

PENGEMBANGAN SISTEM PENGONTROL SUHU MENGUNAKAN KOMPUTER PERSONAL

Achmad Hindasyah, Bambang H.P., Agung W.K., Eko Y.P. dan Rilaz Anwar

Puslitbang Iptek Bahan (P3IB) - BATAN
Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang 15314

ABSTRAK

PENGEMBANGAN SISTEM PENGONTROL SUHU MENGGUNAKAN KOMPUTER PERSONAL. Sebuah sistem pengontrol suhu telah berhasil dibuat di Sub Bidang Instrumentasi-BKI-P3IB-BATAN. Sistem ini dibuat dengan menggunakan termokopel tipe K, komputer 486, ADC 16 bit, DAC 12 bit, perangkat analog dan sambungan dingin elektronik. Suhu *furnace* diukur dengan menggunakan termokopel tipe K berupa tegangan listrik kemudian dikonversi menjadi data digital dengan menggunakan ADC. Data ADC ini dikonversi menjadi data suhu dengan menggunakan persamaan aproksimasi suhu berupa polinom sebagai fungsi dari tegangan emf termokopel sesuai dengan aturan ITS 90. Suhu hasil perhitungan ini kemudian dikurangkan dengan suhu *setting* yang menghasilkan beda suhu. Beda suhu dijadikan sinyal masukan ke pengontrol. Keluaran pengontrol digunakan untuk memanipulasi energi masukan ke *furnace* melalui DAC. Program kontrol ini dibuat dengan menggunakan bahasa *Borland Delphi 3,0* dan bahasa *assembler intel 8088* dengan sistem operasi *windows 95* atau di atasnya. Sistem pengontrol suhu ini telah dicoba untuk suhu *setting* 100 °C, 200 °C, 300 °C, 400 °C dan 500 °C. Dari hasil pengujian diperoleh bahwa suhu dapat dikontrol dengan baik. Fluktuasi suhu rata-rata pada daerah *setting* + 5,75 °C.

Kata kunci : Sistem pengontrol suhu, termokopel tipe K

ABSTRACT

THE DEVELOPMENT OF TEMPERATURE CONTROL SYSTEM USING PERSONAL COMPUTER. A temperature control system has been developed successfully at Sub Bidang Instrumentasi-BKI-P3IB-BATAN. The system consist of a thermocouple K type, computer 486, ADC 16 bit, DAC 12 bit, analog ware and electronics cold junction. The furnace temperature measured by thermocouple K type as electrical voltage, then ADC converts it to a digital data. Using a polynomials equation of approximate temperature as a function of thermocouple EMF, the digital data are converted to a temperature, according to ITS 90. Error is resulted by the different between set point temperature and actual temperature. The error deviation becomes an input signal to the controller. Controller output is used to manipulate the input energy to furnace trough DAC. This control program is performed using the *Borland Delphi 3.0* and the *intel assembler 8088* language with operating system of *windows 95* or above. This temperature control system has been tested and tried for temperature range of 100 °C, 200 °C, 300 °C, 400 °C dan 500 °C. The result of test show that the temperature can be controlled correctly. The average of fluctuation of temperature at setting area is ± 5.75 °C.

Key words Temperature control system, thermocouple K type

PENDAHULUAN

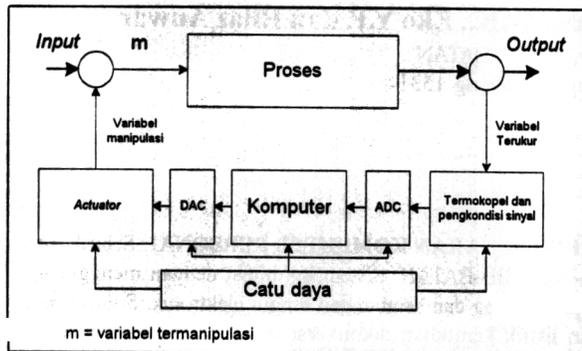
Sejalan dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, banyak sistem dalam proses industri maupun penelitian ilmiah memerlukan bantuan pengontrol suhu untuk memperoleh hasil yang diharapkan seoptimal mungkin. Pengontrolan suhu dapat dilakukan secara manual maupun otomatis[1]. Makalah ini menguraikan mengenai pembuatan pengontrol suhu otomatis dengan menggunakan komputer personal berbasis *windows*.

Saat ini, pengontrol suhu banyak dilakukan dengan menggunakan paket terpadu *programmable logic* seperti PLC dan PLD[2]. Kelemahan dari sistem ini adalah ketelitian pengukuran yang rendah, karena pada

umumnya hanya menggunakan 8 bit data biner. Disamping itu, sistem ini sulit dikembangkan sesuai dengan kebutuhan pengguna karena sudah terkunci dan sistem dengan PLC atau PLD tidak dapat merekam data dan menyimpannya sebagai *file*.

Sistem pengontrol suhu yang dikembangkan ini dapat mengatasi kelemahan-kelemahan sistem pengontrol dengan *programmable logic*. Sistem pengontrol ini terdiri dari beberapa bagian yaitu sensor, pengolah sinyal analog, perangkat antar muka kartu ADC 16 bit - DAC 12 bit dan komputer personal 486. Untuk komunikasi antara komputer dengan operator dan komputer dengan perangkat analog, digunakan program

yang dibuat dengan bahasa *Delphi 3,0* dan *assembler 8088*. Program ini juga melakukan perhitungan sebagai pengontrol *modus PID* untuk memanipulasi energi yang masuk ke *furnace* melalui *actuator*. Diagram sistem pengontrol suhu yang kembangkan disini adalah sebagai berikut [7] :



Gambar 1. Diagram sistem pengontrol suhu

Sinyal *input* adalah daya yang diberikan pada elemen pemanas. Keluaran proses (*output*) berupa suhu diukur dengan menggunakan termokopel. Sebagai sensor termokopel bekerja berdasarkan beda suhu antara dua sambungan, salah satu sambungan harus dibuat tetap suhunya, karena itu pada sambungan dingin diberi kompensasi sambungan dingin elektronik. Sinyal keluaran termokopel dikuatkan 150 kali menggunakan *amplifier*. Keluaran *amplifier* ini dijadikan sinyal masukan pada ADC. Komputer menghitung beda suhu antara suhu yang dibaca dengan suhu *setting*. Beda suhu ini menjadi variabel masukan pada persamaan kontrol *modus PID*. Hasil perhitungan *modus kontrol*

digunakan sebagai masukan ke DAC dan *actuator*. Keluaran DAC dan *actuator* ini digunakan untuk memanipulasi daya masukan ke pemanas, sehingga suhu *furnace* sesuai dengan suhu *setting*.

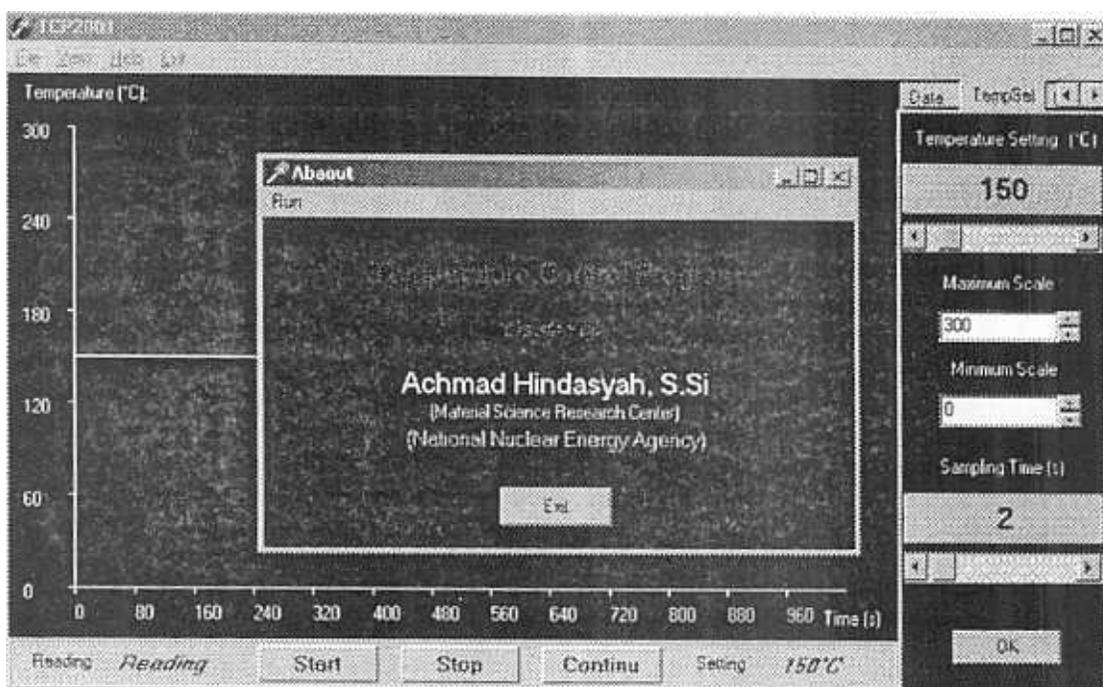
TATA KERJA

Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan pada percobaan ini adalah kartu antarmuka ADC dan DAC, perangkat *actuator* analog yang terdiri dari rangkaian pensaklaran dan SSR, pengkondisi sinyal berupa *amplifier*, *buffer* dan *filter*, kompensasi sambungan dingin elektronik, termokopel dan catu daya. Sedangkan alat-alat yang digunakan pada percobaan ini adalah satu set komputer 486 DX100 dan *furnace*.

Metode Perencanaan Sistem

Langkah-langkah yang dilakukan pada pembuatan sistem pengontrol suhu ini adalah sebagai berikut : pertama pembuatan perangkat lunak untuk mengakses kartu antarmuka ADC-DAC. Kedua pembuatan perangkat analog pengkondisi sinyal yang terdiri dari kompensasi sambungan dingin elektronik, *amplifier* dan tapis. Ketiga pembuatan perangkat analog pensaklaran untuk *actuator*. Keempat menggabungkan perangkat analog pengkondisi sinyal dan perangkat analog untuk *actuator* dengan kartu antarmuka dan komputer. Kelima pembuatan perangkat lunak untuk pengontrolan suhu dengan *modus PID*. Setelah semua tahap selesai kemudian dilakukan perakitan dan pengujian sistem untuk beberapa nilai suhu *setting*.



Gambar 2. Perangkat lunak sistem pengontrol suhu

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem pengontrol suhu berbasis komputer personal dengan perangkat lunak *under windows* telah berhasil dibuat.

Perangkat analog pengkondisi sinyal terdiri dari sambungan dingin, *amplifier* dan tapis. Kompensasi sambungan dingin dibuat secara elektronik menggunakan IC buatan *Linier Technology*. Keluaran kompensasi sambungan dingin ini kemudian diperkuat sebesar 150 kali sehingga memiliki sensitivitas $6 \text{ mV}/^\circ\text{C}$. Tapis yang digunakan pada sistem ini adalah tapis pasif lolos rendah RLC orde dua dengan tetapan $a = 2$ dan frekwensi kutub (f_0) = 10 Hz [3][4].

Perangkat analog *actuator* terdiri dari rangkaian pensaklaran dan SSR. Pensaklaran dikendalikan oleh DAC melalui *opto coupler*. *Opto coupler* ini kemudian mengaktifkan *op-amp* dan transistor yang berfungsi sebagai komparator dan *buffer* [3]. Keluaran pasangan *op-amp* dan transistor ini kemudian mengaktifkan SSR. SSR berfungsi untuk menghidup-matikan sumber listrik PLN 220 Volt yang dihubungkan dengan pemanas.

Perangkat lunak sistem pengontrol suhu ini dibuat dengan menggunakan bahasa *Delphi 3,0*. Perangkat lunak ini dioperasikan pada sistem operasi *Windows 95* dan atau di atasnya. Gambar perangkat lunak sistem ini dapat dilihat pada Gambar 2.

Perangkat lunak ini terdiri dari dua jendela yaitu jendela grafik untuk menampilkan grafik pengukuran dan

jendela *setting*. Pada jendela grafik terdapat empat menu utama yang masing-masing mempunyai sub-menu. Menu utama dan sub-menu serta fungsi dari masing-masing menu tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Selain itu pada jendela grafik terdapat juga tampilan pembacaan temperatur tunggal *real time*, tampilan *setting* temperatur dan tiga buah *button* yaitu *button Start* untuk memulai pengoperasian sistem, *button Stop* untuk menghentikan pengoperasian sistem, dan *button Continu* untuk melanjutkan operasi sistem. Sementara itu pada jendela *setting* terdapat empat buah jendela. Nama jendela dan fungsi dari masing-masing jendela adalah seperti pada Tabel 2.

Setelah diset semua parameter yang diperlukan melalui menu-menu yang ada kemudian klik *button Start*. Jika operator mengklik *button Start* maka komputer akan melakukan pekerjaan sesuai dengan diagram alir seperti pada Gambar 3.

Pada proses inialisasi, alamat inialisasi 300H merupakan alamat untuk menentukan *channel* masukan yang terdiri dari 4 *channel* dan penguatan yang terdiri dari 4 macam penguatan. *Channel* masukan yang digunakan adalah *channel 1* dan penguatannya 1 kali, jadi instruksi yang diberikan dalam bahasa *assembler* adalah

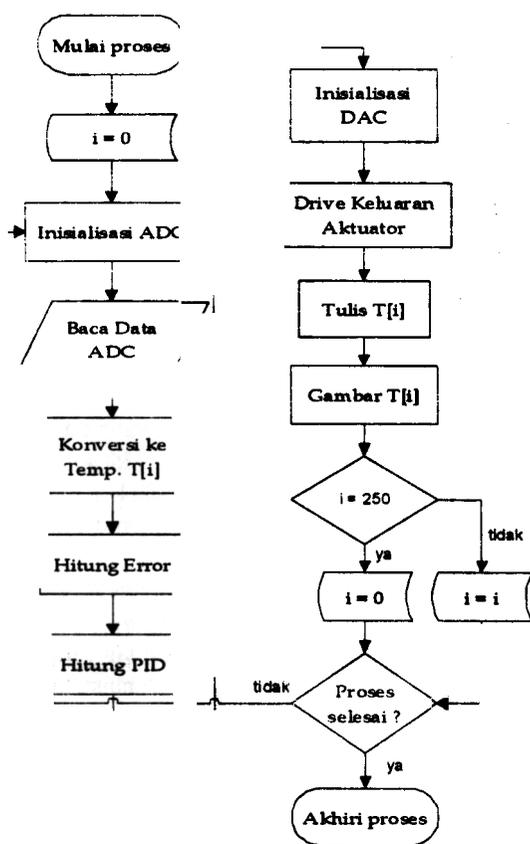
```
MOV DX, 300H {alamat inialisasi}
MOV AX, F2 H {kontrol word yang ditentukan}
OUT DX, AX {proses inialisasi}
```

Tabel 1. Menu utama dan sub menu utama serta fungsi dari masing-masing menu

No.	Menu	Sub-Menu	Fungsi
1.	File	Open	Untuk membuka file data pengukuran
		Save	Untuk menyimpan file data pengukuran
		Print Graf	Untuk mencetak grafik yang ditampilkan
		Print Data	Untuk mencetak data pengukuran yang ditampilkan pada jendela data pengukuran.
--	View	Data	Untuk melihat data pengukuran melalui jendela data.
		Setting	Untuk menset temperatur yang diinginkan dan waktu sampling data pengukuran. Selain itu untuk membuat koordinat pengukuran.
		Controller Constan	Untuk menset tetapan-tetapan pengontrol seperti tetapan proporsional, integral dan diferensial. Selain itu menentukan temperatur batas maksimum dan minimum
		Procedure	Untuk melihat prosedur pengoperasian sistem.
3.	Help	About	Untuk melihat otoritas perangkat lunak
4.			Untuk keluar dari perangkat lunak pengontrol temperatur.

Tabel 2. Nama jendela dan fungsi dari masing-masing jendela

No.	Jendela	Fungsi
2.	Data	Untuk menampilkan data pengukuran
	TempSet	Untuk menset temperatur yang diinginkan, waktu sampling data pengukuran dan untuk membuat koordinat pengukuran.
3.	Procedure	Untuk melihat prosedur pengoperasian sistem.
4.		Untuk menset tetapan-tetapan pengontrol seperti tetapan proporsional, integral dan diferensial. Selain itu menentukan temperatur batas maksimum dan minimum



Gambar 3. Diagram alir proses kontrol suhu

Sedangkan untuk pembacaan data instruksi yang diberikan adalah :

```

MOV DX, 304H {alamat ADC}
IN AX, DX {masukkan data ke register AX}
MOV Data_in, AX {pindahkan data dari register AX ke fungsi Data_in}
  
```

Tegangan *emf* yang dibaca komputer kemudian dikonversi ke suhu dengan menggunakan persamaan polinom berikut :

$$Temp = C_0 + C_1 V + C_2 V^2 + C_3 V^3 + C_4 V^4 + C_5 V^5 + C_6 V^6 + C_7 V^7 + C_8 V^8 + C_9 V^9 \quad (1)$$

C_0 sampai dengan C_9 merupakan konstanta yang telah ditentukan pada tabel termokopel tipe K [5]. Setelah memperoleh nilai suhu kemudian dikurangkan pada suhu *setting* untuk memperoleh nilai *error* yang menjadi variabel persamaan control modus PID. *Error* minimal adalah 1 LSB atau sama dengan 0,15 mV atau 0,03 °C. Persamaan control modus PID adalah sebagai berikut [6]:

$$\frac{K_p}{\tau_I} \int_0^t e dt + K_p \tau_D \frac{de}{dt} \quad (2)$$

dimana V_o adalah keluaran pengontrol, e adalah *error*, K_p adalah konstanta proporsional, τ_I adalah konstanta waktu integrasi dan τ_D adalah konstanta waktu differensiasi.

Keluaran pengontrol ini kemudian digunakan untuk memanipulasi energi panas yang diberikan ke *furnace*, melalui DAC dan *actuator*, agar suhu *furnace* sesuai dengan yang diinginkan. Sinyal manipulasi yang dikirim ke DAC berupa tegangan dalam rentang waktu yang bersesuaian dengan *error*. DAC akan menghidup matikan daya ke pemanas. Instruksi yang diberikan ke DAC adalah sebagai berikut :

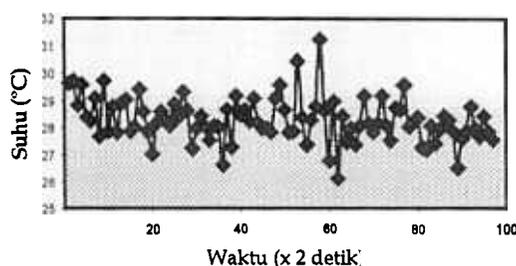
```

MOV DX, 307H {alamat inisialisasi}
MOV AX, 0EH {kontrol word pemilihan channel DAC}
OUT DX, AX {proses pengiriman data}
MOV DX, 306H {alamat penulisan DAC}
MOV AX, 200 H {data dikirimkan 7,5 Volt}
OUT DX, AX {proses pengiriman data}
  
```

Pengaturan irama pembacaan data oleh ADC, perhitungan data dan pengiriman data ke DAC diatur oleh dua buah sistem pewaktuan internal yang dibuat melalui program.

Data percobaan sistem pengontrol suhu ditampilkan dalam jendela grafik berupa grafik pengukuran dan jendela data berupa data *logging*. Data ini disimpan berupa *file* dengan format teks. Percobaan ini diawali dengan mengukur suhu ruang, kemudian dilakukan pengontrolan suhu pada *setting* suhu 100 °C, 200 °C, 300 °C, 400 °C, dan 500 °C. Ketidakpastian pengukuran ditentukan dengan menghitung standar deviasi pengukuran setelah suhu stabil.

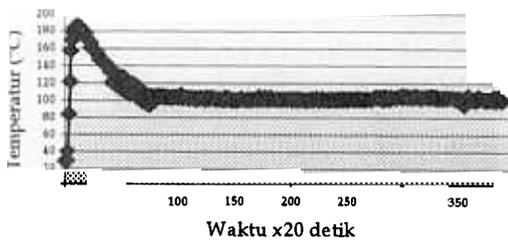
Grafik hasil pengukuran suhu ruang adalah sebagai berikut :



Gambar 4. Grafik pengukuran suhu ruang

Dari grafik diperoleh bahwa nilai maksimum suhu ruang yang terukur adalah 31,24 °C dan nilai minimum adalah 26,12 °C, sedangkan ketidakpastian pengukurannya adalah 0,81 °C.

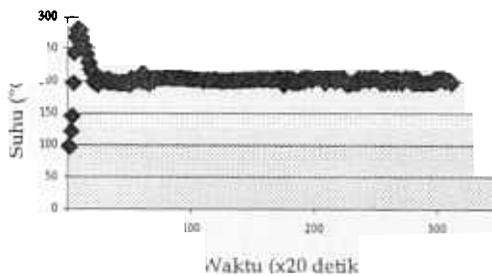
Pada setting 100 °C diperoleh data sebagai berikut:



Gambar 5. Grafik pengukuran suhu pada setting 100 °C

Dari grafik pada gambar 5 diperoleh bahwa nilai maksimum suhu ruang yang terukur adalah 106,22 °C dan nilai minimum adalah 94,26 °C sedangkan ketidakpastian pengukuran pada daerah setting adalah 1,43 °C. Untuk mencapai stabil pada daerah setting diperlukan waktu sekitar 27 menit.

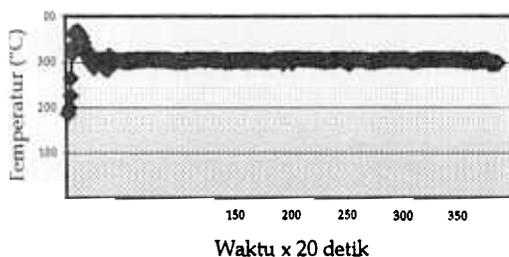
Pada setting 200 °C diperoleh data sebagai berikut:



Gambar 6. Grafik pengukuran suhu pada setting 200

Dari grafik pada gambar 6 diperoleh bahwa nilai maksimum suhu ruang yang terukur adalah 204,80 °C dan nilai minimum adalah 192,54 °C sedangkan ketidakpastian pengukuran pada daerah setting adalah 2,79 °C. Untuk mencapai stabil daerah setting diperlukan waktu sekitar 23 menit.

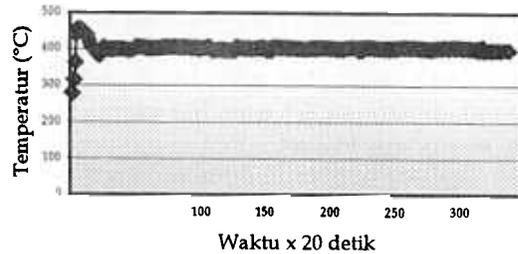
Pada setting 300 °C diperoleh data sebagai berikut:



Gambar 7. Grafik pengukuran suhu pada setting 300 °C

Dari grafik pada gambar 7 diperoleh bahwa nilai maksimum suhu ruang yang terukur adalah 306,99 °C dan nilai minimum adalah 296,39 °C sedangkan ketidakpastian pengukuran pada daerah setting adalah 2,18 °C. Untuk mencapai stabil pada daerah setting diperlukan waktu sekitar 18 menit.

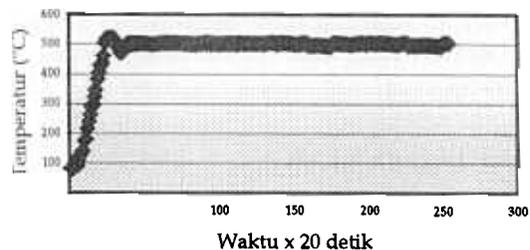
Pada setting 400 °C diperoleh data sebagai berikut:



Gambar 8. Grafik pengukuran suhu pada setting 400 °C

Dari grafik pada Gambar 8 diperoleh bahwa nilai maksimum suhu ruang yang terukur adalah 406,34 °C dan nilai minimum adalah 395,06 °C sedangkan ketidakpastian pengukuran pada daerah setting adalah 2,82 °C. Untuk mencapai stabil pada daerah setting diperlukan waktu sekitar 14 menit.

Pada setting 500 °C diperoleh data sebagai berikut:



Gambar 9. Grafik pengukuran suhu pada setting 500 °C

Dari grafik pada gambar 9, diperoleh bahwa nilai maksimum suhu ruang yang terukur adalah 504,36 °C dan nilai minimum adalah 493,12 °C sedangkan ketidakpastian pengukuran pada daerah setting adalah 2,92 °C. Untuk mencapai stabil pada daerah setting diperlukan waktu sekitar 17 menit.

Dari hasil pengambilan data pengujian diperoleh beda rata-rata antara suhu maksimum dan minimum adalah 11,50 °C. Hal ini bisa disebabkan karena adanya frekuensi dari PLN sebesar 50 Hz masuk melewati kawat termokopel, sehingga pembacaan suhu menjadi berfluktuasi. Penyebab lainnya adalah adanya aliran udara luar yang masuk lewat lubang furnace. Penyebab-penyebab ini juga mengakibatkan ketidakpastian

pengukuran pada daerah *setting* lebih besar daripada ketidakpastian pengukuran suhu ruang.

Waktu yang diperlukan untuk mencapai stabil pada daerah *setting*, semakin tinggi *setting* maka semakin rendah waktu yang dibutuhkan, hal ini disebabkan karena pengujian dilakukan secara berkesinambungan, dimana *furnace* sudah memiliki energi termal awal. Energi termal awal ini juga membuat suhu puncak semakin rendah, hal ini bisa dilihat dan dibandingkan dari Gambar 5 sampai Gambar 9, dimana pada *setting* 100° C *furnace* dalam kondisi suhu ruang, yang menyebabkan respon *furnace* terhadap energi masukan lambat (ada *delay time*). Sedangkan pada *setting* suhu lainnya kondisi *furnace* sudah memiliki energi awal jadi responnya pun lebih baik.

Hal-hal yang perlu diperbaiki pada sistem ini adalah meredam fluktuasi suhu pada daerah *setting*. Disamping itu sistem ini perlu dikalibrasi dengan standar ukur yang tertelusur, agar dapat diketahui koreksi pada setiap pembacaan suhu .

KESIMPULAN

Sebuah sitem pengontrol suhu berbasis komputer pribadi dengan perangkat lunak yang *user friendly under windows* telah dapat dibuat di Sub. Bidang Instrumentasi – BKI – P3IB – BATAN. Pengontrol ini dapat dioperasikan dari *setting* mulai 50° C sampai dengan 500° C. Untuk *setting* suhu yang lebih tinggi bisa juga dioperasikan dengan mengganti termokopelnya dengan tipe yang sama tetapi kapasitas yang lebih tinggi. Perbaikan fluktuasi suhu pada daerah *setting* dan kalibrasi sistem ukurnya harus dilakukan untuk meningkatkan kinerja sistem pengontrol ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. JACK GOLTEN AND ANDY VERWER : *Control System Design and Simulation*, McGraw-Hill, (1992).
- [2]. J. MICHAEL JACOB, *Industrial Control Electronics Application and Design*, Prentice Hall Inc., (1988).
- [3]. SUTRISNO, *Elektronika Teori dan Penerapannya*, ITB, (1986).
- [4]. ARTHUR B. WILLIAMS and FRED J. TAYLOR, *Electronic Filter Design Handbook*, McGraw-Hill, (1988).
- [5]. ASTM E 230 – 96, *Standard Specification and Temperature-Electromotive Force (EMF) for Standardized Thermocouple*, ASTM (1996)
- [6]. DONALD R. COUGHANOWR, *Process System Analysis and Control*, McGraw-Hill, (1991).
- [7]. KARL J. ASTROM and BJORN WITTENMARK, *Computer Controlled System Theory and Design*, Prentice Hall, Inc., (1997)

TANYA JAWAB

Eddy Santoso, P3IB - BATAN

Pertanyaan

1. Fluktuasi *setting* suhu (5,75 °C) itu terlalu tinggi, kenapa dan apa penyebabnya

Jawaban

1. Penyebab fluktuasi suhu pada daerah *setting* dapat dilihat pada makalah

Sri Ratna S., UNILA - LAMPUNG

Pertanyaan

1. Bagaimana bila sebelum merancang PID dicoba dengan PI

Jawaban

1. Program kontrol ini sudah dilengkapi dengan berbagai fasilitas seperti perubahan modus kontrol, yaitu modus Proportional (P), Proportional Integral (PI), Proportional Differential (PD) dan Proportional Integral Differential (PID). Semua modus kontrol bisa dicobakan untuk mencari pengontrolan optimum.