



MODUL P-3 Sistem Pengendalian Otomatis

Tuning controller PID

(Metode Ziegler Nichols dan IAE)





MODUL PRAKTIKUM I

Tuning controller PID

(Metode Ziegler Nichols, Cohen Coon dan IAE)

Latar Belakang

Kontroler *Proportional Integral Derivative* (PID) merupakan Kontroler yang banyak digunakan pada industri proses. Kemudahan dalam pemasangan dan pengoperasiannya menyebabkan kontroler ini digunakan pada sebagian besar loop pengendalian di industri. PID controller membutuhkan input sinyal dari transmitter berupa sinyal arus (mA) atau tegangan (Volt) dan mengeluarkan sinyal output yang terhubung ke aktuator, salah satu contoh aktuator yaitu control valve.

Kontroler PID terdapat 3 parameter *tuning* yaitu *Proportional*, *Integral*, *Derivative*. Parameter tuning ini diatur untuk mendapatkan respon sistem yang diinginkan. Beberapa metode tuning telah dikembangkan untuk bisa mendapatkan sistem yang stabil sesuai dengan kebutuhan proses. Dalam beberapa produsen kontroler terdapat perbedaan dalam pemberian parameter tuning misalnya untuk parameter proportional terdapat Proportional band (PB) dan Gain Proportional (K_p), Integral time (T_i), waktu derivative (T_d). Pada PID Simulink Matlab ada perbedaan pada Integral (K_i) dan derivative K_d . Parameter tersebut dapat dikonversi dengan ($K_i = K_p/t_i$) dan ($K_d = K_p \cdot T_d$).

Untuk bisa menentukan parameter tuning yang tepat pada setiap pengendalian terdapat beberapa metode tuning. Pada setiap metode tuning tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan disesuaikan berdasarkan kebutuhan proses. Salah satu metode tuning yaitu Ziegler Nichols metode tuning ini memiliki 2 cara mulai dari yang memerlukan data *open loop* (*Process reaction curve*) sampai dengan menggunakan *close loop* (*ultimate cycle*). Beberapa metode tuning lain misalnya *Integral Absolute Error* (IAE), Cohen coon, IMC, *Direct Sythesis*. Beberapa Metode tuning tersebut terdapat kesamaan membutuhkan data hasil uji open loop. Uji *open loop* dilakukan dengan cara memposisikan kontroler dalam kondisi manual. Kondisi manual ini menyebabkan sinyal yang masuk ke aktuator dapat diatur. Pemberian sinyal *step* ini diberikan dengan begitu aktuator akan pada posisi tertentu yang merubah proses variabel. Hasil pemberian input berupa sinyal step dan perubahan proses variabel ini yang diamati untuk mendapatkan karakteristik plant dalam bentuk fungsi transfer. Fungsi transfer untuk orde satu





terdiri dari Gain plant (K), time constant, dead time. Ketiga parameter hasil uji open loop ini kemudian dimasukkan dalam perhitungan K_p , T_i , T_d menggunakan tabel tuning PID.

Praktikum ini akan dilakukan tuning controller PID pada alat penukar panas (*Heat Exchanger*) yang ada pada Lab Rekayasa Instrumentasi, Kontrol, dan Optimisasi. Heat exchanger yang digunakan berjenis *shell and tube*. Fluida yang digunakan pada shell dan tube berupa air. Air panas akan melewati tube dan air dingin akan melewati shell. Pada sistem pengendalian heat exchanger temperatur yang dikendalikan pada temperatur outlet dari shell. Perubahan temperatur ini dapat dilakukan dengan mengatur bukaan valve pada aliran tube. Metode tuning yang digunakan pada praktikum kali ini Ziegler Nichols dan IAE.

A. TUJUAN PRAKTIKUM

Pelaksanaan praktikum ini memiliki tujuan sebagai berikut:

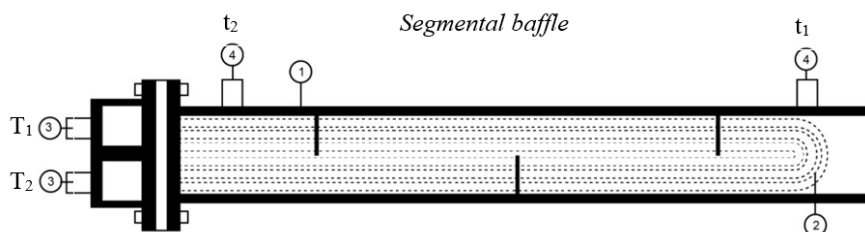
1. Memahami metode tuning untuk menentukan parameter tuning controller terbaik.
2. Mampu menganalisa hasil performa control hasil tuning PID.

B. DASAR TEORI

1. Heat Exchanger

a. Komponen penyusun heat exchanger

Komponen penyusun heat exchanger terdiri dari komponen utama dan komponen pendukung. Komponen utamanya yaitu heat exchanger shell and tube dan komponen pendukung yaitu heater. Heater ini diperlukan untuk menyediakan air panas sebagai bagian dari utilitas. Heater ini terdiri dari tanki dan elemen pemanas, untuk menjaga temperatur pada heater ini ditambahkan sensor temperatur thermocouple dan controller. Output dari controller ini akan memberikan instruksi pada konntaktor untuk memberikan aliran listrik pada elemen pemanas.



Gambar 1 Skema Heat Exchanger Shell and tube





Bentuk skema dari heat exchanger yang digunakan pada praktikum kali ini menggunakan heat exchanger dengan 1 shell pass dan 2 tube pass. T_1 merupakan input aliran yang masuk ke tube dan T_2 aliran keluaran tube. t_1 input dari aliran yang masuk ke shell dan t_2 keluaran dari shell.



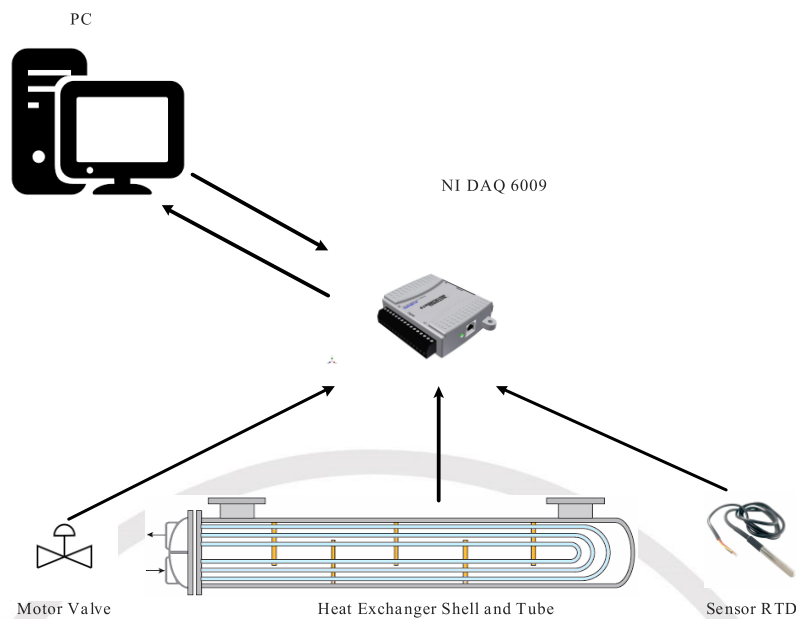
Gambar 2 Peralatan simulator Heat exchanger Shell and tube

Pada gambar 2 ditunjukkan bahwa peralatan ini terdiri dari heat exchanger (1), Panel control (2), tangki Heater (3), Pompa air panas (4). Converter signal dari sensor didalam box hitam.

b. Variabel yang dikendalikan dalam heat exchanger

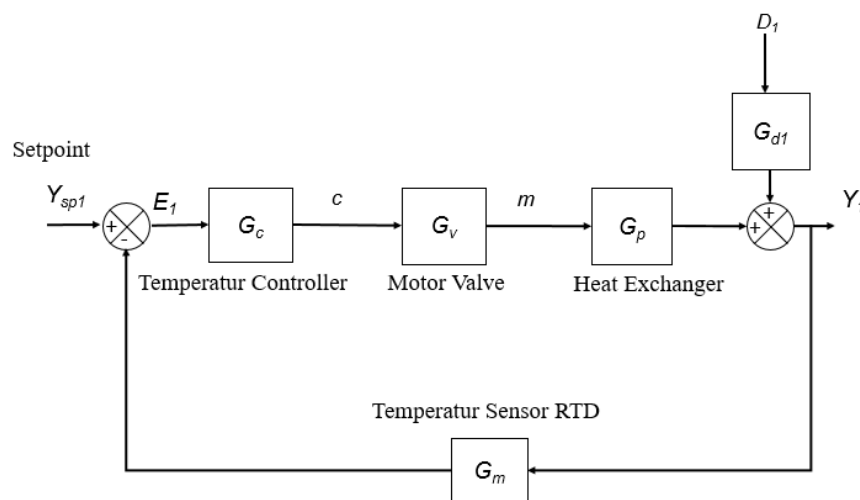
Variabel utama yang dikendalikan pada heat exchanger ini yaitu temperatur keluaran shell sebagai process variable, manipulated variable pada pengendalian ini yaitu motor valve. Motor valve merupakan valve yang digerakkan oleh motor stepper yang dapat diatur putarannya sehingga mendapatkan persen bukaan valve tertentu. Skema system control pada pengendalian temperature heat exchanger ditunjukkan pada gambar 3.





Gambar 3 Skema sistem pengendalian HE dan penyimpanan data

c. Blok diagram sistem pengendalian temperatur heat exchanger

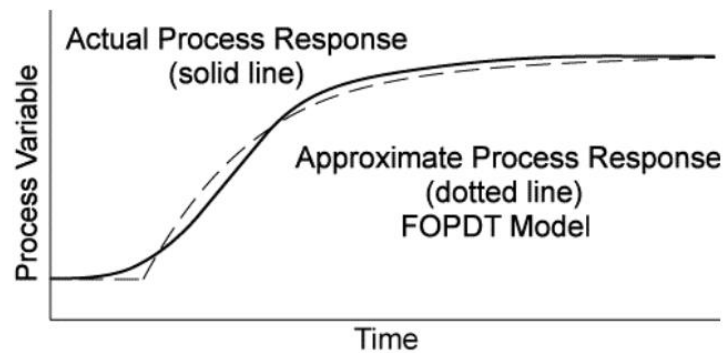


2. Uji open loop (Wade, 2004)

a. Cara melakukan uji open loop.

Pada uji open loop controller dikondisikan manual dan output controller dapat diatur sampai mendekati kondisi operasi normal. Kemudian output controller diubah dalam bentuk step. Kemudian nilai parameter model operasi sederhana dari respon proses terhadap perubahan step.

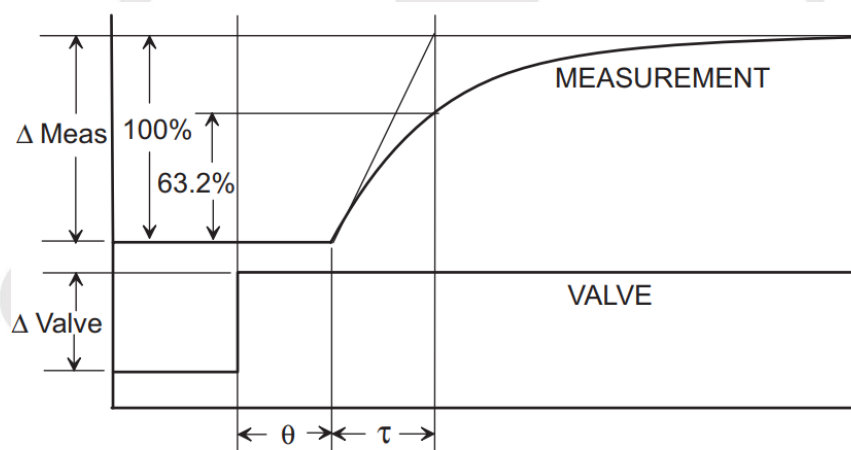




Gambar

Pada kebanyakan proses self regulating respon untuk perubahan step input berupa kurva S, mungkin terdapat delay dan time constant. Tipe respon proses biasanya dapat dimodelkan dengan first order plus dead time (FOPDT).

b. Cara mengamati hasil uji open loop



$$K_p = \text{Process Gain} = \frac{\Delta \text{Meas}}{\Delta \text{Valve}}$$

$$\text{Process Model} = \frac{K_p e^{-\theta s}}{\tau s + 1}$$

Tiga parameter yang diperlukan :

Gain Proses : K_p

Process time constant : τ

Dead time (delay) : θ

Tuning Metode Ziegler Nichols dan IAE

Dalam menentukan metode kontrol dapat diketahui bahwa terdapat beberapa aksi kontrol seperti *proporsional*, *integral* dan *derivative*. Secara umum, beberapa mode kontrol dapat digunakan hanya dengan satu mode atau dengan menggabungkan dari beberapa mode





kontrol. Jenis mode yang biasa digunakan untuk mengontrol *plant* adalah seperti mode kontrol P, PI, dan PID. Ketiga kontrol tersebut dapat mencakup hampir semua aplikasi pada *feedback control*. Penggunaan dari mode kontrol ini memiliki perbedaan bergantung pada jenis variabel yang digunakan. Dalam fungsinya masing-masing parameter kontrol memiliki fungsi tersendiri, sebagaimana pada penjelasan tabel berikut :

Tabel 1. Fungsi pada masing-masing parameter kontrol *proporsional*, *integral* dan *derivative*

Mode	Tuning Parameter	Aplikasi
Proporsional	Gain, K_c	<ul style="list-style-type: none">• Digunakan ketika variabel yang dikontrol merupakan variabel sederhana atau memiliki respon yang cepat, <i>load</i>/ atau beban atau <i>offset</i> tidak berubah secara signifikan sehingga nilai dari proses masih dapat diterima• Proporsional juga digunakan ketika dinamika <i>control loop</i> memungkinkan diberikan <i>input gain</i> yang tinggi tanpa menyebabkan osilasi. Kemudian, apabila terjadi perubahan beban yang signifikan, <i>offset</i> yang dihasilkan masih dapat teratasi.
Integral	T_i	<ul style="list-style-type: none">• <i>Integral</i> seringkali digunakan dengan mode proporsional. Tujuannya untuk menghilangkan atau mereduksi <i>error</i> pada saat kondisi respon dari kontrol sudah berada di area <i>steady state</i>.• Kadang juga kontrol <i>integral</i> digunakan sendiri, namun kinerja yang dihasilkan lebih rendah jika dibandingkan dengan mode PI. Sehingga mode <i>integral</i> saja jarang untuk digunakan
Derivative	T_D	<ul style="list-style-type: none">• <i>Derivative</i> biasanya digunakan dengan menggabungkan mode <i>proportional</i> dan <i>integral</i>, tujuannya untuk meningkatkan atau mempercepat respon kontrol dan untuk mengantisipasi dari efek dari perubahan beban dari <i>plant</i>.• <i>Derivative</i> sendiri juga sering digunakan terutama pada variabel temperatur atau loop lain yang memiliki karakteristik serupa dengan tingkat kebisingan rendah, respon yang cukup lambat.

Metode tuning yang digunakan diantaranya bisa menggunakan metode *ziegler nichols*, *cohen coon* dan *IAE*. Rumus ketiga metode tersebut bisa dilihat pada Tabel 2.





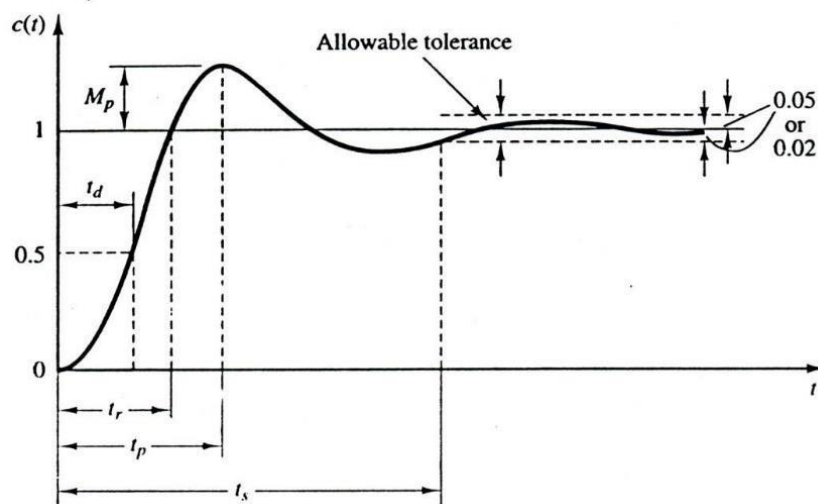
Tabel 2. Persamaan metode kontrol ziegler nichols, cohen coon dan IAE

Tipe Kontroler	<i>Ziegler Nichols</i>	<i>Cohen coon</i>	<i>IAE, Disturbance</i>
P	$\frac{1}{K} \left(\frac{\tau}{\theta} \right)$	$\frac{\tau}{K\theta} \left(1 + \frac{\theta}{3\tau} \right)$	$\frac{0.902}{K} \left(\frac{\tau}{\theta} \right)^{0.985}$
Proporsional + Intergral			
P	$\frac{0.9}{K} \left(\frac{\tau}{\theta} \right)$	$\frac{0.9\tau}{K\theta} \left(1 + \frac{\theta}{11\tau} \right)$	$\frac{0.984}{K} \left(\frac{\tau}{\theta} \right)^{0.986}$
I	3.33θ	$3.33\theta \left(\frac{\tau + 0.1\theta}{\tau + 2.22\theta} \right)$	$1.645\theta \left(\frac{\tau}{\theta} \right)^{0.293}$
Proporsional + Integral + Derivative			
P	$\frac{1.2}{K} \left(\frac{\tau}{\theta} \right)$	$\frac{1.33\tau}{K\theta} \left(1 + \frac{3\theta}{16\tau} \right)$	$\frac{1.435}{K} \left(\frac{\tau}{\theta} \right)^{0.921}$
I	2θ	$2.5\theta \left(\frac{\tau + 0.2\theta}{\tau + 0.6\theta} \right)$	$1.139\theta \left(\frac{\tau}{\theta} \right)^{0.251}$
D	0.5θ	$0.37\theta \left(\frac{\tau}{\tau + 0.2\theta} \right)$	$0.428\theta \left(\frac{\tau}{\theta} \right)^{-0.137}$

4. Analisa Performa sistem Control

Analisa dari sistem pengendalian digunakan untuk menghasilkan nilai respon yang telah didapatkan. Hasil yang didapatkan dari analisa ini berupa data kualitatif. Respon dinamik akan memiliki karakteristik yang berbeda-beda dengan bergantung pada jenis *plant* yang dikendalikan. Sehingga respon dinamik dari setiap variabel tergantung pada nilai *input* pada variabel yang digunakan. Di bawah ini merupakan jenis grafik analisa respon dinamik.





Analisa performansi karakteristik respon (Wade, 2009)

Berdasarkan gambar diatas untuk mengetahui nilai performansi dari nilai sistem maka diperlukan untuk mendefinisikan nilai IAE (*Integral Absolute Error*), ISE (*Integral Square Error*), ITAE (*Integral Time Absolute Error*), *maximum overshoot*, *rise time*, dan *settling time* (Bolton, 2021).

a. IAE (*Integral Absolute Error*)

IAE merupakan perhitungan dari adanya nilai error dengan cara menjumlahkan pada setiap nilai *error* yang terjadi. Berikut merupakan rumus untuk menghitung nilai IAE.

$$IAE = \int_0^{\infty} |e(t)| dt \quad (1)$$

b. ISE (*Integral Square Error*)

ISE mengintegrasikan kuadrat error dari waktu ke waktu. *Error* yang kecil saja akan menghasilkan ISE yang besar. Sistem kontrol yang ditentukan untuk meminimalkan ISE akan cenderung menghilangkan kesalahan besar dengan cepat, tetapi akan mentolerir kesalahan kecil yang terjadi dalam jangka waktu yang lama. Seringkali ini mengarah pada respons yang cepat, tetapi dengan osilasi yang cukup besar dan rendah.

$$ISE = \int_0^{\infty} \{e(t)\}^2 dt \quad (2)$$





c. *Maximum overshoot*

Maximum overshoot (M_p) adalah nilai puncak kurva respon diukur dari satuan.

Apabila nilai akhir keadaan tunak tanggapannya jauh dari satu, maka satuan yang digunakan adalah persentase (%).

d. *Rise Time*

Rise time (t_r) adalah waktu yang diperlukan oleh respon untuk naik dari 10% menjadi 90%, 5% menjadi 95% atau 0% menjadi 100% dari nilai akhir yang digunakan.

e. *Settling Time*

Settling Time (t_s) adalah waktu yang diperlukan respon untuk masuk daerah kriteria *error* 2% atau 5% dari nilai akhir (Ogata, 2010) (Bolton, 2021).

C. METODOLOGI PRAKTIKUM

1. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam praktikum ini adalah sebagai berikut:

- Heat Exchanger tipe Shell&tube Lab Instrumentasi, control, dan optimisasi
- Real time Controller NI Compact Fieldpoint
- Data Acquisition
- Laptop/PC

2. Langkah Percobaan

Adapun langkah percobaan dalam praktikum ini adalah sebagai berikut:

- Lakukan uji open loop dengan cara mengkondisikan controller dalam kondisi manual.
- Kondisikan laju aliran air dingin masuk ke shell dengan laju 3 L/min
- Pastikan heater sudah menyala dan mencapai temperatur 65 Celcius
- Nyalakan pompa air panas
- Buka valve tube dengan cara mengubah sinyal arus pada 8% sehingga terdapat aliran air panas dalam tube sebesar 3 L/min
- Tambah bukaan valve tube dengan cara memberikan tambahan sinyal menjadi 13.8 % sehingga terdapat aliran air panas dalam tube berubah menjadi 5 L/min.
- Amati respon temperatur dari aliran output shell, yaitu air dingin yang telah dipanaskan
- lakukan uji open loop 2 kali





- i. Amati hasil uji open loop
- j. dapatkan karakteristik masing-masing respon dalam hal Gain proses (K), time constant (t), dead time (t_d).
- k. Hitung parameter tuning K_c , T_i , T_d dengan menggunakan metode ZN dan IAE (Tabel 2).
- l. Masukkan parameter tuning pada controller PID
- m. Amati perbedaan performa control pada kedua metode tuning ini.

D. TUGAS PENDAHULUAN

1. Jelaskan apa itu tuning controller PID ?
2. Bagaimana prinsip kerja sensor RTD, turbine flow meter dan thermocouple ?
3. Jelaskan metode tuning PID selain metode ZN dan IAE, setiap praktikan memilih satu metode tuning yang berbeda.

E. TUGAS KHUSUS

Berikut merupakan tugas khusus dari praktikum ini :

1. Cari sistem Pengendalian feedback (bisa dari buku atau jurnal paper) kemudian simulasikan menggunakan simulink
2. Gunakan metode tuning yang sudah dipilih pada tugas pendahuluan.
3. Bandingkan dengan hasil tuning ZN dan IAE.

F. REFERENSI

Bolton, W. (2021). *Instrumentation and Control Systems Third Edition*. Cambridge: Newnes.

Ogata, K. (2010). *Modern Control Engineering Fifth Edition*. New Jersey: Prentice Hall.

Wade, H. L. (2004). *Basic and advanced regulatory control : System design and application*. United States of America: ISA.

