

# Pengaturan Suhu Ruangan Berbasis PID Menggunakan Mikrokontroler AT89S51

Edward Teguh Hartono<sup>1</sup>, Trias Andromeda, ST. MT.<sup>2</sup>, Sumardi, ST. MT.<sup>2</sup>

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

## Abstrak

Metode kendali Proporsional-Integral-Derivative (PID) merupakan sebuah metode kendali yang banyak diterapkan di bidang industri sampai saat ini. Kontroler ini memiliki parameter-parameter pengontrol, yaitu konstanta proporsional ( $K_p$ ), konstanta integral ( $K_i$ ), dan konstanta turunan ( $K_d$ ). Salah satu metode penalaan kendali PID yang dikenal adalah metode Ziegler-Nichols. Metode ini dapat digunakan pada plant yang memiliki waktu mati dan waktu tunda pada respon kalang terbukanya. Sedangkan untuk plant yang tidak memiliki waktu mati maupun waktu tunda pada respon kalang terbukanya, metode *trial and error* merupakan metode yang paling cocok untuk metode penalaannya.

Pada tugas akhir ini digunakan kendali PID secara digital, sehingga mikrokontroler AT89S51 digunakan untuk melakukan pengendalian tersebut. Selain itu, mikrokontroler juga melakukan perhitungan untuk PWM (Pulse Width Modulation) yang akan digunakan untuk mengatur kecepatan kipas angin sebagai aktuatornya.

Pada sistem ini berlangsung dua tahap pada aplikasinya, yaitu tahap memasukkan data untuk menentukan parameter-parameter kendali yang hendak digunakan dan tahap pengendalian yang dilakukan dengan menerapkan parameter-parameter yang telah didapatkan. Kedua tahap tersebut diterapkan dalam sebuah modul yang menggunakan mikrokontroler AT89S51.

**Kata kunci :** Kendali PID, Mikrokontroler AT89S51

## I. PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Metode kendali secara umum dapat digolongkan menjadi dua macam, yaitu kendali secara analog dan kendali secara digital. Masing-masing kendali tersebut masih dapat digolongkan menjadi dua macam lagi, yaitu kendali kalang terbuka dan kendali kalang tertutup.

Untuk Tugas Akhir ini, mikrokontroler AT89S51 dipilih sebagai kendali digital, karena keluarga mikrokontroler ini sudah banyak digunakan dalam dunia industri. Sedangkan metode kendali yang digunakan adalah kendali kalang tertutup dengan menggunakan metode Proporsional, Integral, Derivatif, maupun perpaduan di antara ketiganya.

Kipas angin digunakan sebagai pendingin (aktuator) dalam sistem pengaturan suhu ini, dan kecepatan putar kipas angin ini dikendalikan oleh mikrokontroler dengan menggunakan *Pulse Width Modulation* (PWM). Mikrokontroler ini digunakan sebagai pengendali (PID) dan PWM secara digital dalam sistem ini.

### Tujuan

Tujuan yang hendak dicapai adalah membuat prototipe sistem pengaturan suhu ruangan dengan menggunakan motor DC sebagai kipas angin kendali berbasis Proporsional, Integral, Derivatif, maupun perpaduan di antara ketiganya secara digital dengan mikrokontroler AT89S51.

### Batasan Masalah

Permasalahan yang dibahas terbatas pada beberapa pembatasan masalah berikut ini.

1. Suhu ruangan dibatasi pada kisaran 28<sup>o</sup>C-50<sup>o</sup>C.
2. Suhu di luar ruangan diasumsikan lebih rendah daripada di dalam ruangan.
3. Mikrokontroler yang digunakan adalah AT89S51.
4. *Plant* yang dikendalikan adalah *plant* pengaturan suhu udara dengan PWM *driver*.

5. Proses yang dapat dilakukan oleh sistem hanyalah proses pendinginan oleh motor DC dan suhu *plant* dianggap merata di daerah yang diatur suhunya.
6. Proses pemanasan dilakukan secara konstan oleh lampu pijar 40W.
7. Suhu yang dijadikan referensi untuk perhitungan adalah suhu hasil pembacaan dari sensor suhu LM35 tanpa kalibrasi dengan peralatan pengukur suhu standar.
8. Jangkauan pengaturan suhu udara adalah 30 °C sampai dengan 40 °C dengan kenaikan sebesar 1 °C, sedangkan jangkauan pengukuran suhu adalah 0 °C sampai dengan 78 °C.
9. Pengendali PID diterapkan menggunakan mikrokontroler AT89S51.
10. Metode penalaan PID yang digunakan adalah metode *trial and error*.

## II. DASAR TEORI

### Sistem Kendali PID

Pengendali PID adalah suatu sistem pengendali yang merupakan gabungan antara pengendali proporsional, integral, dan turunan (*derivative*). Dalam waktu kontinyu, sinyal keluaran pengendali PID dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \dots\dots\dots(1)$$

dengan:  $u(t)$  = sinyal keluaran pengendali PID

$K_p$  = konstanta proporsional

$K_i$  = konstanta integral

$K_d$  = konstanta turunan

$e(t)$  = sinyal kesalahan

Karena teknik ini sudah terbukti begitu berguna untuk kontrol waktu kontinyu, maka diinginkan untuk dikembangkan algoritma kontrol digital yang memiliki

karakter serupa dengan skema waktu kontinyu. Integral akan dihitung dengan integrasi trapezoidal dan derivatif dengan persamaan beda arah balik.

Dengan menggunakan integrasi trapezoidal dan derivatif dengan persamaan beda arah balik, persamaan sinyal kontrol pada persamaan (1) dapat dituliskan seperti pada Persamaan (2).

$$u_k = K_p e_k + K_I T \left[ \frac{1}{2}(e_0 + e_1) + \frac{1}{2}(e_1 + e_2) + \dots + \frac{1}{2}(e_{k-1} + e_k) \right] + \frac{K_d}{T} (e_k - e_{k-1}) \dots (2)$$

Sedangkan algoritma untuk (k-1) adalah seperti pada Persamaan (3).

$$u_{k-1} = K_p e_{k-1} + K_I T \left[ \frac{1}{2}(e_0 + e_1) + \dots + \frac{1}{2}(e_{k-2} + e_{k-1}) \right] + \frac{K_d}{T} (e_{k-1} - e_{k-2}) \dots (3)$$

Pengurangan dari Persamaan (2) dan (3) menghasilkan Persamaan (4).

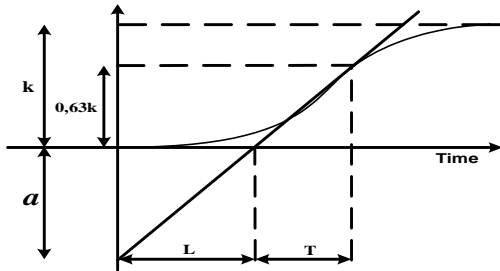
$$u_k - u_{k-1} = K_p (e_k - e_{k-1}) + \frac{K_I T}{2} (e_{k-1} + e_k) + \frac{K_d}{T} (e_k - 2e_{k-1} + e_{k-2}) \dots (4)$$

Atau menggabungkan waktu cuplik yang sama menghasilkan Persamaan (5).

$$u_k = u_{k-1} + \left( K_p + \frac{K_I T}{2} + \frac{K_d}{T} \right) e_k + \left( \frac{K_I T}{2} - K_p - \frac{2K_d}{T} \right) e_{k-1} + \frac{K_d}{T} e_{k-2} \dots (5)$$

## 2.2 Penalaan Pengendali PID

Penalaan pengendali PID pada dasarnya adalah mencari nilai konstanta-konstanta  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$ . Ada beberapa metode penalaan yang dapat digunakan, seperti metode Ziegler-Nichols. Metode ini merupakan metode penalaan yang paling sering digunakan. Sedangkan metode lain yang dapat digunakan adalah metode *trial and error*, di mana nilai  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  didapat dari hasil coba-coba.



Gambar 1 Kurva tanggapan berbentuk S

Metode Ziegler-Nichols didasarkan pada respon *plant* terhadap masukan tangga (*step*) dalam kalang terbuka. Dari kurva tanggapan terhadap masukan tangga yang diperoleh seperti pada Gambar 1, *plant* tersebut dapat dianalisa. Jika ditarik garis singgung pada titik peralihan kurva S dan melanjutkannya sampai memotong garis kondisi tunak, maka akan diperoleh parameter waktu tunda L dan konstanta waktu T.

Parameter-parameter yang didapat dari kurva reaksi digunakan untuk menentukan parameter-parameter pengendali PID berdasarkan tetapan-tetapan empiris Ziegler-Nichols. Rumus-rumus untuk mencari parameter pengendali menggunakan metode kurva reaksi ditabelkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Rumus parameter PID dengan penalaan Ziegler-Nichols

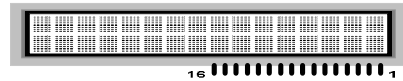
Pengendali	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$1/a$	-	-
PI	$0,9/a$	3L	-
PID	$1,2/a$	2L	$L/2$

## 2.3 Mikrokontroler AT89S51

AT89S51 merupakan sebuah mikrokontroler yang mengkonsumsi daya rendah dengan CMOS 8 bit serta memiliki memori *flash* internal sebesar 4 Kbyte. Perangkat keras ini juga kompatibel dengan pin-pin keluaran dan instruksi-instruksi standar industri 80C51. *Flash* internal memungkinkan memori program diprogram ulang dalam sebuah sistem rangkaian atau dengan sebuah memori pemrogram *non volatile* konvensional.

## 2.4 Penampil Kristal Cair (LCD)

Penampil Kristal Cair atau *Liquid Crystal Display* (LCD) adalah peralatan yang terdiri dari kristal cair dan chip memori pengolah tampilan untuk menampilkan karakter. LCD yang digunakan adalah M1632 yang mampu menampilkan data sebanyak 16 karakter dalam 2 baris, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.

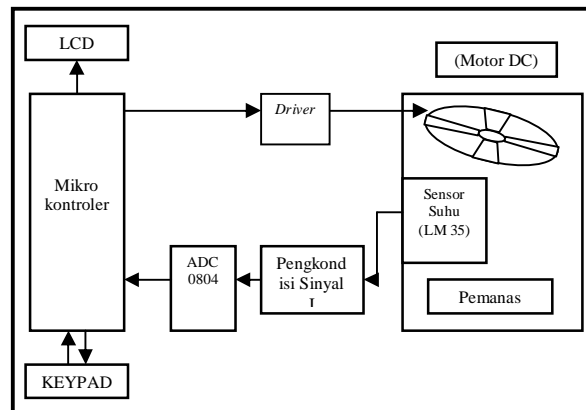


Gambar 2 LCD M1632 tampak atas.

## III. PERANCANGAN

### 3.1 Perancangan Perangkat Keras

Perangkat keras dirancang seperti pada Gambar 3. Mikrokontroler digunakan untuk menghitung selisih antara suhu referensi dengan suhu keadaan nyata. Selain itu mikrokontroler juga digunakan sebagai pengendali PID digital dan pemodulasi lebar pulsa (PWM / *Pulse Width Modulation*) untuk tegangan masukan motor DC. Mikrokontroler juga dihubungkan dengan LCD dan sebuah keypad 12 tombol. LCD digunakan sebagai penampil data yang dimasukkan dan pemantau suhu keadaan nyata. Sedangkan keypad 12 tombol yang terhubung ke mikrokontroler berfungsi dalam proses input data ke dalam mikrokontroler.

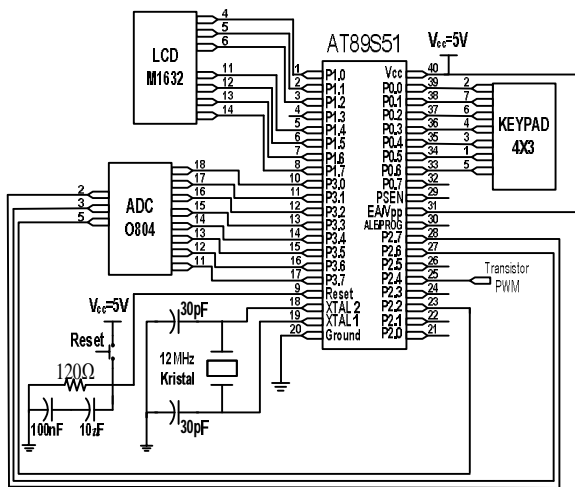


Gambar 3 Diagram blok perangkat keras pengaturan suhu udara.

Data yang masuk ke dalam mikrokontroler berupa data digital, sehingga diperlukan pengubah sinyal analog yang berasal dari sensor suhu menjadi sinyal digital. Pengubah sinyal analog ke bentuk digital yang digunakan adalah ADC 0804. Sinyal analog yang menjadi masukan ADC 0804 telah diperkuat oleh pengkondisi sinyal karena tegangan analog yang dihasilkan oleh sensor suhu LM35 cukup kecil, sedangkan tegangan yang diperlukan oleh ADC 0804 adalah tegangan dalam jangkauan 0 sampai dengan 5 volt. Sedangkan tegangan masukan ke motor DC diperoleh dari supply 12 V yang dikendalikan oleh PWM digital dari mikrokontroler.

### 3.1.1 Mikrokontroler AT89S51

Rangkaian sistem minimum mikrokontroler AT89S51 dapat dilihat pada Gambar 4.



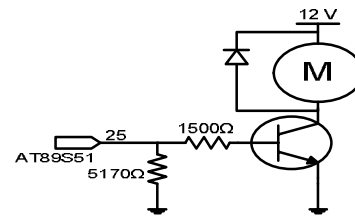
Gambar 4 Sistem minimum mikrokontroler AT89S51.

Pada perancangan sistem pengaturan ini, *port* 0 digunakan untuk *scanning* keypad, *port* 1 digunakan sebagai *port* pengiriman data ke LCD, dan *port* 3 digunakan sebagai pembaca data dari ADC 0804. *Port* 2 digunakan untuk beberapa keperluan, yaitu untuk pengendali perintah ke ADC (menggunakan pin p2.2, p2.6 dan p2.7), dan untuk PWM (menggunakan pin 2.4).

Gambar 4 juga menunjukkan adanya sebuah tombol yang dihubungkan dengan mikrokontroler. Tombol tersebut digunakan untuk *reset* mikrokontroler. Setelah tombol *reset* diaktifkan, semua pin masukan dan keluaran akan diberi logika '1'.

### 3.1.2 Driver PWM

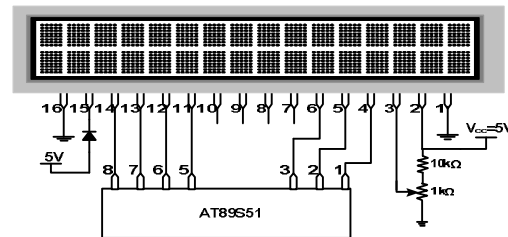
Dalam tugas akhir ini digunakan PWM digital. Sedangkan *driver* PWM digunakan untuk menghubungkan pin 25 mikrokontroler (yang digunakan sebagai keluaran PWM dari mikrokontroler) dengan kipas angin (yang membutuhkan tegangan 12 volt) sehingga kecepatan putar kipas angin sebagai pendingin dapat dikendalikan. *Skema* dari *driver* PWM ini ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Skema *plant* pengatur suhu dengan PWM *driver*.

### 3.1.3 Penampil Kristal Cair (LCD) M1632

LCD M1632 dipilih sebagai alat untuk pengamatan visual. Rangkaian untuk mengoperasikan LCD ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6 Rangkaian LCD M1632.

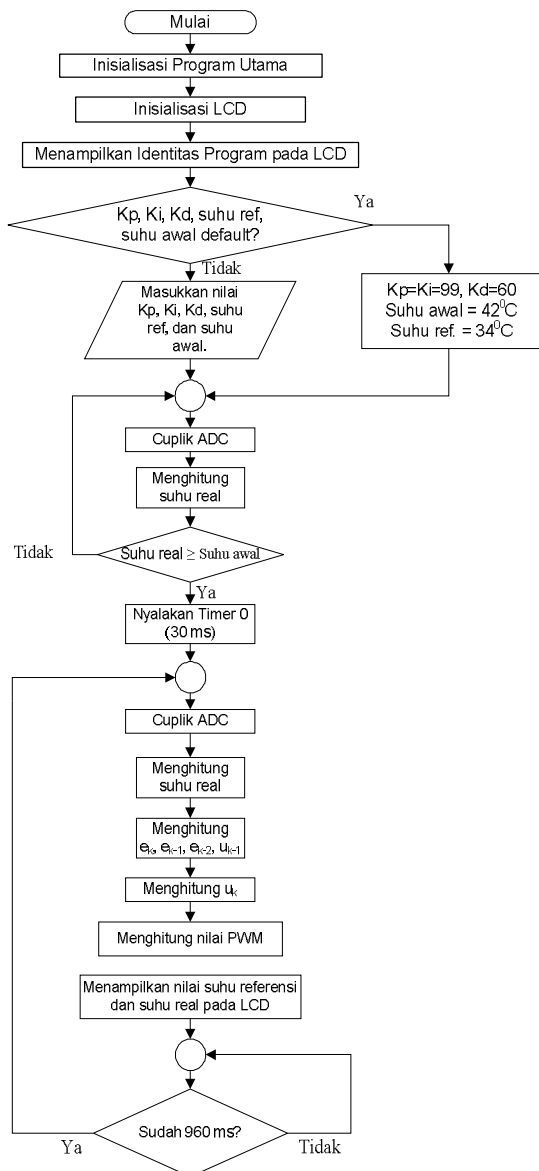
Mode kerja yang digunakan adalah mode 4 bit, sehingga bus data yang digunakan hanyalah DB4 - DB7. DB4 - DB7 dari LCD M1632 dihubungkan langsung dengan P1.4 - P1.7 mikrokontroler. Kendali kerja LCD dilakukan oleh P1.0 untuk pin RS (kaki 4), P1.1 untuk pin  $\overline{R/W}$  (kaki 5), dan P1.2 untuk pin E (kaki 6) pada LCD.

## 3.2 Perancangan Perangkat Lunak

Pengontrolan dengan mikrokontroler menggunakan bahasa assembler sebagai perangkat lunaknya. Pada awal program ditawarkan untuk memilih pengendalian dengan menggunakan nilai  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$ , suhu referensi, dan suhu awal yang telah ditetapkan di dalam program atau hendak memasukkan nilai-nilai tersebut sendiri. Jika hendak memasukkan nilai-nilai tersebut sendiri, maka nilai  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$ , suhu referensi, dan suhu awal yang dikehendaki dapat dimasukkan ke dalam mikrokontroler melalui keypad 12 tombol.

Setelah pemberian nilai  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$ , suhu referensi, dan suhu awal selesai, maka mikrokontroler akan melakukan pencuplikan nilai suhu real melalui ADC, lalu menghitung nilai suhu keadaan nyata. Setelah itu, mikrokontroler akan memeriksa apakah suhu keadaan nyata sudah mencapai suhu awal atau belum. Jika sudah, baru mikrokontroler akan melakukan proses perhitungan selanjutnya, yaitu mendapatkan nilai  $e_k$ ,  $e_{k-1}$ ,  $e_{k-2}$ ,  $u_{k-1}$ , dan kemudian menghitung sinyal kendali  $u_k$ .

Setelah didapat sinyal kendali  $u_k$ , mikrokontroler akan melakukan konversi untuk mengubah nilai sinyal kendali  $u_k$  sehingga diperoleh nilai yang dapat digunakan sebagai masukan untuk PWM driver. Perhitungan serta pengendalian ini akan terus menerus dilakukan oleh mikrokontroler secara berulang-ulang. Diagram alir program utama secara umum dapat dilihat pada Gambar 7.

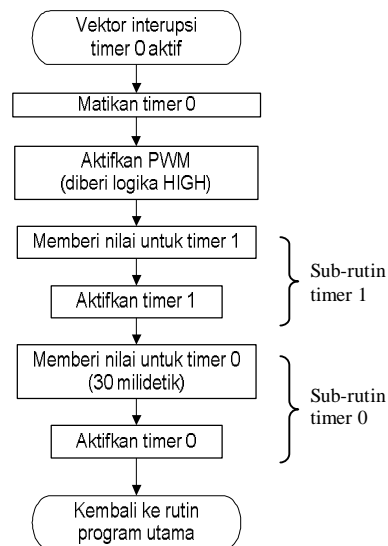


Gambar 7 Diagram alir program utama secara umum.

### 3.2.1 Perancangan Program PWM

Pada program ini digunakan dua buah interupsi untuk menjadi PWM digital, yaitu interupsi timer 0 dan interupsi timer 1. Timer 0 diberi nilai 30 milidetik, yaitu nilai untuk satu periode PWM. Sedangkan timer 1 diberi nilai lebar pulsa ON untuk PWM yang telah diperoleh melalui pengkonversian nilai  $u_k$ .

Jadi, timer 0 akan memberikan interupsi setiap 30ms. Setelah interupsi dari timer 0 diberikan, mikrokontroler akan menjalankan sub rutin interupsi timer 0, yaitu menonaktifkan timer 0, memberikan logika *high* untuk PWM, mengaktifkan timer 1, mengisi kembali timer 0 dengan nilai 30 milidetik, dan mengaktifkan kembali timer 0. Setelah itu mikrokontroler akan kembali menjalankan program utama. Diagram alir sub rutin interupsi timer 0 dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8 Diagram alir sub rutin interupsi timer 0.

Program assembler untuk sub-rutin interupsi timer 0 adalah sebagai berikut.

```
org 0Bh ; vektor interupsi timer 0
CLR TR0 ; menonaktifkan timer 0
SETB PWM ; memberikan logika high pada PWM
ACALL Timer1 ; memanggil sub rutin timer 1
ACALL Timer0 ; memanggil sub rutin timer 0
RETI ; keluar dari sub-rutin interupsi ; dan kembali ke program utama
```

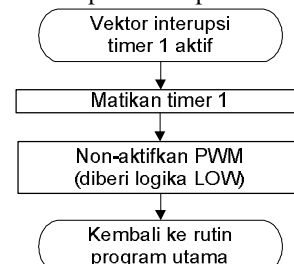
Sedangkan penjelasan untuk sub-rutin timer 0 dan timer 1 adalah sebagai berikut.

```
Timer1:
MOV Th1,78h ; isi timer 1 dengan lama waktu
MOV Tl1,77h ; ON untuk PWM (ambil nilai dari
; alamat 77h dan 78h
SETB Tr1 ; aktifkan timer 1
RET ; kembali dari sub-rutin timer 1

Timer0:
MOV Th0,#HIGH TIGAPLHMS ; isi timer dg
MOV Tl0,#LOW TIGAPLHMS ; lama periode
; PWM,yaitu 30
; milidetik.
SETB Tr0 ; aktifkan timer 0
RET ; kembali dari sub-rutin timer 0
```

Timer 1 diisi dengan lama waktu tegangan high diberikan, yaitu nilai lebar pulsa ON untuk PWM. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat kembali pada gambar 13.

Jadi, timer 1 akan menentukan lebar pulsa ON pada PWM. Setelah interupsi dari timer 1 diberikan, mikrokontroler akan menjalankan sub rutin interupsi timer 1, yaitu menonaktifkan timer 1 dan memberikan logika *low* untuk PWM. Setelah itu mikrokontroler akan kembali menjalankan program utama. Diagram alir sub rutin interupsi timer 1 dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Diagram alir sub rutin interupsi timer 1.

Program assembler untuk sub-rutin interupsi timer 1 adalah sebagai berikut.

```

org 1Bh ;vektor interupsi timer 1
CLR TR1 ;menonaktifkan timer 1
CLR PWM ;memberikan logika low pada PWM
RETI ;keluar dari sub-rutin interupsi
;dan kembali ke program utama

```

### 3.2.2 Perancangan Program PID

Pada sub-bab ini akan dibahas bagian program assembler yang berfungsi melakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai  $U_k$  dari hasil kendali PID. Bagian program tersebut dan penjelasannya adalah sebagai berikut.

```

#####
;## MENGHITUNG (.....) x ek-2 ####
#####
EK_2: MOV A,32H ; A = Kd
      MOV B,34H ; B = T
      DIV AB
      MOV 51H,A ; 51H = Kd/T
      MOV 52H,B ; 52H = sisa Kd/T
      MOV 62H,A ; 62H = Kd/T

#####
;##### MENGHITUNG (.....) x ek #####
#####
      MOV A,31H ; A = Ki
      MOV 50H,A ; 50H = KiT/2
      ADD A,30H ; A = KiT/2 + Kp
      ADD A,51H ; A = KiT/2 + Kp + Kd/T
      MOV 60H,A ; 60H=( KiT/2 + Kp + Kd/T )

#####
;##### MENGHITUNG (.....) x ek-1 #####
#####
      MOV A,50H ; A = KiT/2
      SUBB A,30H ; A = KiT/2 - Kp
      JC NEGATIF_1
      SUBB A,32H ; A = KiT/2 - Kp - Kd
      JC NEGATIF_2
      MOV 61H,A ;61H=(KiT/2 - Kp - 2Kd/T)
      SJMP RUTIN1

NEGATIF_1:
      CLR C
      CPL A
      INC A
      SETB 00H ; 61h bernilai negatif
      ADD A,32H
      MOV 61H,A ; 61H=(KiT/2-Kp-2Kd/T)
      SJMP RUTIN1

NEGATIF_2:
      CLR C
      CPL A
      INC A
      SETB 00H
      MOV 61H,A ; 61H=(KiT/2-Kp-2Kd/T)
      SJMP RUTIN1

#####
;#MENGALIKAN KONSTANTA DG ek,ek-1,ek-2 ###
#####
RUTIN1:
      MOV A,60H
      MOV B,44H
      MUL AB
      MOV 6Ah,A ; 6Ah=ek x (KiT/2+Kp+Kd/T)
; low byte
      MOV 6Bh,B ; high byte

      MOV A,61H
      MOV B,45H
      MUL AB
      MOV 6Ch,A ; 6Ch=ek-1 x (KiT/2-Kp-2Kd/T)
;low byte
      MOV 6Dh,B ;high byte

      MOV A,62H

```

```

MOV B,46H
MUL AB
MOV 6Eh,A ; 6Eh = ek-2 x (Kd/T)
; low byte
MOV 6Fh,B ; high byte

#####
;##### JUMLAHKAN HASIL PERHITUNGANNYA #####
#####
      MOV R0,6Ah
      MOV R1,6Bh
      MOV R2,6Eh
      MOV R3,6Fh
      MOV C,01h
      MOV 06h,C
      MOV C,03h
      MOV 07h,C
      CLR C
      ACALL TOTAL ; R1R0 + R3R2

      MOV R0,06h
      MOV R1,07h
      MOV R2,42h
      MOV R3,43h
      MOV C,08h
      MOV 06h,C
      MOV C,05h
      MOV 07h,C
      CLR C
      ACALL TOTAL ; R1R0 + R3R2

      JB 00h,UUU
      MOV C,02h
      MOV 07h,C

UUUU:
      MOV C,08h
      MOV 06h,C
      MOV R0,06h
      MOV R1,07h
      MOV R2,6Ch
      MOV R3,6Dh
      CLR C
      ACALL TOTAL ; R1R0 + R3R2

      MOV 40H,R6 ; 40H diisi Uk low byte
      MOV 41H,R7 ; 41H diisi Uk high byte
      MOV C,08h
      MOV 04h,C
      CLR C

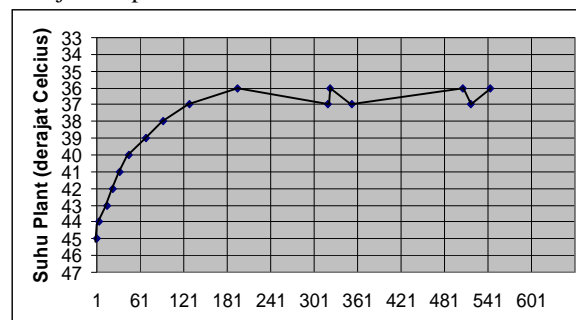
UUU: MOV C,02h
      CPL C
      MOV 07h,C
      SJMP UUUU

```

## IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS

### Pengujian Kalang Terbuka

Pengujian kalang terbuka dilakukan untuk melakukan penalaan PID dengan metode Ziegler-Nichols. Pada pengujian ini, *plant* diberi masukan berupa tegangan 6 volt yang diberikan ke kipas. Tanggapan *plant* tersebut ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10 Tanggapan *plant* suhu untuk kalang terbuka.

Tanggapan *plant* suhu menunjukkan bahwa pada *plant* ini tidak ada waktu tunda (*delay time*), karena setelah *plant* dijalankan suhu akan langsung menurun dengan cepat. Dengan demikian metode Ziegler-Nichols untuk penalaan PID tidak dapat diterapkan untuk *plant* ini. Sehingga untuk *plant* ini digunakan metode *trial and error* untuk mendapatkan nilai Kp, Ki, dan Kd yang terbaik.

Pengujian ini menghasilkan tanggapan *plant* yang berkisar antara 36°C – 37°C. Hal ini disebabkan suhu lingkungan yang berpengaruh besar pada sistem *plant* pengaturan suhu.

### Pengujian Penalaan PID dengan *Trial and Error*

Pengendalian PID pada pengujian ini dilakukan dengan menggunakan nilai parameter-parameter secara *trial and error*, sehingga didapat nilai parameter yang menghasilkan pengendalian yang paling optimal. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja pengendali PID dengan parameter-parameter tersebut, terhadap nilai referensi suhu yang diberikan, yaitu sebesar 34°C.

#### 4.2.1 Pengujian dengan Variasi Nilai Kp

Dari tanggapan suhu *plant* pemanas udara dengan variasi nilai Kp = 80, 90, 99, dan nilai Ki dan Kd yang tetap (Ki = 99, Kd = 60) dapat diketahui beberapa karakteristik sistem *plant*. Karakteristik sistem ditabelkan dalam Tabel 2.

Tabel 2 Karakteristik tanggapan sistem (Suhu Awal = 42°C, Suhu Referensi = 34°C).

Kp	Ki	Kd	t <sub>r</sub> (dtk)	t <sub>p</sub> (dtk)	t <sub>s</sub> (dtk)	Mp (%)
80	99	60	85	137	407	12,5
90	99	60	78	130	392	12,5
99	99	60	72	136	386	12,5

Pengujian pengendalian PID dilakukan pada tiga nilai Kp yang berbeda dengan suhu awal dan suhu referensi yang sama. Sesuai dengan nilai referensi yang diberikan terhadap suhu awal sistem, didapatkan karakteristik waktu tanggapan sistem yang semakin cepat untuk nilai Kp yang semakin besar. Demikian pula, waktu penetapan dan waktu puncak pun semakin cepat untuk Kp yang semakin besar.

Tanggapan sistem mencapai kestabilan pada suhu referensi dengan toleransi sebesar 1°C. Hal ini dikarenakan *error* dideteksi dengan skala minimum 1°C.

#### 4.2.2 Pengujian dengan Variasi Nilai Ki

Dari tanggapan suhu *plant* pemanas udara dengan variasi nilai Ki = 80,90,99, dan nilai Kp dan Kd yang tetap (Kp = 99, Kd = 60) dapat diketahui beberapa karakteristik sistem *plant* pemanas. Karakteristik sistem ditabelkan dalam Tabel 3.

Tabel 3 Karakteristik tanggapan sistem (Suhu Awal = 42°C, Suhu Referensi = 34°C).

Ki	Kp	Kd	t <sub>r</sub> (dtk)	t <sub>p</sub> (dtk)	t <sub>s</sub> (dtk)	Mp (%)
80	99	60	103	193	488	12,5
90	99	60	95	180	464	12,5
99	99	60	80	131	395	12,5

Pengujian pengendalian PID dilakukan pada tiga nilai Ki yang berbeda dengan suhu awal dan suhu referensi yang sama. Sesuai dengan nilai referensi yang diberikan terhadap suhu awal sistem, didapatkan karakteristik waktu tanggapan sistem yang semakin cepat untuk nilai Ki yang semakin besar. Demikian pula, waktu penetapan dan waktu puncak pun semakin cepat untuk Ki yang semakin besar.

Tanggapan sistem mencapai kestabilan pada suhu referensi dengan toleransi sebesar 1°C. Hal ini dikarenakan *error* dideteksi dengan skala minimum 1°C.

#### 4.2.3 Pengujian dengan Variasi Nilai Kd

Dari tanggapan suhu *plant* pemanas udara dengan variasi nilai Kd = 60,70,80, dan nilai Kp dan Ki yang tetap (Kp=99, Ki=99) dapat diketahui beberapa karakteristik sistem *plant* pemanas. Karakteristik sistem ditabelkan dalam Tabel 4.

Tabel 4 Karakteristik tanggapan sistem (Suhu Awal = 42°C, Suhu Referensi = 34°C).

Kd	Kp	Ki	t <sub>r</sub> (dtk)	t <sub>p</sub> (dtk)	t <sub>s</sub> (dtk)	Mp (%)
60	99	99	80	131	395	12,5
70	99	99	84	144	428	12,5
80	99	99	94	167	469	12,5

Pengujian pengendalian PID dilakukan pada tiga nilai Kd yang berbeda dengan suhu awal dan suhu referensi yang sama. Sesuai dengan nilai referensi yang diberikan terhadap suhu awal sistem, didapatkan karakteristik waktu tanggapan sistem yang semakin lambat untuk nilai Kd yang semakin besar. Ini disebabkan sifat dari Kd yang meredam sistem dengan mengurangi akslerasi sinyal kendali. Waktu penetapan dan waktu puncak pun akan semakin lambat untuk Kd yang semakin besar.

Tanggapan sistem mencapai kestabilan pada suhu referensi dengan toleransi sebesar 1°C. Hal ini dikarenakan *error* dideteksi dengan skala minimum 1°C.

#### 4.3 Pengujian Pengendalian PID

Pengendalian PID pada pengujian ini dilakukan dengan menerapkan parameter-parameter yang didapat dari pengujian penalaan. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja pengendali PID dengan parameter-parameter tersebut, terhadap perubahan nilai referensi suhu yang diberikan. Dari tanggapan suhu *plant* pemanas udara dengan nilai referensi sebesar 34 °C, 35 °C, dan 36 °C dapat diketahui beberapa karakteristik sistem *plant* pemanas. Karakteristik sistem ditabelkan dalam Tabel 5.

Tabel 5 Karakteristik tanggapan sistem.

Referensi (°C)	Suhu awal (°C)	t <sub>r</sub> (dtk)	t <sub>p</sub> (dtk)	t <sub>s</sub> (dtk)	Mp (%)
34	42	80	131	395	12,5
35	42	63	193	266	28,57
36	42	44	105	194	33,33

Pengujian pengendalian PID dilakukan pada tiga nilai referensi yang berbeda dengan suhu awal yang sama. Sesuai dengan nilai referensi yang diberikan terhadap suhu awal sistem, didapatkan karakteristik waktu tanggapan sistem yang semakin lama untuk nilai

referensi yang semakin kecil (semakin besar selisihnya dari nilai awal).

Lewatan maksimum yang terjadi untuk ketiga tanggapan sistem terlihat sangat besar, terutama untuk tanggapan dengan nilai referensi sebesar  $36^{\circ}\text{C}$ . Persentase lewatan maksimum yang cukup besar ini terjadi akibat besarnya konstanta proporsional yang diberikan pada pengendali. Besarnya nilai konstanta proporsional membuat sinyal kendali yang diberikan kepada pemanas mempunyai nilai maksimum selama tanggapan peralihan sistem, bahkan sampai beberapa saat setelah melewati suhu referensi.

Lonjakan maksimum untuk referensi  $34^{\circ}\text{C}$  terlihat kecil bila dibandingkan dengan dua referensi lainnya. Hal ini dapat terjadi karena terbatasnya kemampuan kipas untuk mendinginkan sistem. Terbatasnya kemampuan pendinginan sistem ini disebabkan karena suhu referensi semakin mendekati suhu lingkungan di luar *plant*, sehingga untuk menurunkan suhu dibutuhkan waktu yang semakin lama. Kecepatan respon sistem ini sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan di luar *plant*. Ini disebabkan karena kipas pendingin mengambil udara dari luar sistem untuk mendinginkan sistem, sehingga semakin tinggi suhu di luar sistem maka akan semakin lama pula proses penurunan suhu pada sistem ini. Dari grafik tanggapan *plant* suhu terlihat bahwa kemampuan kipas untuk menurunkan suhu mulai berkurang setelah melewati suhu sekitar  $35^{\circ}\text{C}$ .

Peranan konstanta turunan kurang terasa pada *plant* ini. Ini dikarenakan karakteristik *plant* yang memiliki respon yang lambat, sehingga dengan adanya pemberian konstanta turunan justru akan semakin memperlambat respon sistem, karena sifat konstanta turunan yang meredam sistem dengan mengurangi akselerasi sinyal kendali.

Tanggapan sistem mencapai kestabilan pada suhu referensi dengan toleransi sebesar  $1^{\circ}\text{C}$ . Hal ini dikarenakan *error* dideteksi dengan skala minimum  $1^{\circ}\text{C}$ .

## V. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa yang telah dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Penalaan PID dengan Metode Ziegler-Nichols hanya dapat diterapkan pada *plant* yang memiliki waktu tunda dan waktu mati. Sehingga untuk *plant* yang tidak memiliki waktu tunda dan waktu mati, penalaan PID dapat dilakukan dengan menggunakan metode *trial and error*, walaupun metode ini membutuhkan waktu yang cukup lama.
2. Dengan menggunakan  $K_p = 99$ , waktu naik ( $T_r$ ) sistem menjadi lebih cepat 6 detik daripada  $K_p = 90$  dan lebih cepat 13 detik daripada  $K_p = 80$ .
3. Dengan menggunakan  $K_i = 99$ , waktu naik ( $T_r$ ) sistem menjadi lebih cepat 5 detik daripada  $K_i = 90$  dan lebih cepat 8 detik daripada  $K_i = 80$ .
4. Untuk *plant* pengaturan suhu ini, peranan konstanta derivatif kurang terasa menguntungkan karena sifat dari *plant* yang memiliki respon yang lambat.
5. Dengan menggunakan  $K_d = 80$ , waktu naik ( $T_r$ ) sistem menjadi lebih lambat 10 detik daripada  $K_d = 70$  dan lebih lambat 14 detik daripada  $K_d = 60$ .

### 5.2 Saran

1. Untuk mendapatkan respon pendinginan yang lebih cepat, *plant* dapat diletakkan di dalam ruangan yang memiliki suhu yang cukup rendah.
2. Untuk mendapatkan pengaturan suhu yang lebih akurat, resolusi suhu *plant* yang diamati dapat dibuat lebih kecil.

## DAFTAR PUSTAKA

- (1) Astrom, Karl Johan and Bjorn Wittenmark, *Adaptive Control*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1989.
- (2) Ercegovac, Milos D. and Tomas Lang, *Digital Systems and Hardware/Firmware Algorithms*, University of California, Los Angeles, 1985.
- (3) Jacquot, Raymond G., *Modern Digital Control System*, Marcel Dekker, Inc., New York, 1981.
- (4) Ogata, Katsuhiko, *Teknik Kontrol Otomatik, Jilid 1*, Jakarta : Erlangga, 1991.
- (5) Putra, Afgianto Eko, *Belajar Mikrokontroler AT89C51/52/55*, Edisi Pertama, Yogyakarta : Gava Media, 2002.
- (6) .....<http://alds.stts.edu/DIGITAL/Interrupt.htm>
- (7) .....<http://alds.stts.edu/DIGITAL/Timer.htm>
- (8) .....<http://www.eio.com:80/cgi-bin/byteserver.pl/m1632.pdf>
- (9) .....<http://www.national.com/ds/LM/LM35.pdf>

## BIOGRAFI



### Edward Teguh H-(L2F001591)

Tercatat sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang sejak tahun 2001. Saat ini sedang menyelesaikan pendidikan S-1 pada jurusan yang sama dengan konsentrasi kontrol.

Email: [steve\\_3dward@hotmail.com](mailto:steve_3dward@hotmail.com)

## Mengetahui,

Pembimbing I,

Pembimbing II,

**Sumardi, ST. MT.**  
NIP. 132 125 670

**Trias A, ST.MT.**  
NIP. 132 283 185