 2
db 02h,00h,03h      ;Aturan 3
db 03h,00h,01h      ;Aturan 4
db 04h,00h,00h      ;Aturan 5
db 00h,01h,04h      ;Aturan 6
db 01h,01h,03h      ;Aturan 7
db 02h,01h,02h      ;Aturan 8
db 03h,01h,01h      ;Aturan 9
db 04h,01h,00h      ;Aturan 10
db 00h,02h,04h      ;Aturan 11
db 01h,02h,03h      ;Aturan 12
db 02h,02h,01h      ;Aturan 13
db 03h,02h,00h      ;Aturan 14
db 04h,02h,00h      ;Aturan 15
db 0FFh             ;Akhir dari basis aturan

```

4. Normalisasi

Normalisasi merupakan proses untuk menghitung besarnya Error dan DError dari data masukan berupa setting value dan process value. Besarnya Error, yaitu $\text{Error} = \text{SV} - \text{PV1}$. dan $\text{DError} = \text{PV0} - \text{PV1}$.

5. Fuzzifikasi

Proses Fuzzifikasi akan memetakan crisp input yaitu Error dan DError ke dalam fungsi keanggotaan masukan, sehingga diperoleh peubah fuzzy yang berupa derajat keanggotaan (MF Grade) untuk setiap variabel linguistik Error dan DError.

6. Evaluasi Aturan (inference)

Dengan menggunakan aturan-aturan yang sudah dirancang di dalam basis aturan, sistem fuzzy melakukan evaluasi terhadap MF Grade Error dan DError dan menentukan *Fuzzy Outputs* berupa nilai Grade untuk setiap variabel linguistik keluaran. Teknik yang digunakan untuk pengambilan keputusan sehingga didapatkan suatu penyelesaian dalam evaluasi aturan adalah metode MAX-MIN.

7. Defuzzifikasi

Sebagai tahap akhir pada proses dasar pengendali logika fuzzy adalah proses defuzzifikasi. Pada proses defuzzifikasi dilakukan perubahan fuzzy outputs yaitu berupa grade yang menempati variabel FuzOut sebagai hasil dari proses evaluasi aturan menjadi bentuk tegasnya (crisp). Metode yang digunakan untuk proses defuzzifikasi adalah *Center of Gravity* (COG). Untuk fungsi keanggotaan singleton, digunakan

$$\text{Crisp Output} = \frac{\sum_i (\text{Fuzzy output}_i) \times (\text{Posisi singleton pada sumbu } x_i)}{\sum_i (\text{Fuzzy output}_i)} \quad (3-5)$$

8. Denormalisasi

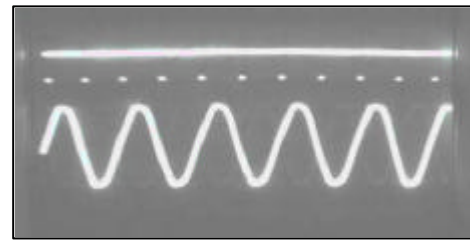
Hasil pada proses defuzzifikasi belum dapat langsung digunakan sebagai waktu tundaan untuk pemucuan triac. Sehingga perlu dilakukan proses denormalisasi. Proses denormalisasi merupakan proses untuk mengubah hasil defuzzifikasi yaitu nilai pada lokasi variabel DfuzOut menjadi nilai untuk waktu tundaan pemucuan triac dalam hal ini adalah nilai yang siap diberikan ke special function register timer 1 (TH1 dan TL1). Untuk proses denormalisasi digunakan rumus:

$$\text{Tmr1HTmr1L} = \text{FFFFh} - (\text{DFuzOut} \times 28\text{h}) \quad (3-6)$$

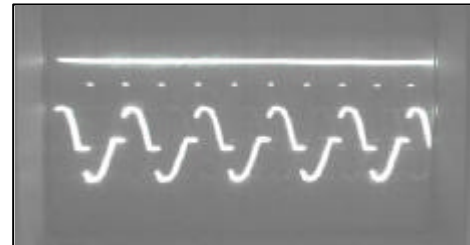
IV PENGUJIAN DAN ANALISA

4.1 Pengujian Rangkaian Pengontrol Tegangan AC

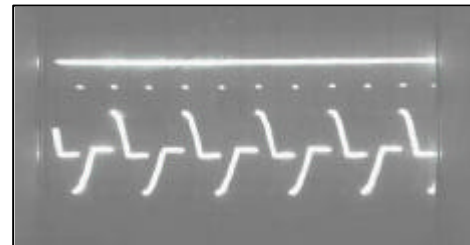
Hasil pengujian untuk lima nilai waktu tundaan pemucuan triac ditunjukkan pada Gambar 4.1 sampai Gambar 4.5.



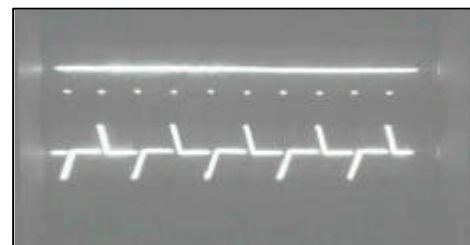
Gambar 4.1 Sinyal picu dan tegangan beban untuk waktu tunda pemucuan 0 μS



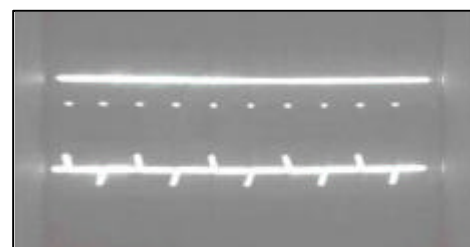
Gambar 4.2 Sinyal picu dan tegangan beban untuk waktu tunda pemucuan 3000 μS



Gambar 4.3 Sinyal picu dan tegangan beban untuk waktu tunda pemucuan 5000 μS



Gambar 4.4 Sinyal picu dan tegangan beban untuk waktu tunda pemucuan 8300 μS



Gambar 4.5 Sinyal picu dan tegangan beban untuk waktu tunda pemucuan 9600 μS

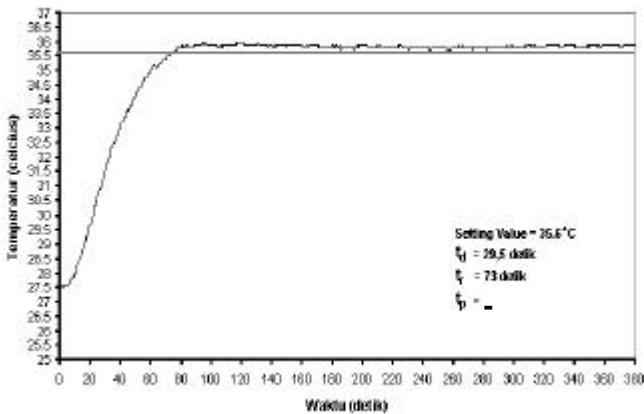
Dari bentuk gelombang tegangan pada beban, dapat diketahui bahwa semakin besar waktu tunda untuk pemucuan triac, maka bagian dari tegangan AC yang diberikan ke beban untuk tiap fasenya (fase positif dan fase negatif) akan semakin kecil yang berarti juga bahwa daya listrik yang diberikan ke beban akan semakin kecil.

4.2 Pengujian dan Analisa Tanggapan Sistem

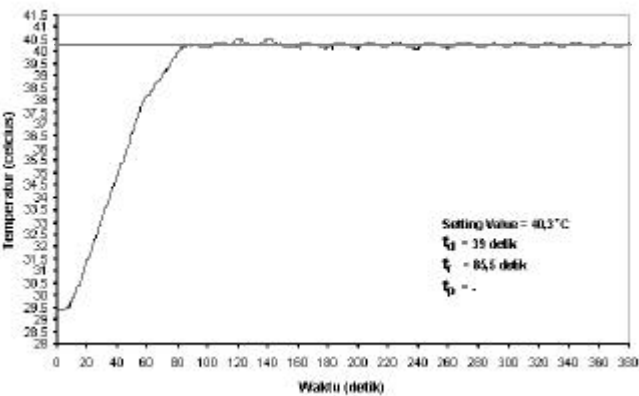
Untuk mengetahui performansi dari sistem pengaturan yang telah dirancang, maka dilakukan pengujian terhadap tanggapan sistem. Sebagai acuan dalam membuat grafik tanggapan sistem adalah data besarnya temperatur yang tersimpan pada RAM eksternal untuk setiap periode samplingnya (0,5 detik).

A. Tanggapan Sistem untuk Variasi Setting Value

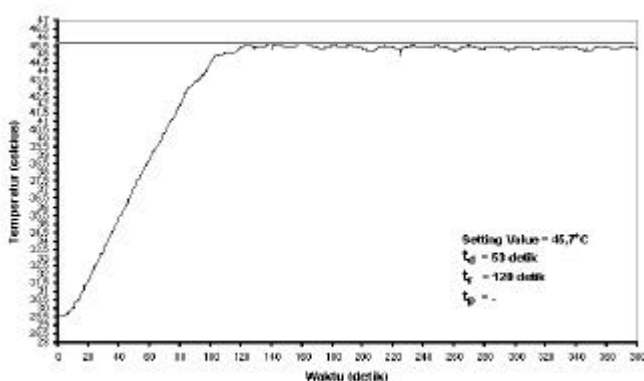
Pengujian ini dilakukan dengan memberikan setting value yang berbeda-beda pada sistem. Hasil pengujiannya dalam bentuk grafik tanggapan sistem ditunjukkan pada Gambar 4.6 sampai Gambar 4.9.



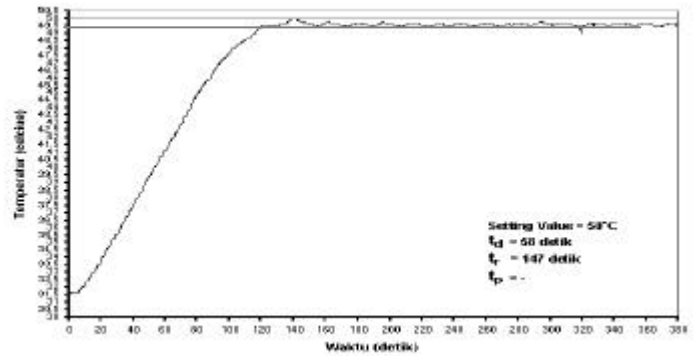
Gambar 4.6 Grafik tanggapan sistem untuk setting value = 35,6°C



Gambar 4.7 Grafik tanggapan sistem untuk setting value = 40,3°C



Gambar 4.8 Grafik tanggapan sistem untuk setting value = 45,7°C



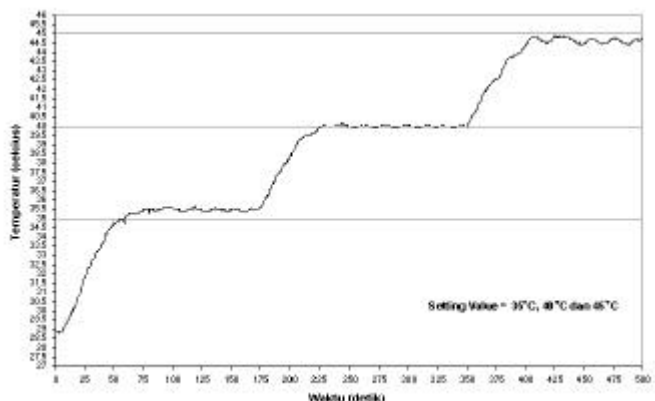
Gambar 4.9 Grafik tanggapan sistem untuk setting value = 50°C

Dari keempat grafik tanggapan sistem yang diperoleh, secara umum terlihat bahwa hasil pengaturannya tidak stabil secara sempurna pada suatu nilai. Keempat tanggapan sistemnya berosilasi sebesar kurang lebih 0,2°C dari nilai akhirnya. Hal ini dapat disebabkan terutama oleh pengaruh temperatur air yang masuk dimana temperaturnya berubah-ubah dan proses masuknya air ke dalam tangki tidak kontinyu sehingga dapat dianggap sebagai gangguan.

Pada grafik tanggapan sistem yang pertama yaitu setting value = 35,6°C nilainya melewati setting value hingga mencapai nilai 35,9°C, nilai keadaan tunaknya cenderung berada di atas setting value sekitar 0,2°C. Overshot tidak terjadi pada tanggapan sistem dengan setting value = 40,3°C. Pada setting value ini, nilai keadaan tunaknya cenderung berosilasi dengan amplitudo kurang lebih 0,2°C disekitar setting value. Sedangkan untuk setting value = 45,7°C dan setting value = 50°C sama sekali tidak terjadi overshoot, bahkan terjadi kesalahan keadaan tunak atau *offset*. Untuk setting value = 45,7°C terjadi offset sebesar 0,2°C, yaitu temperatur keluaran plant hanya mencapai 45,5°C dan nilai keadaan tunaknya cenderung berosilasi 0,2°C disekitar nilai ini. Sedangkan untuk setting value 50°C terjadi offset sebesar 0,3°C yaitu keluarannya hanya mencapai nilai 49,7°C, nilai keadaan tunaknya juga cenderung berosilasi 0,2°C disekitar nilai ini.

B. Tanggapan Sistem untuk perubahan Setting Value

Pengujian dilakukan dengan menaikkan nilai setting value setelah proses pengaturan berjalan dalam beberapa periode waktu. Grafik tanggapan sistem ditunjukkan pada Gambar 4.10. Dari hasil pengujian tanggapan sistem diketahui bahwa sistem dapat merespon pemberian perubahan setting value dengan baik.

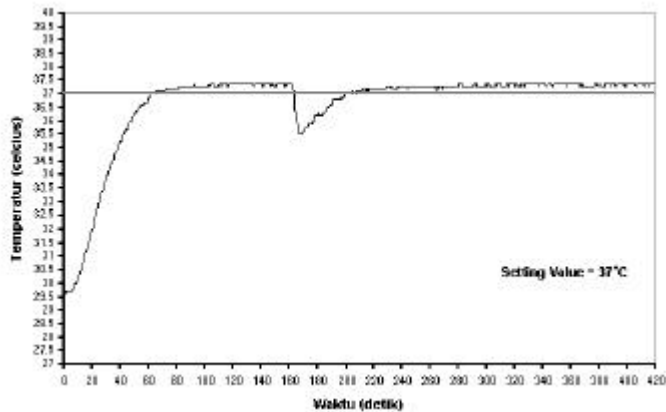


Gambar 4.10 Grafik Tanggapan Sistem untuk Perubahan Setting Value

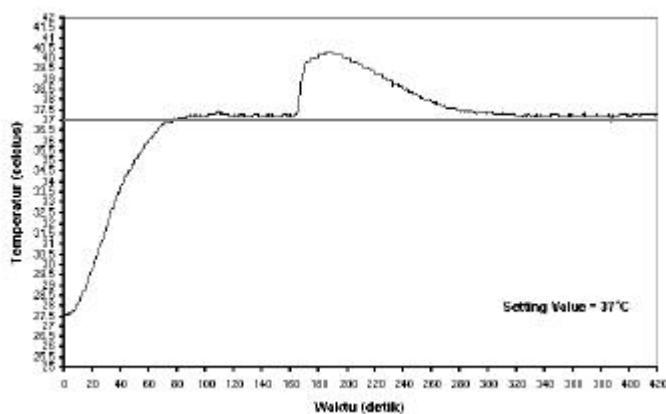
V PENUTUP

C. Pengujian Tanggapan Sistem Terhadap Gangguan

Untuk mengetahui daya tahan sistem terhadap gangguan, maka dilakukan pengujian dengan memberikan gangguan berupa penambahan air dingin dan juga penambahan air padana pada sistem yang telah mencapai kestabilan untuk suatu setting value. Hasil pengujiannya berupa grafik tanggapan sistem ditunjukkan pada Gambar 4.11 dan Gambar 4.12



Gambar 4.11 Tanggapan sistem terhadap gangguan air dingin



Gambar 4.12 Tanggapan sistem terhadap gangguan air panas

Pemberian gangguan berupa air dingin menyebabkan temperatur keluaran sistem berangsur-angsur turun hingga mencapai nilai terendah yaitu 35,5°C. Sedangkan pemberian gangguan berupa air panas menyebabkan temperaturnya berangsur-angsur naik hingga mencapai nilai tertinggi yaitu 40,3°C.

Waktu pemulihan (*recovery time*) menuju kestabilan semula pada pemberian gagguan berupa air dingin adalah 55,5 detik, waktu ini lebih cepat bila dibandingkan dengan waktu pemulihan pada pemberian berupa gangguan air panas, dimana waktu pemulihannya adalah 155 detik. Hal ini jelas karena pada gangguan berupa air dingin aksi kontrol dapat segera merespon penurunan temperatur keluaran dengan cara memperbesar pemberian tegangan ke pemanas sehingga temperatur keluar sistem dapat segera kembali ke nilai kestabilannya. Sedangkan pada pemberian gangguan berupa air panas, aksi kontrol dapat merespon kenaikan temperatur hanya dengan cara menghentikan pemberian tegangan ke pemanas (tidak ada aksi yang berlawanan berupa aksi untuk pendinginan) sehingga temperatur keluaran sistem akan turun dengan sendirinya (dalam waktu yang cukup lama) dan proses penurunan temperatur ini juga dapat dibantu oleh masuknya air dengan temperatur yang lebih rendah ke tangki.

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perancangan, pengujian dan analisa yang telah dilakukan dalam tuga akhir ini, maka dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut.

1. Pada perancangan alat, menunjukkan bahwa penggunaan pengatur tegangan pemanas secara kontrol sudut fasa memberikan cakupan nilai pengaturan tegangan yang cukup besar, sehingga memudahkan dalam menentukan besarnya keluaran dari pengendali logika fuzzy.
2. Sistem pengaturan temperatur yang dirancang dapat bekerja dengan baik, yaitu secara umum diperoleh respon sistem dengan amplitudo osilasi kurang lebih 0,2°C.
3. Temperatur awal dan temperatur air yang masuk ke tangki akan semakin berpengaruh jika temperatur yang diinginkan semakin besar.
4. Hasil pengujian yang diperoleh untuk empat setting value yang berbeda adalah:
 - Setting value = 35,6°C, respon sistem mempunyai karakteristik $t_d = 29,5$ detik, $t_r = 73$ detik, $t_p = -$ dan tidak ada kesalahan keadaan tunak.
 - Setting value = 40,3°C, respon sistem mempunyai karakteristik $t_d = 39$ detik, $t_r = 85,5$ detik, $t_p = -$, dan tidak ada kesalahan keadaan tunak.
 - Setting value = 45,7°C, respon sistem mempunyai karakteristik $t_d = 53$ detik, $t_r = 120$ detik, $t_p = -$, dan terjadi kesalahan keadaan tunak.
 - Setting value = 50°C, respon sistem mempunyai karakteristik $t_d = 58$ detik, $t_r = 147$ detik, $t_p = -$, dan terjadi kesalahan keadaan tunak.
5. Sistem pengaturan temperatur yang dirancang dapat mengatasi gangguan berupa penambahan air dingin dan air panas dengan baik.

5.2 Saran

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

1. Untuk memperoleh tanggapan sistem yang lebih baik lagi, maka dapat dicoba dengan:
 - Mengubah dan mengatur basis aturan serta fungsi keanggotaan pada pengendali logika fuzzy atau menggunakan pengendali logika fuzzy adaptif.
 - Menggunakan aksi kontrol yang lain seperti aksi kontrol gabungan antara aksi kontrol logika fuzzy dengan aksi kontrol PID (aksi kontrol *hybrid*).
 - Menambah variabel masukan ke kontroler yaitu berupa besarnya temperatur air yang masuk ke dalam tangki.
2. Dilakukannya analisa terhadap pengaruh harmonisa dari pengaturan tegangan dan dilakukan perancangan filter untuk mengurangi efek dari harmonisa pada pengontrol tegangan
3. Jika menggunakan lebih dari satu pemanas, maka untuk rangkaian pengatur tegangannya menggunakan triac sendiri-sendiri, atau menggunakan triac dengan kemampuan tegangan, arus dan temperatur operasi yang lebih besar.
4. Untuk penggunaan daya pemanas yang lebih besar lagi, maka sebaiknya dibuat *box*/tempat yang terpisah antara kontroler dengan rangkaian pengatur tegangan pemanas.
5. Dapat dibuat program komputer untuk proses akuisisi data tiap periode samplingnya, sehingga respon sistem langsung dapat diamati dalam bentuk grafik dan program untuk mengatur fungsi keanggotaan dan aturan pengendali logika fuzzy secara langsung dari komputer.

DAFTAR PUSTAKA

1. Adel S. Sedra dan Kenneth C. Smith, *Rangkaian Mikroelektronik*, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1990.
2. Agfianto Eko Putra, *Belajar Mikrokontroler AT89C51/52/55*, Penerbit Gava Media, Yogyakarta, 2002.
3. Albert Paul Malvino. Ph.D, *Prinsip-prinsip Elektronik*, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1985.
4. Ashustosh Ahluwalia and Sencer Yeralan, *Programing and Interfacing The 8051 Microcontroler*, Adison-Wesley Publishing Company, New York, 1995.
5. Charles A. Schuler, William L. McNamee, *Industrial Electronics and Robotics*, Mc Graw Hill, New York, 1986.
6. Charles L. Philips and Royce D. Harboy, *Fedback Control System*, Prentice Hall Inc, New Jersey, 1991.
7. Jan Jantzen, *Design of Fuzzy Controllers*, Tech. Report no.98-E 864 (design), Department of Automation, Technical University of Denmark, August 1998.
8. Jhon C. Skroder, *Using The M68HC11 Microcontroller*, Prentice Hall International Inc, New Jersey, 1997.
9. JPM Steeman, *Data Sheet Book 2*, PT. Elek Media Komputindo, Jakarta, 1996.
10. Jun Yan, Michael Ryan and James Power, *Using Fuzzy Logic*, Prentice Hall, New York, 1994.
11. Katsuhiko Ogata, *Teknik Kontrol Automatik Jilid 1-2*, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1994.
12. Li-Xin Wang, *A Course in Fuzzy Systems and Control*, Prentice-Hall International Inc, New Jersey, 1997.
13. Moh. Ibnu Malik dan Anistardi, *Bereksperimen dengan Mikrokontroler 8031*, PT Elex Media Komputindo, Jakarta 1997.
14. Mohammad Jamsidi, Nader Vadiiee and Timothy J. Ross, *Fuzzy Logic and Control: Software and Hardware Applications*, Prentice Hall Inc, New Jersey, 1993.
15. Muhammad H. Rashid, *Power Electronics: Circuit, Device and Applications*, Prentice Hall Inc, New Jersey, 1988.
16. Muhammad Iqbal, *Pengaturan Suhu Cairan yang Mengalir dengan Fuzzy Logic Controller*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro, Semarang, 2001.
17. N.J. Ham, C.J. Hammerton and D. Sharples, *Power Semiconductor Applications*, Philips Semiconductors, 1994.
18. Ronald J. Tocci, *Digital Systems: Principle and Applications*, Prentice Hall Inc, New Jersey, 1991.
19. Stuart Bennet, *Real-Time Computer Control*, Prentice Hall, New Jersey, 1994.
20. Wasito S. Data Sheet Book 1: *Data IC Linier, TTL dan CMOS (Data Penting Komponen Elektronika)*, PT. Elex Media Komputindo, Jakarta, 1997.
21. W.F. Stoecker, *Design of Thermal System*, Mc Graw Hill Inc, Singapore, 1989.

SURYO KRIDO LAKSONO - (L2F098660)
 Tercatat sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang pada tahun 1998. Saat ini sedang menyelesaikan pendidikan S-1 pada jurusan yang sama dengan konsentrasi yang diambil adalah kontrol.

Mengetahui/Mengesahkan,

Pembimbing I

Pembimbing II

Sumardi. ST. MT
 NIP. 132 125 670

Aris Triwiyatno. ST
 NIP. 132 230 559