

PENGENDALIAN SUHU SECARA CASCADE CONTROL MENGUNAKAN PROPORSIONAL – INTEGRAL BERBASIS MIKROKONTROLLER ATMEGA 8535

Dheka Bakti K.W.¹, Iwan Setiawan, ST. MT.², Trias Andromeda, ST. MT.²

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

Abstrak

Pada pengendalian suhu di sebuah *heat exchanger*, terdapat load atau gangguan pada proses (*loop*) yang kalau tidak diperhatikan akan menjadi sangat merugikan. Gangguan itu adalah perubahan tekanan sumber steam. Andaikata sumber steam terdiri atas beberapa boiler yang energinya selain dipakai *heat exchanger* juga dipakai di sistem utility yang lain. Begitu pemakaian panas di tempat lain meningkat, tekanan sumber steam tentu akan menurun.

Sistem pengendalian kemudian diperbaiki dengan menambahkan pengendali aliran di antara pengendali suhu dan control. Jadi, *manipulated variable* (variabel yang dimanipulasi) dari pengendali suhu menjadi *set point* bagi pengendali aliran. Konfigurasi pengendalian semacam inilah yang lazim disebut *cascade control* (pengendalian bertingkat).

Dengan menggunakan pengendalian bertingkat akan didapatkan tanggapan keluaran sesuai dengan yang diharapkan, walaupun terdapat gangguan berupa tekanan steam. Dibandingkan dengan *single control*, pengendalian bertingkat lebih handal di dalam pengendaliannya.

Kata kunci : *cascade control* (pengendalian bertingkat), *PI* (*Proporsional-Integral*), *auto tuning Ziegler-Nichols*, *mikrokontroler ATmega8535*.

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam dunia industri nyata, banyak kebutuhan proses yang tidak dapat diselesaikan dengan *loop* sederhana yang hanya mengandalkan sebuah mata rantai *feedback*. Contoh paling nyata adalah pengendalian suhu pada *heat exchanger*. Andaikata sumber uap terdiri atas beberapa boiler yang energinya selain dipakai *heat exchanger* juga dipakai di sistem utility yang lain. Begitu pemakaian panas di tempat lain meningkat, tekanan sumber uap tentu akan menurun. Pengendalian suhu tidak akan segera melihat perubahan tekanan uap ini sebelum suhu fluida benar-benar turun. Sebenarnya penurunan tekanan uap dapat diatasi dengan segera kalau saja aliran uap juga dikendalikan.

Sistem pengendalian kemudian diperbaiki dengan menambahkan pengendali aliran di antara pengendali suhu dan *control valve*. Jadi, *manipulated variable* (variabel yang dimanipulasi) dari pengendali suhu menjadi *set point* bagi pengendali aliran. Konfigurasi pengendalian semacam inilah yang lazim disebut *cascade control* (pengendalian bertingkat). Kini, pengendalian suhu tidak perlu kuatir pada perubahan tekanan sumber uap, karena aliran uap juga dikendalikan oleh pengendali aliran.

1.2 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai pada tugas akhir ini adalah :

1. Menerapkan pengendali PI (*Proporsional Integral*) pada *plant* pengendalian suhu secara *cascade control* (pengendalian bertingkat) dengan mikrokontroler ATmega 8535 sebagai media pengendali.
2. Membandingkan respon keluaran antara *plant* yang menggunakan *single control* dengan *cascade control*.

1.3 Pembatasan Masalah

Dalam pembuatan tugas akhir ini penulis membatasi permasalahan sebagai berikut :

1. *Plant* yang diuji adalah *plant* pengendalian suhu.
2. Metode pengendaliannya PI (*Proporsional dan Integral*) secara *cascade* dengan penalaan menggunakan metode *Ziegler-Nichols 2*.
3. Gangguan di dalam pengendalian suhu berupa kecepatan aliran (*flow*) uap.
4. Menggunakan dua *loop* pada pengendalian bertingkatnya untuk mengendalikan suhu, yaitu berupa pengendalian suhu dan pengendalian aliran uap.
5. Mikrokontroler yang digunakan adalah mikrokontroler ATmega 8535.
6. Pembuatan perangkat lunak menggunakan bahasa C embedded sebagai pengendaliannya dan Borland Delphi 7 sebagai perangkat lunak untuk tampilan.

II. DASAR TEORI

Pengendali PID

Pengendali PID adalah sistem pengendali gabungan antara pengendali proporsional, integral, dan differensial. Dalam waktu kontinyu, sinyal keluaran pengendali PID dirumuskan sebagai :

$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \dots (2.1)$$

dengan :

$u(t)$ = sinyal keluaran pengendali PID

K_p = konstanta proporsional

T_i = waktu integral

T_d = waktu differensial

K_i = konstanta integral

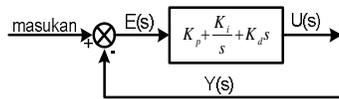
K_d = konstanta differensial

$e(t)$ = sinyal kesalahan ($e(t)$ = referensi – keluaran *plant*)

Jadi, fungsi alih pengendali PID (dalam domain s) dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \dots (2.2)$$

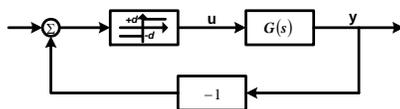
Diagram blok pengendali PID dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Diagram blok pengendali PID

Pengembangan Metode Penalaan Kedua Ziegler-Nichols

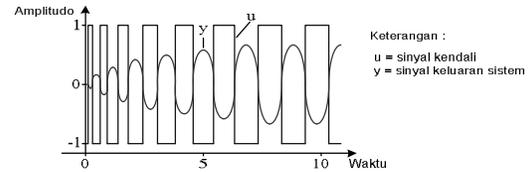
Penalaan pengendali PID adalah mencari nilai K_p , K_i , dan K_d . Metode penalaan kedua Ziegler-Nichols dikembangkan dengan *relay* sebagai pengendali sistem. *Relay* dianggap menggantikan fungsi pengendali proporsional yang digunakan pada metode penalaan kedua Ziegler-Nichols. Diagram blok sistem umpan balik dengan *relay* sebagai pengendali ditunjukkan Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Diagram blok sistem umpan balik dengan kendali *relay*

Prinsip dasar metode ini adalah adanya batas nilai perioda proses osilasi, jika dikendalikan menggunakan metode kalang tertutup dengan *relay* sebagai pengendali. Sinyal masukan dan keluaran

yang diperoleh dengan sinyal kendali, u , ditunjukkan oleh Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Masukan dan keluaran sistem dengan umpan balik *relay*

Osilasi dapat terjadi bila sinyal keluaran melalui titik nol saat *relay* berpindah posisi. Selain itu, komponen dasar dari sinyal keluaran dan masukan harus memiliki fase yang berlawanan, sehingga kondisi yang harus dipenuhi agar osilasi dapat terjadi adalah sebagai berikut :

$$\frac{a\pi}{4d} = \frac{1}{K_u} \dots (2.3)$$

dan

$$T_u = 2\pi / \omega_u \dots (2.4)$$

dengan :

K_u = penguatan dasar

a = amplitudo gelombang sinus

d = amplitudo gelombang persegi

T_u = periode dasar

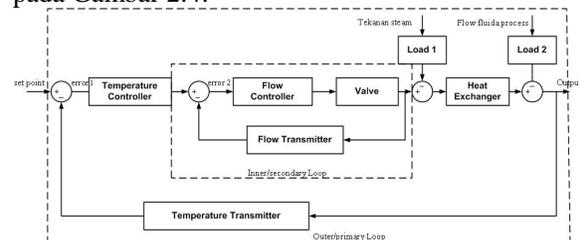
Parameter-parameter PID diperoleh dengan mengoperasikan nilai-nilai yang telah didapat dari proses penalaan dengan tetapan-tetapan empiris Ziegler-Nichols pada metode penalaan ke-2 Ziegler-Nichols yang ditunjukkan Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Penalaan Ziegler-Nichols metode ke-2

Pengendali	K_p	T_i	T_d
P	$K_u/2$	-	-
PI	$2K_u/5$	$4T_u/5$	-
PID	$3K_u/5$	$T_u/2$	$3T_u/25$

Pengendalian Cascade (Bertingkat)

Ciri khas sistem pengendalian *cascade* (bertingkat) adalah adanya *manipulated variable* (variabel yang dimanipulasi) sebuah pengendali yang menjadi *set point* dari pengendali lain. Diagram blok pengendalian bertingkat dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Diagram blok sistem pengendalian bertingkat (*cascade*)

Dari Gambar 2.4 terlihat bahwa ada dua jalur umpan balik pada sistem pengendalian bertingkat (*cascade control*), sehingga terbentuk dua mata rantai pengendalian (kalang). Mata rantai atau kalang bagian luar (*outer loop*) disebut *primary loop* atau *master*, dan mata rantai atau kalang bagian dalam (*inner loop*) disebut *secondary loop* atau *slave*. *Master* atau *primary loop* mengendalikan proses variabel primer (proses suhu fluida). Sedangkan *slave* atau *secondary loop* mengendalikan proses variabel sekunder (aliran uap).

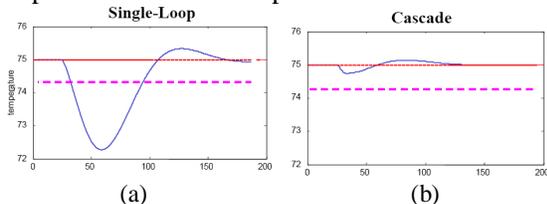
Alasan penggunaan pengendalian bertingkat (*cascade control*) dalam mengendalikan *plant* adalah sebagai berikut :

1. Respon keluaran dari *single control* tidak sesuai dengan yang diharapkan.
2. Terdapat penambahan variabel sekunder di dalam pengendalian *plant*.
3. Dengan adanya pengendali sekunder yang lebih cepat, dapat mengatasi gangguan pada kalang sekunder.

Alasan tidak digunakannya pengendalian bertingkat (*cascade control*) adalah :

1. Biaya atau rugi-rugi pengukuran variabel sekunder.
2. Keruwetan pada pengendaliannya.

Perbedaan respon keluaran antara *single loop* dengan pengendalian bertingkat (*cascade control*) dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Perbandingan respon keluaran antara *single loop* dengan pengendalian bertingkat (a) *single loop* (b) pengendalian bertingkat (*cascade control*)

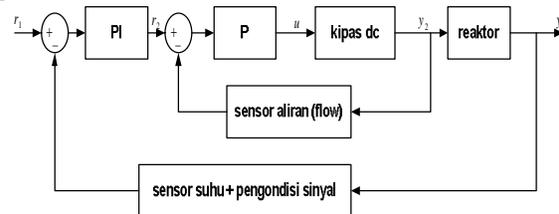
Berikut langkah-langkah penalaan di dalam pengendalian bertingkat (*cascade control*) :

1. Meletakkan kedua kalang pada posisi manual.
2. Pengoperasian kalang harus selalu dimulai dari kalang sekunder.
3. Memilih mode manual untuk mencari parameter PID pada kalang sekunder, namun tidak sampai mengganggu proses variabel primer.
4. Setelah menyetting di kalang sekunder menghasilkan respon yang cukup mantap, kemudian mempersiapkan metode *auto tuning* untuk mencari parameter PID pada kalang primer.
5. Meletakkan kalang primer pada posisi *auto tuning* dan melakukan penalaan kalang primer.

6. Setelah parameter-parameter PID pada kalang primer dan kalang sekunder diketahui, maka mode *cascade* dapat dijalankan untuk pengendalian *plant*.

III. PERANCANGAN

Secara umum, diagram blok perancangan sistem pengendalian suhu dengan pengendalian bertingkat (*cascade control*) ditunjukkan seperti pada Gambar 3.1.

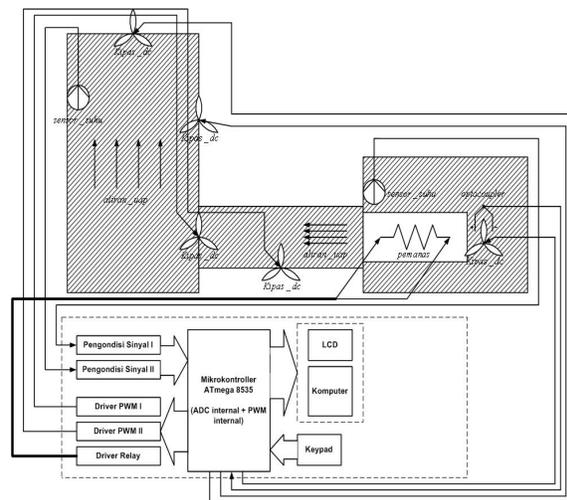


Gambar 3.1 Diagram blok pengendalian suhu dengan pengendalian bertingkat (*cascade control*)

Perancangan sistem pengendalian suhu dengan pengendalian bertingkat (*cascade control*) meliputi perancangan perangkat keras (*hardware*) dan perancangan perangkat lunak (*software*).

3.1 Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

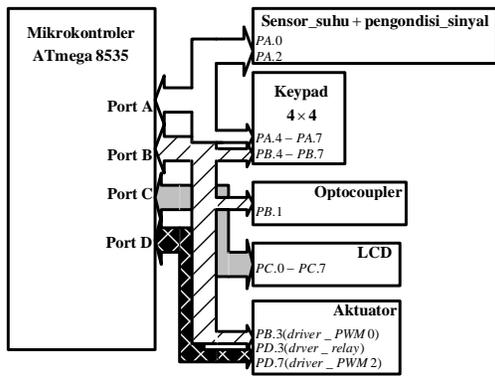
Perancangan perangkat keras dapat ditunjukkan seperti Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Diagram blok perancangan perangkat keras

3.1.1 Sistem Minimum Mikrokontroler ATmega 8535

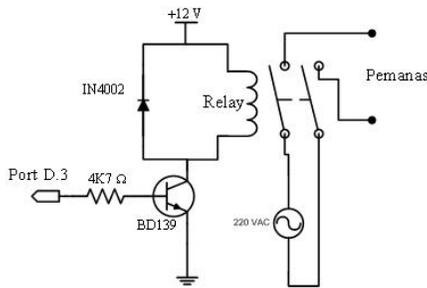
Sistem mikrokontroler ATmega 8535 dibentuk dari beberapa piranti masukan-keluaran. Hubungan mikrokontroler ATmega 8535 dengan piranti masukan-keluaran ditunjukkan seperti pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Interaksi sistem mikrokontroler ATmega 8535 dengan komponen I/O

3.1.2 Relay dan Driver Relay

Driver relay ditunjukkan pada Gambar 3.4.

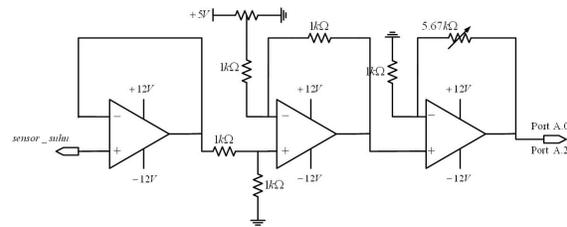


Gambar 3.4 Rangkaian driver relay

Pada rangkaian driver relay terdapat transistor npn BD 139 yang berfungsi sebagai saklar. Transistor ini akan *on* (aktif) apabila keluaran Port D.3 pada mikrokontroler ATmega 8535 berlogika 1, sedangkan akan *off* apabila keluaran berlogika 0.

3.1.3 Sensor LM35 dan Pengondisi Sinyal

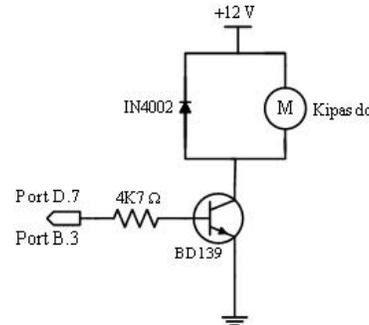
Jangkauan pengukuran sistem ini antara 25°C sampai dengan 100°C, sehingga tegangan yang dikeluarkan sensor LM35 berada dalam jangkauan 0,25 volt sampai 1 volt. Rangkaian pengkondisi sinyal yang sesuai untuk mengubah jangkauan tegangan antara 0,25 sampai 1 volt menjadi 0 sampai 5 volt adalah penguat selisih, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.5. Penguat ini akan mengurangi tegangan masukan dengan nilai 0,25 volt, sebagai tegangan paling kecil yang diukur, sehingga jangkauan tegangan yang akan dikuatkan menjadi 0 sampai 0,75 volt. Selanjutnya, tegangan dengan jangkauan 0 sampai 0,75 volt ini akan dikuatkan sebesar 6,67 kali agar sesuai dengan tegangan yang dibutuhkan yaitu 0 sampai 5 volt.



Gambar 3.5 Rangkaian pengkondisi sinyal I dan II

3.1.4 Driver PWM (Pulse Width Modulation)

Skema dari driver PWM ini ditunjukkan pada Gambar 3.6.

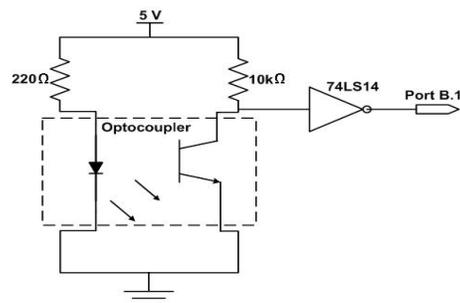


Gambar 3.6 Rangkaian driver PWM (Pulse Width Modulation)

Pada rangkaian driver PWM terdapat transistor npn BD 139 yang berfungsi sebagai saklar. Transistor ini akan *on* (aktif) apabila keluaran Port D.7 untuk PWM 2 atau Port B.3 untuk PWM 0 pada mikrokontroler ATmega 8535 berlogika 1, sedangkan akan *off* apabila keluaran berlogika 0.

3.1.5 Rangkaian Optocoupler

Rangkaian optocoupler adalah sebagai berikut :



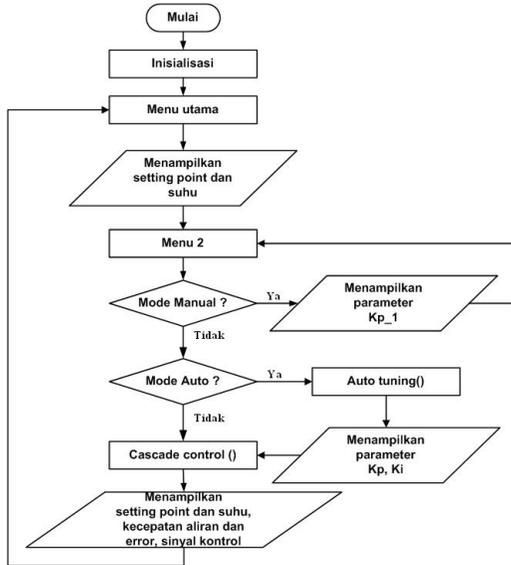
Gambar 3.7 Rangkaian sensor optocoupler

Optocoupler terdiri dari LED dan detektor cahaya (*phototransistor*) yang berfungsi untuk menerima cahaya yang dipancarkan oleh LED. Sesuai dengan rangkaian pada Gambar 3.7, maka optocoupler akan menghasilkan tegangan keluaran *high* pada saat tidak ada cahaya yang mengenai

permukaan detektor. Sedangkan saat cahaya mengenai detektor maka tegangan keluaran dari detektor adalah *low*.

3.2 Perancangan Perangkat Lunak (Software)

Program utama mengatur keseluruhan jalannya program yang meliputi sub rutin-sub rutin. Sub rutin akan melaksanakan fungsi-fungsi tertentu yang dibutuhkan untuk sistem pengendalian. Adapun diagram alir dari program utama ditunjukkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Diagram alir program utama untuk pengendalian bertingkat (*cascade control*)

3.2.1 Sub Rutin Interupsi Timer 0

Sub rutin interupsi *Timer 0* digunakan untuk waktu cuplik menghitung kecepatan aliran uap (*flow*), waktu cuplik pengambilan ADC internal, dan untuk menghasilkan PWM (*Pulse Width Modulation*) internal. PWM internal ini terletak pada Port B.3 untuk *Timer 0*.

3.2.2 Sub Rutin Interupsi Timer 1

Sub rutin interupsi *Timer 1* berfungsi sebagai pencacah frekuensi eksternal yang berasal dari *optocoupler*. Di mana dengan mencacah frekuensi eksternal yang berasal dari *optocoupler*, dapat menghitung besarnya kecepatan aliran uap.

3.2.3 Sub Rutin Interupsi Timer 2

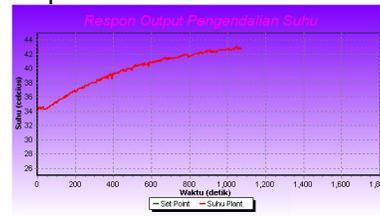
Sub rutin interupsi *Timer 2* digunakan untuk waktu cuplik dalam melakukan *auto tuning*, waktu cuplik pengendalian *on-off*, waktu cuplik perhitungan sinyal kontrol, dan untuk menghasilkan PWM (*Pulse Width Modulation*) internal. PWM internal ini terletak pada Port D.7 untuk *Timer 2*.

IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan dengan membandingkan antara pengendalian suhu secara *single loop* dengan adanya gangguan dan pengendalian suhu secara *cascade control* dengan adanya gangguan. Di mana pada masing-masing pengujian terdapat pengujian kalang terbuka, dan pengujian *tuning* Ziegler-Nichols di dalam mendapatkan nilai parameter-parameter PI (Proporsional dan Integral).

4.1 Pengujian Kalang Terbuka

Pada pengujian kalang terbuka, mikrokontroller memberi masukan berupa sinyal kendali ke *driver* PWM 2 sebesar $7F_h$ yang setara dengan 6 volt dan PWM 0 sebesar 80_h yang setara dengan 6 volt. Tanggapan keluaran suhu pada *plant* ditunjukkan pada Gambar 4.1.

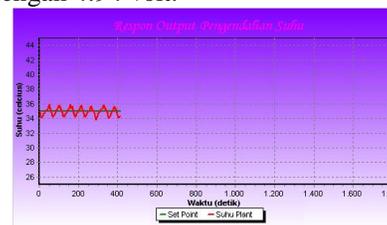


Gambar 4.1 Tanggapan keluaran *plant* suhu untuk kalang terbuka

Besarnya waktu mati (*L*) yang dihasilkan sebesar 54.5 detik dan konstanta waktu (*T*) dari tanggapan tersebut sebesar 438 detik. Perbandingan besar waktu mati terhadap konstanta waktu (*L/T*) menghasilkan nilai 0.124.

4.2 Penalaan Suhu dengan Auto Tuning Ziegler-Nichols

Penalaan parameter-parameter proporsional-integral dilakukan agar dapat diperoleh parameter-parameter yang sesuai untuk *plant* model. Referensi yang diberikan adalah sebesar 35°C yang setara dengan nilai 88_h . Pada saat diolah oleh mikrokontroller dengan sinyal kendali *relay* yang diberikan ketika keadaan *off* ke *driver* PWM 2 sebesar 00_h yang setara dengan 0 volt dan PWM 0 sebesar FF_h yang setara dengan 12 volt. Sedangkan ketika keadaan *on*, sinyal kendali *relay* yang diberikan ke *driver* PWM 2 sebesar 96_h yang setara dengan 7.06 volt dan PWM 0 sebesar 69_h yang setara dengan 4.94 volt.



Gambar 4.2 Tanggapan keluaran *auto tuning* Ziegler Nichols

Tanggapan suhu *plant* beresiliasi dengan suhu minimal 34.2 °C yang setara dengan 7D_h untuk 10 bit atau setara dengan 1F_h untuk 8 bit sampai dengan suhu maksimal 35.8°C yang setara dengan 93_h untuk 10 bit atau setara dengan 24_h untuk 8 bit. Nilai amplitudo osilasi (*a*) didapatkan sebesar B_h, dan nilai perioda osilasi (T_u) sebesar 40 detik.

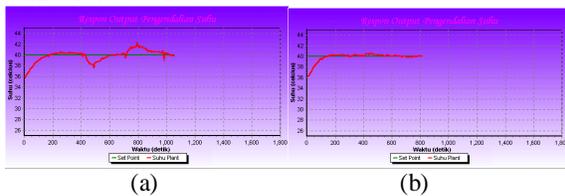
Penalaan dengan data yang ditunjukkan Gambar 4.2 menghasilkan parameter-parameter PI sebagai berikut :

$$K_p = \frac{0.4 \times 4 \times d}{a \times \pi} = \frac{0.4 \times 4 \times 88_h}{B_h \times 3.14} = 6.11$$

$$K_i = \frac{K_p}{0.8 \times T_u} = \frac{6.11}{0.8 \times 40} = 0.191$$

4.3 Perbandingan Tanggapan Suhu secara Single Control dengan Tanggapan Suhu secara Cascade Control

Tanggapan sistem pengendalian suhu secara *single control* dan pengendalian suhu secara *cascade control* dengan *setting point* 40.0°C dan gangguan aliran uap yang melambat 7.0 m/s dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Tanggapan sistem pengendalian suhu dengan *setting point* 40.0°C dan gangguan aliran uap yang melambat 7.0 m/s

- (a) *single control*
- (b) *cascade control*

Tanggapan pengendalian suhu mencapai kestabilan (*setting point*) dengan toleransi 0.3% dari *setting point* (40.0°C), yaitu antara suhu 39.9°C sampai suhu 40.1°C.

Ketika terjadi gangguan aliran uap melambat 8 m/s pada waktu 400 detik, tanggapan pada pengendalian suhu secara *single control* mengalami penurunan drastis, yaitu mencapai suhu 37.5°C. Tanggapan kembali stabil setelah 170.5 detik dengan suhu 39.9°C. Sedangkan tanggapan pengendalian suhu secara *cascade control* ketika terjadi gangguan aliran uap pada waktu 400 detik tidak mengalami perubahan suhu.

Pada waktu 700 detik, kecepatan aliran uap kembali seperti semula (9.5 m/s). Ketika aliran uap 9.5 m/s, tanggapan pada pengendalian suhu secara *single control* mengalami kenaikan drastis, yaitu mencapai suhu 41.8°C. Tanggapan kembali stabil setelah 261.5 detik dengan suhu 40.1°C. Sedangkan tanggapan pengendalian suhu secara *cascade control*

ketika terjadi gangguan aliran uap pada waktu 700 detik tidak mengalami perubahan suhu.

Dari hasil pengujian pengendalian suhu secara *single control* dan pengendalian suhu secara *cascade control* dapat dibuat Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil pengujian pengendalian suhu

SP suhu	Bentuk pengendalian	Nilai toleransi suhu kestabilan	Perubahan aliran (flow)	Suhu ketika aliran lambat	Δ waktu ketika aliran lambat	Percepatan aliran (flow)	Suhu ketika aliran cepat	Δ waktu ketika aliran cepat
36	Single control	0.3%(35.9 - 36.1)	4 m/s	34.8	133.5 s	4 m/s	37.2	129 s
	Cascade control	0.3%(35.9 - 36.1)	4 m/s	36.9	61.5 s	4 m/s	35.3	62 s
	Single control	0.3%(35.9 - 36.1)	7 m/s	34.3	235 s	7 m/s	38.6	162.5 s
	Cascade control	0.3%(35.9 - 36.1)	7 m/s	36.7	46.5 s	7 m/s	35.5	69.5 s
38	Single control	0.5%(37.8 - 38.2)	4 m/s	36.8	144.5 s	4 m/s	39.1	151.5 s
	Cascade control	0.5%(37.8 - 38.2)	4 m/s	37.8	-	4 m/s	37.1	51.5 s
	Single control	0.5%(37.8 - 38.2)	7 m/s	35.9	185 s	7 m/s	40.0	176.5 s
	Cascade control	0.5%(37.8 - 38.2)	7 m/s	38.9	29.5 s	7 m/s	37.0	7.5 s
40	Single control	0.5%(39.8 - 40.2)	4 m/s	39.4	132 s	4 m/s	41.3	170.5 s
	Cascade control	0.5%(39.8 - 40.2)	4 m/s	39.8	-	4 m/s	40.2	-
	Single control	0.5%(39.8 - 40.2)	7 m/s	37.5	170.5 s	7 m/s	41.8	261.5 s
	Cascade control	0.5%(39.8 - 40.2)	7 m/s	39.8	-	7 m/s	40.2	-

4.4 Analisa Tanggapan Suhu secara Single Control dengan Tanggapan Suhu secara Cascade Control

Pada Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan antara tanggapan keluaran pengendalian suhu secara *single control* dan tanggapan keluaran pengendalian suhu secara *cascade control* adalah sebagai berikut :

1. Tanggapan keluaran pengendalian suhu secara *single control* cenderung turun ketika terdapat gangguan aliran uap (aliran uap melambat). Sedangkan tanggapan keluaran pengendalian suhu secara *cascade control* cenderung naik atau stabil ketika terdapat gangguan aliran uap (aliran uap melambat).
2. Tanggapan keluaran pengendalian suhu secara *single control* cenderung naik ketika terdapat gangguan aliran uap (aliran uap cepat). Sedangkan tanggapan keluaran pengendalian suhu secara *cascade control* cenderung turun atau stabil ketika terdapat gangguan aliran uap (aliran uap cepat).
3. Perubahan suhu pada pengendalian secara *single control* mengalami penyimpangan yang besar terutama ketika gangguan aliran uapnya besar (aliran uap melambat atau cepat). Sedangkan tanggapan keluaran pengendalian suhu secara *cascade control* mengalami penyimpangan sedikit atau stabil ketika terdapat gangguan aliran uap (aliran uap melambat atau cepat).

Hal-hal yang menyebabkan perbedaan antara tanggapan keluaran pengendalian suhu secara *single control* dan pengendalian suhu secara *cascade control* antara lain :

1. Pada pengendalian suhu secara *single control* tidak terdapat perhitungan nilai dari aliran uap

- pada sinyal kontrolnya. Sehingga ketika terjadi gangguan aliran uap, tanggapan suhu akan menyimpang dari kestabilan dan akan mencapai kestabilan dengan waktu yang cukup lama. Hal ini dikarenakan terdapatnya pengendalian Proporsional dan Integral yang dapat membuat sistem mencapai kestabilan (sesuai *setting point*).
2. Sedangkan pada pengendalian suhu secara *cascade control* terdapat perhitungan nilai dari aliran uap pada sinyal kontrolnya. Sehingga ketika terjadi gangguan aliran uap, tanggapan suhu tidak akan mengalami perubahan (stabil). Hal ini dikarenakan sebelum aliran uap memanaskan *plant* model, besarnya aliran uap sudah disensor dan data dari sensor akan diolah ke dalam pengendalian yang akan mengendalikan kipas dc (simulasi dari *valve*). Di mana pengendalian aliran uap lebih cepat dari pada pengendalian suhu.

V. PENUTUP

5.1 Penutup

Berdasarkan pengujian dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut :

1. Tanggapan keluaran pengendalian suhu secara *single control* cenderung turun ketika terdapat gangguan aliran uap (aliran uap melambat). Sedangkan tanggapan keluaran pengendalian suhu secara *cascade control* cenderung naik atau stabil ketika terdapat gangguan aliran uap (aliran uap melambat).
2. Tanggapan keluaran pengendalian suhu secara *single control* cenderung naik ketika terdapat gangguan aliran uap (aliran uap cepat). Sedangkan tanggapan keluaran pengendalian suhu secara *cascade control* cenderung turun atau stabil ketika terdapat gangguan aliran uap (aliran uap cepat).
3. Besarnya perubahan suhu ketika terjadi gangguan aliran uap (*flow*) tergantung dari besarnya gangguan aliran uap (*flow*). Semakin besar gangguan aliran uap (aliran uap semakin melambat atau cepat) maka perubahan suhu semakin besar.
4. Besarnya waktu perubahan suhu ketika terjadi gangguan untuk mencapai stabil tergantung dari besarnya gangguan aliran uap (*flow*). Semakin besar gangguan aliran uap (aliran uap semakin melambat atau cepat) maka besarnya waktu untuk perubahan suhu semakin besar.

5.2 Saran

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

1. Untuk mendapatkan tanggapan suhu keluaran yang lebih baik, maka dapat dicoba dengan :
 - Menggunakan *plant* model sesuai dengan industri, misalnya kipas dc diganti dengan *valve* linear, uap untuk memanaskan berupa uap basah bukan uap kering, benda yang dipanaskan berupa benda cair bukan udara.
2. Dapat dikembangkan dengan membuat pengendalian jarak jauh (*remote*) dengan perantara komputer.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Astrom, John and Bjorn Wittenmark, *Adaptive Control*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- [2] Brosilow, Coleman/Babu Joseph, *Techniques of Model-Based Control*, Prentice Hall International Series, New Jersey, 2001.
- [3] Gunterus, Frans, *Falsafah Dasar: Sistem Pengendalian Proses*, PT Elex Media Komputindo, Jakarta, 1997.
- [4] Jacquot, Raymond G., *Modern Digital Control Systems*, Marcel Dekker Inc, New York, 1981.
- [5] Ogata, Katsuhiko, *Teknik Kontrol Automatik Jilid 1*, diterjemahkan oleh Edi Leksono, Erlangga, Jakarta, 1994.
- [6] Ogata, Katsuhiko, *Teknik Kontrol Automatik Jilid 2*, diterjemahkan oleh Edi Leksono, Erlangga, Jakarta, 1994.

BIODATA MAHASISWA



DHEKA BAKTI K.W.

(L2F 002 570)

Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro,
Fakultas Teknik Universitas
Diponegoro Semarang, dengan pilihan
konsentrasi Kontrol.

Mengetahui/Mengesahkan,

Pembimbing I

Pembimbing II

Iwan Setiawan, ST. MT.
NIP. 132 283 183

Trias Andromeda, ST. MT.
NIP. 132 283 185