

MAKALAH SEMINAR TUGAS AKHIR

PERANCANGAN DRIVER KATUP (*CONTROL VALVE*) UNTUK PENGATURAN TEMPERATUR INCENERATOR DENGAN SISTEM KENDALI PI

Rina Purnamasari¹, Sumardi, ST, MT.², Wahyudi, ST, MT.²

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

Sampah merupakan permasalahan nasional yang cukup pelik, sedangkan penanganan terhadap masalah ini belum juga menunjukkan gejala yang berarti. Pengelolaan yang kurang tepat setelah sampah dibuang ke TPA akan semakin merusak lingkungan dengan banyaknya sampah yang tidak dapat membusuk. Demikian juga dengan sampah khusus, seperti halnya sampah medis maupun industri.

Dalam bidang medis, penanganan terhadap sampah infeksius ini memerlukan teknik pengelolaan khusus, karena bahaya yang mungkin dapat ditimbulkan, misalnya bahaya infeksi, toksin dan atas pertimbangan etika. Untuk itu digunakan peralatan pembakar sampah khusus yang dikenal dengan incenerator. Dengan membakar dalam ruang pembakaran yang memiliki suhu dan tekanan yang tinggi akan dapat membunuh kuman – kuman infeksius dan melenyapkan sampah yang berupa bagian dari organ tubuh, agar tidak membahayakan lingkungan.

Dalam tugas akhir ini digunakan pengendali PI (Proportional-Integral) yang mengontrol motor stepper sebagai penggerak valve, sehingga suhu incenerator menjadi stabil. Pembakaran dilakukan dengan setting point 250°C , sampah yang dibakar adalah bekas kemasan obat. Parameter-parameter yang digunakan untuk nilai $K_p = 1,25$ dan nilai $K_i = 0,8$, sedangkan karakteristik respon sistem sistem waktu tunda (t_d) = 10 detik, waktu naik (t_r) = 60 detik, waktu puncak (t_p) = 70 detik, waktu penetapan (t_s) = 382 detik serta lewatan maksimum (M_p) = 4 % dari suhu 250°C sebagai setting point. Perubahan nilai referensi tidak berpengaruh terhadap tanggapan karakteristik sistem.

Kata kunci : Incenerator, Motor Stepper, Driver, Kendali PI (Proporsional-Integral), Mikrokontroler ATmega8535.

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sampah merupakan masalah yang cukup pelik dewasa ini, sedangkan pengelolaan sampah yang benar belum dapat dilaksanakan secara menyeluruh. Untuk pengelolaan sampah yang benar dan aman bagi lingkungan memerlukan biaya yang tidak sedikit, sehingga perhatian lebih diprioritaskan kepada sampah yang memiliki resiko tinggi ataupun berbahaya.

Sistem kendali PI merupakan gabungan aksi kontrol proporsional dan integral membentuk aksi kontrol proporsional - integral (*contoller PI*) gabungan aksi ini mempunyai keunggulan dibandingkan dengan masing-masing penyusunnya. Keunggulan utamanya adalah diperolehnya keuntungan dari masing-masing aksi kontrol dan kekurangan aksi kontrol yang satu dapat diatasi. Dengan kata lain elemen-elemen kontroller P dan I secara keseluruhan memiliki respon yang cepat dan mengurangi *error* sehingga didapatkan suhu ruangan sesuai yang diinginkan

1.2 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai pada tugas akhir ini adalah :

- 1 Mengaplikasikan teknik kontrol proporsional dan integral untuk perancangan driver katup (*control valve*) untuk pengaturan temperatur incenerator .

- 2 Menganalisis pengaruh nilai K_p dan nilai K_i serta konstanta waktu.

1.3 Pembatasan Masalah

Dalam penyusunan tugas akhir ini permasalahan-permasalahan yang akan dibatasi meliputi hal-hal sebagai berikut :

- Penelitian dan perancangan dititik beratkan pada pemakaian driver katup untuk pengaturan temperatur pada *plant* incenerator.
- *Plant* berupa saluran bahan bakar yang akan digunakan untuk proses *burner* incenerator.
- Sistem kendali yang digunakan adalah sistem kendali proporsional-integral berbasis mikrokontroler AVR ATmega 8535
- Driver katup dikendalikan oleh motor *stepper*, dengan *range* suhu pembakaran antara 100 – 300 derajat celcius.
- Incenerator yang akan dibuat hanya menggunakan pembakar tunggal pada sebuah *chamber*, sehingga belum dapat digunakan dengan aman, karena masih ada kemungkinan polusi, karena tidak dilengkapi dengan *burner* pada bagian asapnya, dengan kapasitas *chamber* 5 kg sampah.
- Mekanisme pengaturan parameter kontroler yang diuji adalah dengan merubah nilai-nilai K_p dan K_i

¹ Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Undip

² Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro Undip

II. DASAR TEORI

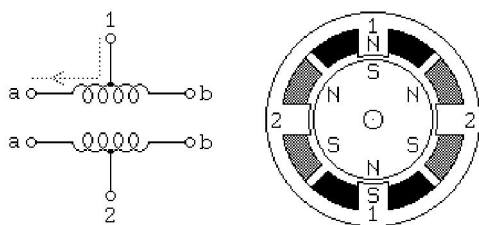
2.1 Prinsip kerja Incinerator

Incinerator merupakan peralatan pemusnah sampah khusus yang bekerja pada suhu yang tinggi, sehingga dapat menghancurkan sampah – sampah berbahaya dan beracun ataupun sampah – sampah infeksi, sehingga sisanya dapat dibuang dengan aman ke tempat pembuangan sampah umum.

Incinerator ini memiliki ruang pembakaran, tempat sampah yang akan dibakar. Pada *chamber* terdapat saluran untuk mengalirkan bahan bakar juga dilengkapi saluran untuk mengalirkan udara dari *blower*, yang diperlukan pada proses pembakaran, pembakaran ini dilakukan pada *chamber* tertutup, untuk menghindari bahaya toksin maupun infeksi dari sampah yang akan dimusnahkan. Proses pembakaran ini memerlukan waktu yang bervariasi, tergantung jenis sampahnya serta volume sampah yang akan dimusnahkan. Pada incinerator, biasanya memiliki dua buah ruang pembakaran untuk membakar obyek dan membakar asap sebelum difilter, sehingga sisa – sisa karbon dari pembakaran yang terbawa asap akan semakin berkurang, sehingga gas CO yang dihasilkan juga semakin berkurang, dan tidak membahayakan bagi lingkungan.

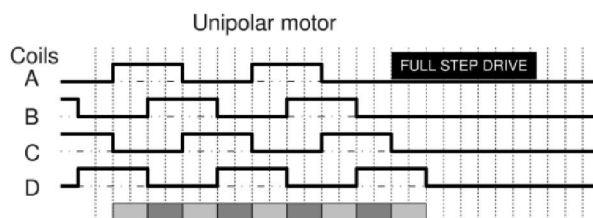
2.2 Motor Stepper Unipolar

Motor stepper adalah perangkat elektromekanis yang bekerja dengan mengubah pulsa elektronis menjadi gerakan mekanis diskrit. Motor stepper bergerak berdasarkan urutan pulsa yang diberikan kepada motor. Motor stepper unipolar dengan 5 atau 6 kawat secara umum ditunjukkan dalam Gambar 2.



Gambar 2 Motor Stepper Unipolar.

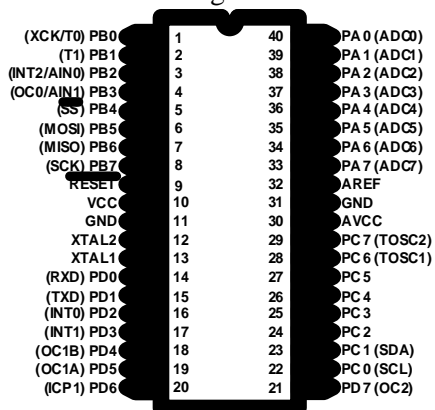
Dengan sebuah *center tap* pada tiap – tiap kedua lilitan. Dalam penggunaannya *center tap* pada lilitan biasanya dililitkan ke satu positif kedua ujung tiap – tiap lilitan masing – masing digroundkan untuk pembalikan arah medan yang dihasilkan oleh lilitan. Prinsip pengendalian motor stepper unipolar ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Prinsip pengendalian motor stepper unipolar berdasarkan pulsa masukan.

2.3 Mikrokontroler ATMEGA8535^{[1],[8],[10]}

Mikrokontroler ATmega8535 merupakan mikrokontroler 8 bit dengan konsumsi daya rendah produksi ATMEL yang telah didukung penuh dengan program dan sarana pengembangan seperti *compiler C*, *simulator* program, *emulator* dalam rangkaian dan kit evaluasi. Gambar 4 merupakan konfigurasi *pin – pin* pada mikrokontroler Atmega8535.



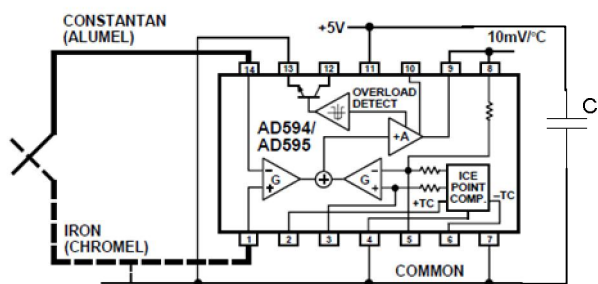
Gambar 4 Konfigurasi *pin – pin* ATMEGA 8535.

2.4 Sensor Termokopel Tipe K

Termokopel adalah sensor suhu yang banyak digunakan untuk mengubah perbedaan suhu dalam benda menjadi perubahan tegangan listrik (voltase). Termokopel yang sederhana mudah dipasang, dan memiliki jenis konektor standar yang sama, serta dapat mengukur temperatur dalam jangkauan suhu yang cukup besar dengan batas kesalahan pengukuran kurang dari 1 °C. Tipe K terbuat dari (Chromel (Ni-Cr alloy) / Alumel (Ni-Al alloy) dengan rentang suhu –200 °C hingga +1200 °C.

- **AD595 Cold Junction thermocouple tipe K**

AD594/AD595 adalah *amplifier-compensator linier* yang terdapat pada suatu chip monolitik yang menghasilkan keluaran tingkat tinggi (10 mV/ C) secara langsung daritermokopel. *Cold junction* dapat digunakan untuk memperkuat tegangan kompensasinya secara langsung, dengan mengubahnya menjadi *Celsius transducer* dengan suatu keluaran voltase impedansi rendah. Berikut ini adalah implementasi AD595 dengan termokopel tipe K, ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Rangkaian termokopel dengan AD595.

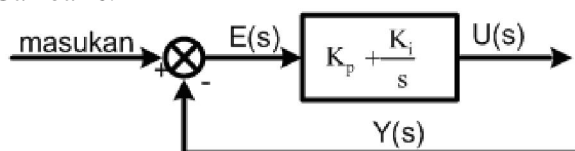
2.5 Pengendali PI (*Proporsional-Integral*)

Gabungan aksi kontrol proporsional dan aksi kontrol integral membentuk aksi kontrol proporsional-integral (*contoller PI*) gabungan aksi ini mempunyai keunggulan dibandingkan dengan masing-masing penyusunnya. Keunggulan utamanya adalah diperolehnya keuntungan dari masing-masing aksi kontrol dan kekurangan aksi kontrol yang satudapat diatasi. Dengan kata lain elemen-elemen kontroler P dan I secara keseluruhan bertujuan untuk mempercepat reaksi sebuah sistem dan menghilangkan *offset*.

Fungsi alih pengendali PI (dalam domain s) dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_i}{s}$$

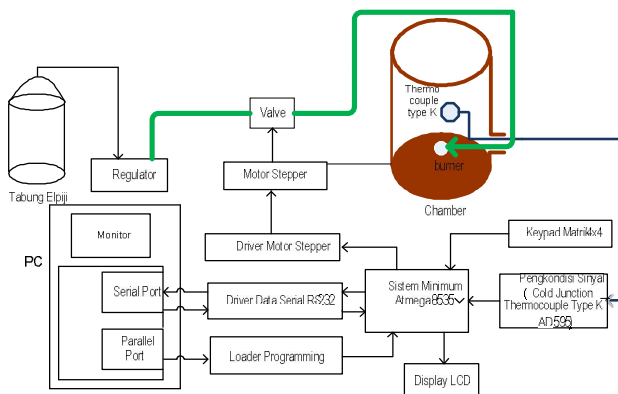
Diagram blok pengendali PI dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Diagram blok pengendali PI.

III. PERANCANGAN SISTEM

Blok diagram perancangan perangkat keras secara keseluruhan adalah seperti ditunjukkan pada Gambar 7. Perangkat keras dirancang untuk membentuk sistem pengaturan temperatur *plant* incinerator dengan menggunakan kendali PI.

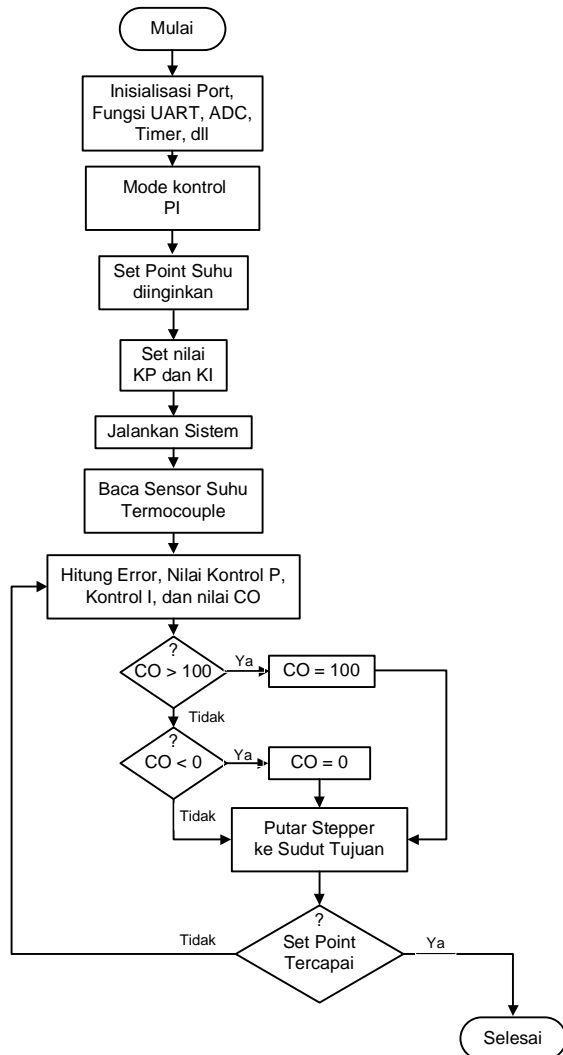


Gambar 7 Blok diagram rancangan *hardware* sistem pengaturan temperature *plant* incinerator

Spesifikasi perancangan perangkat keras dari sistem pengaturan temperatur *plant* incinerator ini terdiri dari:

1. *Chamber* sebagai ruang tempat untuk proses pembakaran
2. *Burner* alat untuk keluar api
3. Termokopel digunakan sebagai sensor suhu dengan keluaran berupa sinyal digital yang sudah dikalibrasikan.
4. Mikrokontroler ATmega8535 yang berfungsi sebagai pusat pengendalian pada incinerator ini yang dapat diprogram dengan menggunakan bahasa C.
5. *Keypad* berfungsi sebagai media masukan untuk mengatur referensi suhu yang diinginkan, nilai konstanta kontroler (K_p dan K_i) dan sebagai tombol untuk menjalankan proses pengendalian.
6. LCD (*Liquid Crystal Display*) dan *driver* LCD berfungsi sebagai media tampilan selama proses pengendalian berlangsung.
7. AD595 sebagai kompensator atau *cold junction* untuk keluaran termokopel
8. Tabung LPG, tempat bahan bakar gas LPG
9. Regulator untuk mengatur besar kecilnya tekanan gas LPG yang dikeluarkan
10. Driver serial RS 232 digunakan sebagai *interface* untuk komunikasi antara *plant* dengan PC secara serial
11. *Loader programming* ATmega8535, berfungsi sebagai alat untuk mendownload program dari PC ke *plant*
12. Monitor sebagai alat untuk memonitor *output*
13. Motor stepper berfungsi sebagai alat untuk menggerakkan membuka dan menutup *valve*
14. Driver motor stepper digunakan untuk mengendalikan motor stepper

3.1 Perancangan Program Utama



Gambar 8 Diagram alir program utama.

Diagram alir program utama dapat dilihat pada Gambar 8. Untuk mengatur suhu incenerator secara otomatis menurut algoritma PI dengan cara mengendalikan *valve* yang digerakkan oleh motor stepper. Jadi pengendalian alat incenerator dimulai dengan memberikan nilai *setting* suhu serta nilai K_p dan K_i . Kemudian proses dilanjutkan dengan membaca *setting* suhu dan membaca sensor thermocouple yang kemudian diolah menjadi sinyal kontrol. Sinyal kontrol tersebut akan mengendalikan motor stepper untuk membuka dan menutup *valve*, sehingga suhu incenerator dapat tercapai sesuai yang diinginkan.

Program utama dimulai dengan inisialisasi awal untuk masing-masing *port* dan *register*. Setelah inisialisasi, program akan ke menu utama yang berfungsi sebagai *default*. Pada menu utama akan menampilkan metode kontrol PI. Pada program berikutnya adalah memasukkan *setting point* suhu sesuai dengan yang diinginkan, kemudian mengeset nilai K_p serta K_i dan menjalankan sistem. Nilai K_p dan K_i diperoleh dengan cara *trial and error*.

Program akan berjalan dengan menampilkan nilai *setting* suhu yang kita berikan dan hasil pembacaan dari sensor suhu termokopel, kemudian menghitung *error*, nilai kontrol P, kontrol I dan nilai CO. Apakah nilai $CO > 100$?, maka nilai $CO = 100$ sehingga motor stepper berputar ke sudut tujuan. Jika $CO < 0$, maka nilai $CO = 0$, hal ini terjadi karena pengaruh dari integral sehingga nilai sinyal kontrol menjadi negatif, karena sinyal kontrol selalu positif, maka ketika $CO < 0$, dianggap sama dengan 0 dan motor stepper berputar ke sudut tujuan. Jika *setting point* suhu telah tercapai sistem kembali untuk menghitung *error*, nilai K_p , nilai K_i dan nilai CO atau selesai.

3.2 Program pembacaan suhu sensor termokopel tipe K

Fungsi subrutin dari program pembacaan termokopel adalah sebagai berikut.

```

float suhu_mem[3];
float READ_temperature()
{
    float hasil_suhu=0,tmp;
    unsigned int data_adc=0;
    data_adc = read_adc(0);
    tmp = data_adc;
    //hasil_suhu = (tmp/3.4)+25;
    hasil_suhu = data_adc*0.4883;
    // rumusnya Celcius
    = (5.0 * ADC * 100) / 1024
    (ketelitian);
    suhu_mem[2] = suhu_mem[1];
    suhu_mem[1] = suhu_mem[0];
    suhu_mem[0] = hasil_suhu;
    hasil_suhu =
    (suhu_mem[0]+suhu_mem[1]+suhu_mem[2]
    ) / 3;
    return hasil_suhu;
}
  
```

Pembacaan sensor termokopel menggunakan *portA.0* yaitu berupa ADC 10 bit dengan nilai *range* 0 – 1023. Pada program diatas menggunakan 3 buah memori penyimpanan data suhu terukur dengan nama variabel *suhu_mem[x]*. Hasil suhu pembacaan termokopel yang didapatkan berupa nilai rata-rata *suhu_mem[x]* yang berarti rata-rata 3 buah *sampling* data suhu termokopel yaitu pembacaan suhu saat $t-2$, suhu saat $t-1$ dan suhu t (sekarang).

3.3 Program Kendali PI

Pada tugas akhir ini digunakan kendali PI untuk mendapatkan suhu incenerator. Nilai konstanta K_p dan K_i diperoleh dengan memberikan masukan nilai pada awal mengoperasikan alat, begitu pula dengan masukan *setting* suhu.

Perhitungan dengan algoritma PI dimulai dengan menghitung *error* antara *setpoint* suhu dengan suhu sebenarnya. *Error* digunakan sebagai masukan pada kendali PI. Sinyal kontrol yang dikirimkan ke ke driver motor stepper berasal dari keluaran kendali PI.

Diagram alir proses pengontrolan dengan menggunakan algoritma kontrol PI digital ditunjukkan dalam Gambar 8.

Pada algoritma kontrol PI untuk keluaran sinyal kontrol U_t (Co) apabila nilai keluaran sinyal melebihi dari nilai 100 maka sinyal kontrol dianggap sama dengan 100 dan jika nilai keluaran sinyal kurang nilai 0 maka sinyal kontrol dianggap sama dengan 0. Hal ini dilakukan untuk membatasi dari nilai sinyal keluaran dari nilai minimal dan maksimal. Karena nilai sinyal kontrol yang digunakan adalah antara 0 % – 100 %. Program kendali PI adalah sebagai berikut

```
void pi_logic()
{
  signed int co_temp;
  unsigned char buf_test[6];
  float tc,cop,coi,outpi,errorpi;
  Tc      = 1;
  errorPI = suhu_setpoint -
  suhu_terukur;
  CoP      = Kp * errorPI;
  CoI      = CoI_1 + (
  Ki*errorPI*Tc );
  CoI_1    = CoI;
  outPI    = CoP + CoI;
  CO_temp =(signed int) ceil
  (outPI);
  if (CO_temp>=100)
    CO_temp=100;
  if (CO_temp<=0)
    CO_temp=0;
  CO_output = (unsigned char
  )CO_temp;
}
```

IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pengujian terhadap *plant* incenerator terdiri dari pengujian perangkat keras dan pengujian perangkat lunak. Pengujian ini dilakukan agar *plant* incenerator nantinya dapat mengontrol temperatur incinerator ketika terjadi proses pembakaran.

4.1 Pengujian Perangkat Keras

a. Kalibrasi Sensor Termokopel

Kalibrasi dilakukan dengan cara membandingkan Suhu yang terbaca oleh termokopel akan dibandingkan dengan hasil baca termometer analog. Pengujian dilakukan dengan menaikkan suhu ruangan secara bervariasi.

Tabel 1 Hasil pengujian sensor termokopel dan termometer.

No	Suhu termometer (°C)	Sensor suhu Termokopel (°C)			Suhu Rata-rata termokopel (°C)	Error rata-rata
		Pengukuran ke				
		I	II	III		
1	72	73	73	73	73	-1
2	100	99	98	99	98,67	1,33
3	105	104	105	105	104,67	0,33
4	109	109	109	109	109	0
5	111	112	112	113	112,33	-1,33
6	118	116	116	116	116	2
7	122	123	121	123	122,33	0,33
8	129	129	128	129	128,67	0,67
9	132	135	133	135	134,33	-2,33
10	138	137	137	137	137	1
11	140	138	138	138	138	2
12	143	140	140	140	140	3
13	148	147	147	147	147	1
14	154	153	153	153	153	1
15	158	156	156	156	156	2
16	162	160	160	160	160	2
17	168	166	166	166	166	2
18	174	172	172	172	172	2
19	178	178	178	178	178	0
20	180	182	182	182	182	-2
21	184	186	186	186	186	-2
22	190	188	188	188	188	2
23	194	192	192	192	192	2
24	200	199	199	199	199	1
25	208	207	207	207	207	1
Jumlah error						15,34
Rata-rata error						0,61

Kalibrasi dilakukan dengan 3 kali pengukuran dengan 25 data, dimana pengukuran dengan termometer dan termokopel dilakukan secara bersamaan. Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa rata-rata *error* kalibrasi termokopel berjumlah 0,61.

b. Pengujian Rangkaian Motor Stepper

Pengujian motor stepper dilakukan dengan cara memprogram motor stepper agar bergerak ke sudut tujuan.

Spesifikasi motor stepper unipolar :

- Sudut pergerakan 1 step / 1 langkah = 1.8 derajat., sehingga:
Banyak Step = Sudut tujuan / 1.8 derajat
- Tegangan kerja 5 Vdc.
- Arus maksimum 500 mA.

Diprogram dengan menggunakan *full step 2 phase*.Berikut ini adalah data dari pengujian motor stepper dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2 Pengujian motor stepper.

No.	Posisi Awal	Sudut Tujuan	Sudut teruji
1	0 (tutup penuh)	Buka penuh	Buka penuh
2	0	45 ⁰	45 ⁰
3	0	90 ⁰	90 ⁰
4	0	120 ⁰	120 ⁰
5	0	150 ⁰	150 ⁰

4.2 Pengujian perangkat Lunak

a. Pengujian Algoritma PI

Pada tugas akhir ini menggunakan kontrol PI (*Proporsional integral*) yaitu dengan memasukan nilai Kp dan Ki. Dimana nilai Kp dan Ki didapat dengan cara *Trial and Error*.

1. Algoritma P

Penentuan nilai Kp dilakukan dengan melakukan beberapa percobaan yaitu memasukan nilai Kp saja dengan *setting point* tertentu. Berikut ini adalah beberapa nilai Kp yang didapat:

- Nilai Kp = 1 dan *setting point* = 180⁰C



Gambar 9 Grafik respon sistem dengan setting point 180⁰C dan nilai KP=1.

Untuk percobaan pertama nilai Kp yang diberikan 1 dan *setting point* 180⁰C. Grafiknya dapat dilihat pada Gambar 9. Pada Gambar 4.1 terlihat karakteristik tanggapan *plant* alat incinerator terhadap nilai Kp adalah waktu tunda (td) = 20 detik, waktu naik (tr) = 48 detik, waktu puncak (tp) = 56 detik, Waktu penetapan (ts) = 211 detik. Lewatan maksimum atau *overshoot* (Mp) = 0,56 %.

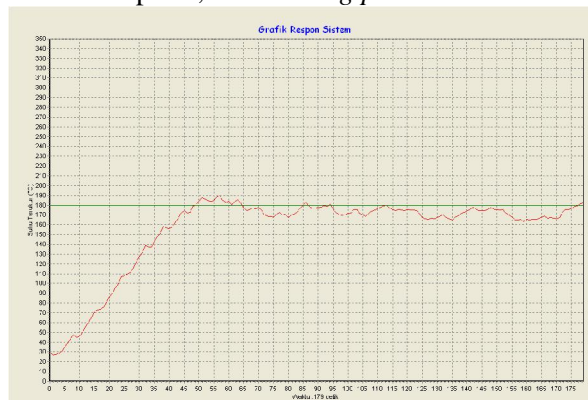
- Nilai Kp = 1,25 dan *Setting point* 180⁰C



Gambar 10 Grafik Data Suhu dengan nilai Kp=1,25 dan *setting point* 180⁰C.

Untuk percobaan dengan nilai Kp = 1,25 dan *setting point* 180⁰C. Grafiknya dapat dilihat pada Gambar 11. Pada Gambar 4.2 terlihat karakteristik tanggapan *plant* alat incinerator terhadap nilai Kp adalah waktu tunda (td) = 17 detik, waktu naik (tr) = 45 detik, waktu puncak (tp) = 50 detik, Waktu penetapan (ts) = 184 detik. Lewatan maksimum atau *overshoot* (Mp) = 0,0278%.

- Nilai Kp = 1,5 dan *setting point* 180⁰C



Gambar 11 Grafik respon sistem dengan *Setting point* 180⁰C dan nilai Kp = 1,5.

Untuk percobaan dengan nilai Kp=1,5 dan *setting point* 180⁰C. Pada Gambar 11 terlihat karakteristik tanggapan *plant* alat incinerator terhadap nilai Kp adalah waktu tunda (td) = 22 detik, waktu naik (tr) = 48 detik, waktu puncak (tp) = 54 detik, Waktu penetapan (ts) = 179 detik. Lewatan maksimum atau *overshoot* (Mp) = 0,56%.

Dari ketiga percobaan nilai Kp didapat 1,25.

2. Algoritma I

Penentuan nilai Ki sama seperti penentuan nilai Kp yaitu dengan cara *trial and error*.

- Nilai Ki = 1 dan *Setting point* 120⁰C



Gambar 12 Respon sistem dengan nilai $K_i=1$ dan *setting point* 120°C .

Pada Gambar 12 terlihat karakteristik tanggapan *plant* alat incinerator terhadap nilai K_i adalah waktu tunda (t_d) = 15 detik, waktu naik (t_r) = 25 detik, waktu puncak (t_p)=35 detik, Waktu penetapan (t_s) = 258 detik. Lewatan maksimum = $\pm 25\%$.

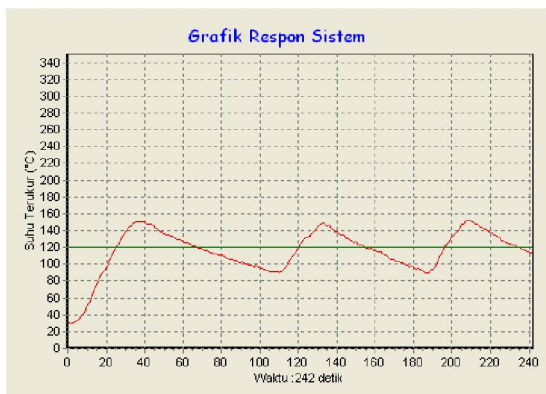
- Nilai $K_i = 0,5$ dan *setting point* 120°C



Gambar 13 Respon sistem dengan nilai $K_i=0,5$ dan *setting point* 120°C .

Untuk percobaan dengan nilai $K_i=0,5$ dan *setting point* 120°C . Pada Gambar 13 terlihat karakteristik tanggapan *plant* alat incinerator terhadap nilai K_i adalah waktu tunda (t_d) = 10 detik, waktu naik (t_r) = 20 detik, waktu puncak (t_p)=30 detik, Waktu penetapan (t_s) = 252 detik. Lewatan maksimum = $\pm 17,5\%$.

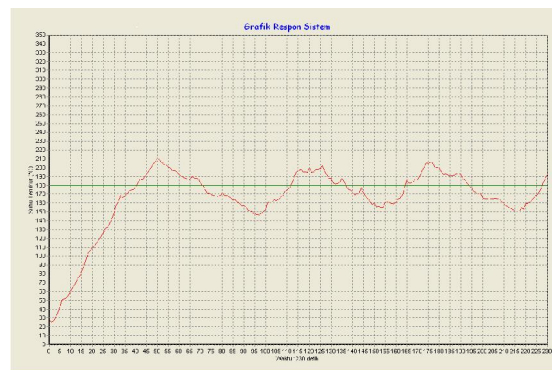
- Nilai $K_i = 0,8$ dan *setting point* 120°C



Gambar 14 Respon sistem dengan nilai $K_i = 0,8$ dan *setting point* 120°C .

Untuk percobaan dengan nilai $K_i = 0,8$ dan *setting point* 120°C . Pada Gambar 14 terlihat karakteristik tanggapan *plant* alat incinerator terhadap nilai K_i adalah waktu tunda (t_d) = 10 detik, waktu naik (t_r) = 24 detik, waktu puncak (t_p)=34 detik, Waktu penetapan (t_s) = 242 detik. Lewatan maksimum = $\pm 25\%$.

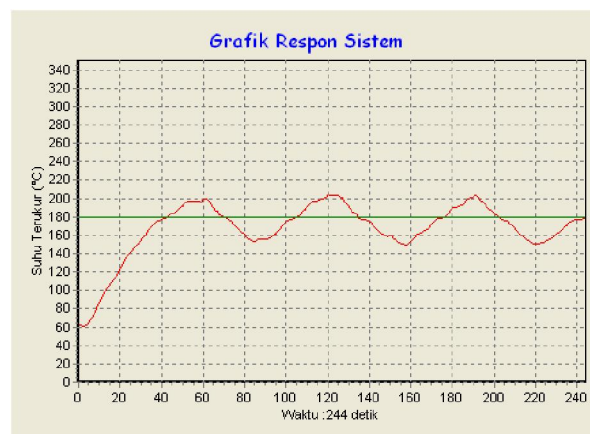
- Pengujian dan Analisis Respon Sistem dengan nilai $K_p=1$, $K_i=1$ dan *setting point* suhu 180°C**



Gambar 15 Grafik Respon sistem dengan nilai $K_p=1$, $K_i=1$ dan *setting point* suhu 180°C .

Pada pengujian algoritma PI dilakukan dengan suhu awal $\pm 28^{\circ}\text{C}$, Pengujian dilakukan dengan memberikan nilai referensi 180°C dengan nilai K_p dan k_i yang sama yaitu 1. Pada Gambar 15 terlihat karakteristik tanggapan *plant* incinerator terhadap kontroler PI adalah waktu tunda (t_d) = 16 detik, waktu naik (t_r) = 40 detik, waktu puncak (t_p) = 50 detik Waktu penetapan (t_s) = 230 detik. Lewatan maksimum (M_p) = $\pm 16,67\%$.

- Pengujian dan Analisis respon sistem dengan nilai $K_p = 1$ dan $K_i = 0,5$ dengan *setting point* 180°C**



Gambar 16 Grafik Respon sistem dengan nilai $K_p=1$, $K_i=0,5$ dan *setting point* suhu 180°C .

Pada pengujian algoritma PI dilakukan dengan suhu awal $\pm 60^{\circ}\text{C}$, Pengujian dilakukan dengan memberikan nilai referensi 180°C dengan nilai $K_p=1$ dan $K_i = 0,5$. Pada Gambar 16 dibawah terlihat karakteristik tanggapan *plant* alat incinerator terhadap kontroler PI (*Proporsional integral*) adalah waktu tunda (t_d) = 10 detik, waktu naik (t_r) = 40 detik, waktu

puncak (t_p) = 60 detik Waktu penetapan (t_s) = 244 detik. Lewatan maksimum (M_p) = $\pm 11,11\%$.

d. Pengujian dan Analisis Respon Sistem dengan nilai $K_p=1,25$ dan $K_i=0,8$ dengan setting point suhu 180°

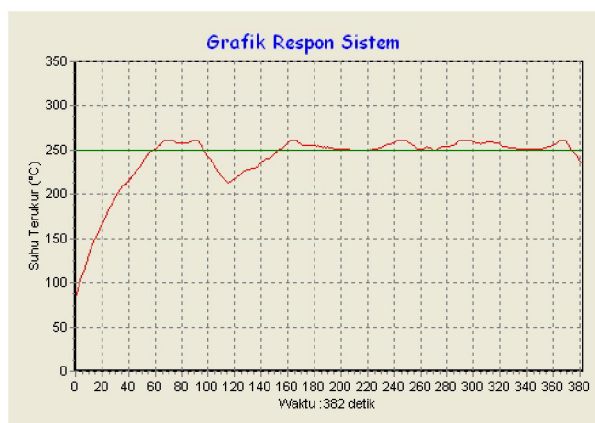


Gambar 17 Grafik Respon sistem dengan nilai $K_p=1,25$, $K_i=0,8$ dan setting point suhu 180° C.

Pada Gambar 17 terlihat karakteristik tanggapan *plant* incinerator terhadap kontroler PI adalah waktu tunda (t_d) = 20 detik, waktu naik (t_r) = 45 detik, waktu puncak (t_p) = 55 detik Waktu penetapan (t_s) = 269 detik. Lewatan maksimum = 0,1 %.

Pada Gambar 10 nilai parameter K_p dan K_i yang digunakan adalah 1,25 untuk K_p dan 0,8 untuk K_i , sementara setting suhu 180° C. Pengukuran dimulai dari suhu 40° C, ketika tanggapan sistem mencapai waktu tunda sudah terlihat dan waktu naik sistem tidak beresilasi, tetapi ketika melewati waktu puncak respon sistem beresilasi, tetapi secara keseluruhan respon sistem stabil, terbukti dengan nilai lewatan maksimum yang dicapai yaitu sebesar 0,1 %.

d. Respon Sistem Terhadap Beban Pembakaran Sampah



Gambar 18 Grafik Respon sistem terhadap beban pembakaran sampah.

Pada pengujian ini dilakukan cara memberikan beban berupa pembakaran sampah medis secara langsung, dimana sampah medis yang dibakar adalah bekas kemasan obat. Pembakaran dimulai dari suhu 80° C setting point

250° C, sedangkan untuk nilai K_p dan K_i diambil dari nilai K_p dan K_i terbaik yaitu $K_p=1,25$ dan $K_i=0,8$. Dari Gambar 4.11 dapat dilihat karakteristik tanggapan sistem yaitu : waktu tunda (t_d) = 10 detik, waktu naik (t_r) = 60 detik, waktu puncak (t_p) = 70 detik, waktu penetapan (t_s) = 382 detik serta lewatan maksimum (M_p) = 4 %,

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian pada *plant* incinerator berbasis kendali PI didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut;

1. Nilai rata-rata *error* kalibrasi termokopel yang diperoleh adalah 0,61.
2. Dengan menggunakan metode *trial and error* pada aksi kontrol PI maka didapatkan parameter $K_p = 1,25$ dan $K_i = 0,8$. Setting suhu pembakaran dilakukan pada suhu 250° C dan karakteristik tanggapan sistem yaitu : waktu tunda (t_d) = 10 detik, waktu naik (t_r) = 60 detik, waktu puncak (t_p) = 70 detik, waktu penetapan (t_s) = 382 detik serta lewatan maksimum (M_p) = 4 %.

5.2 Saran

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

1. Untuk memperoleh sistem yang lebih baik perlu dilakukan pengontrolan motor *stepper* dengan metode lain seperti, metode kontrol jaringan saraf tiruan (JST), dan *control adaptive*.
2. Rancang bangun alat incenerator perlu ditingkatkan lagi dengan menambahkan pemantik api otomatis, supaya api dapat dinyalakan dengan otomatis dan menambahkan satu ruang pembakaran lagi untuk menyempurnakan proses pembakaran sampah.
3. Untuk memperoleh posisi yang lebih tepat sebaiknya digunakan motor servo.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Budiharto Widodo, *Panduan Praktikum Mikrokontroler AVR ATmega16*, PT Elex Media Komputindo, Jakarta, 2008.

[2] Gunterus, Frans, *Falsafah Dasar: Sistem Pengendalian Proses*, PT Elex Media Komputindo, Jakarta, 1997.

[3] Kusuma, Markus Robijanto. *Belajar Turbo C dengan cepat dan mudah*, PT Elex Media Komputindo, Jakarta, 1991.

[4] Malvino. *Prinsip – Prinsip Elektronika*. Jakarta : Erlangga, 1996.

- [5] Ogata, Katsuhiko, *Teknik Kontrol Automatik Jilid 1*, diterjemahkan oleh Edi Leksono, Erlangga, Jakarta, 1994.
- [6] Syahadi, Mohamad, *Skripsi : Aplikasi Kontrol Proporsional Integral Berbasis Mikrokontroler Atmega8535 Untuk Pengaturan Suhu Pada Alat Pengering Kertas*, Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang.
- [7] Setiawan, Iwan. *Kontrol PID untuk Proses Industri*, PT Elex Media Komputindo, Jakarta, 2008
- [8] Wardhana Lingga, *Belajar sendiri Mikrokontroler AVR seri ATmega8535*, Andi Offset, Yogyakarta, 2006.
- [9] _____, *Teknik Kontrol Automatik Jilid 2*, diterjemahkan oleh Edi Leksono, Erlangga, Jakarta, 1994.
- [10] _____, *ATmega8535 Data Sheet*, <http://www.atmel.com>.
- [11] _____, *Liquid Crystal Display Module M1632 : User Manual*, Seiko Instrument Inc., Japan, 1987.
- [12] , <http://www.alldatasheet.com>



Rina Purnamasari
(L2F305237)

Saat ini sedang menempuh studi pendidikan strata I di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Konsentrasi yang ditekuni adalah pada bidang kendali.

Mengetahui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Sumardi, S.T., M.T

NIP. 196811111994121001

Tanggal: _____

Wahyudi, S.T., M.T.

NIP. 196906121994031001

Tanggal: _____