

# KONTROL PID UNTUK PROSES INDUSTRI

(Iwan Setiawan)

(ISBN : 9792741003, Penerbit Elex Media Komputindo, 2008)

## Deskripsi Buku:

Tak dapat dipungkiri, sampai saat ini kontrol PID (Proporsional Integral Derivative) merupakan satu-satunya strategi yang paling banyak diadopsi pada pengontrolan variabel proses di industri. Berdasarkan survey, dijumpai kenyataan bahwa 97% industri yang bergerak dalam bidang proses (seperti industri kimia, pulp, makanan, minyak dan gas) menggunakan PID sebagai komponen utama dalam pengontrolannya (sumber: Honeywell, 2000).

Kepopuleran PID sebagai komponen kontrol proses dilatarbelakangi terutama oleh kesederhanaan struktur, serta kemudahan dalam melakukan tuning parameter kontrolnya. Pada tingkat pengoperasian, seorang operator tidak dituntut untuk menguasai pengetahuan matematika yang relative rumit, melainkan hanya dibutuhkan pengalaman lapangan saja.

Selain sederhana, kepopuleran PID disebabkan juga oleh alasan histories. Dalam hal ini, PID telah diterapkan di industri secara luas jauh sebelum era digital berkembang, yaitu dimulai sekitar tahun 1930-an, dimana saat itu strategi kontrol PID diimplementasikan dengan menggunakan rangkaian elektronika analog, bahkan banyak diantaranya direalisasikan dengan menggunakan komponen mekanis dan pneumatis murni.

Seiring dengan perkembangan teknologi digital dan *solid state*, dewasa ini produk PID komersil muncul di pasaran dalam beragam model dan bentuk, yaitu dari sekedar modul jenis *special purpose process controller* (seperti *Temperature Controller*, *Pressure Controller*, dan sebagainya) sampai modul kontrol jenis *general purpose process controller* atau yang lebih dikenal dengan nama DCS (*Distributed Control System*). Bahkan perkembangan terakhir, modul PID ini juga umum dijumpai dalam bentuk modul independen pada sistem PLC (*Programmable Logic Controller*)

Disamping memiliki berbagai kemampuan standar, Produk PID komersil tersebut biasanya telah dilengkapi dengan berbagai fitur pendukung operasi kontrol lainnya seperti kemampuan untuk melakukan operasi adaptasi, tuning secara otomatis (*Autotuning*), dan penjadwalan penguat (*gain scheduling*).

Walaupun peranannya begitu besar dalam menentukan keberhasilan operasi pada proses industri, tetapi sangat disayangkan sampai saat ini masih jarang buku berbahasa Indonesia yang secara khusus membahas kontrol PID dan implementasinya pada kontrol proses industri.

Terkait dengan hal diatas, maka penulis memberanikan diri untuk mengisi kekosongan jenis buku tersebut. Sasaran pembaca yang ingin dituju adalah mahasiswa Teknik, terutama mahasiswa Teknik Kimia, Fisika dan Elektro serta para praktisi dan personel lapangan yang bekerja dalam bidang industri proses.

Sebagai sebuah buku teks kontrol, Materi pada buku ini dirancang se-sistematis mungkin sedemikian sehingga pembaca dapat mempelajarinya secara mandiri tanpa perlu bimbingan dari dosen atau instruktur.

Tanpa mengabaikan aspek teori yang dirasa penting dan relevan dengan materi utama yang dibahas, buku ini lebih menitikberatkan segi praktis di lapangan. Bagi pembaca (terutama mahasiswa) yang tidak dapat mengakses pengontrolan sebuah proses nyata secara langsung, maka pembaca disarankan untuk menggunakan perangkat simulasi komputer untuk mempraktekan beberapa materi yang disajikan dalam buku ini.

Buku ini terdiri dari lima bab dan dua buah lampiran penting yang disusun secara sistematis:

Pada **Bab 1**, akan dibahas dua jenis model proses yang umum dijumpai di industri : model *Self Regulating Process* dan *Non Self Regulating Process*. Pembahasan kedua jenis proses tersebut diberikan dalam bentuk kasus-kasus nyata yang dapat ditemukan di lapangan serta hasil-hasil simulasi model matematisnya dengan Simulink. Materi ini terlebih dulu disajikan mengingat, pengetahuan model proses merupakan salah satu kunci keberhasilan dalam melakukan tuning parameter PID yang tepat untuk proses yang akan atau sedang dikontrol.

Berbekal pengetahuan model proses, dalam **Bab 2** akan dibahas berbagai struktur atau algoritma PID untuk proses industri. Agar pembaca mendapat gambaran yang luas tentang berbagai jenis dan tipe PID yang beredar di lapangan, maka struktur PID yang dibahas secara umum mengacu pada struktur PID yang dapat dijumpai dalam modul-modul PID komersil.

Selain membahas struktur kontrol PID, pada Bab 2 disajikan pula berbagai metode tuning empiris berdasarkan percobaan sederhana yang dikenal dengan nama *Bump Test Experiment*.

Selain kemampuan-kemampuan standar, modul PID komersil dewasa ini umumnya telah dilengkapi juga dengan berbagai fitur pendukung seperti fasilitas Autotuning dan Gain Scheduling. Untuk kedua kemampuan tersebut, prinsip kerjanya akan dibahas secara detail pada **Bab 3**.

Materi lanjutan dari kontrol proses seperti skema *Cascade Control*, *feedforward-feedback control*, dan *Ratio control* akan disajikan pada **Bab 4**. Skema-skema kontrol yang sifatnya *multiloop* tersebut digunakan terutama untuk pengontrolan proses yang memiliki parameter dinamis yang sangat dominan.

Karena modul PID komersil yang beredar sekarang ini didominasi oleh modul digital, maka penting bagi pembaca untuk mengetahui struktur PID dalam bentuk digital-nya. Materi tentang PID digital tersebut dapat dijumpai pada **Bab 5** yang juga merupakan bab terakhir dari buku ini.

Bagi pembaca yang berniat merealisasikan skema kontrol PID yang nantinya akan diimplementasikan secara *real time* dalam sistem komputer atau sistem microcontroller, bab 5 dapat dijadikan rujukan karena dalam bab ini dibahas pula realisasi PID digital dalam bentuk algoritma komputer dengan menggunakan bahasa C sebagai bahasa pemrogramannya. Bahasa C dipilih mengingat dewasa ini banyak microcontroller telah mendukung penggunaan bahasa tersebut.

Agar mendapatkan hasil yang optimal dari buku ini, maka pembaca diharapkan memiliki dasar pengetahuan tentang teori kalkulus dan konsep fungsi alih (khusus yang belum

pernah mendapatkan materi fungsi alih, pembaca secara cepat dapat merujuk pada lampiran 1).

Selain itu, karena proses industri serta kontrol PID itu sendiri memiliki model matematis dinamis yang secara intuitive perilakunya relative sukar dipahami. Maka pembaca disarankan menggunakan perangkat lunak komputer untuk mensimulasikan skema-skema kontrol yang dibahas dalam keseluruhan buku ini. Salah satu perangkat lunak yang mudah serta telah luas penggunaannya adalah Matlab Simulink (Pengenalan Matlab Simulink dapat ditemukan pada lampiran 2)

## **Daftar Isi**

### **Kata Pengantar**

### **Daftar Isi**

#### **1. Dinamika Dan Model Kontrol Proses Industri**

- 1.1. Pendahuluan
- 1.2. Sekilas tentang Model Proses dan Pengontrolan
- 1.3. Sekilas tentang Diagram Instrumentasi Proses (P&ID)
- 1.4. Model Self Regulating Process
  - 1.4.1. Representasi Matematis Model Proses FOPDT dengan Fungsi Alih
  - 1.4.2. Akomodasi Model Gangguan pada Proses FOPDT
- 1.5. Model Non Self Regulating Process
- 1.6. Contoh Soal dan Penyelesaian
- 1.7. Ringkasan
- 1.8. Soal Latihan

#### **2. Kontrol PID untuk Proses Industri: Berbagai Struktur dan Metode Tuning Praktis**

- 2.1. Pendahuluan
- 2.2. Sekilas Tentang Sistem Kontrol pada Modul PID komersil
- 2.3. Berbagai Struktur Kontrol PID dan Metode Tuningnya
  - 2.3.1. Struktur PID Ideal
  - 2.3.2. Struktur PID Tipe B
  - 2.3.3. Struktur PID Tipe C
  - 2.3.4. Struktur PID dengan Filter (PIDF)
  - 2.3.5. Struktur PID Standar ISA dan PID bentuk umum
  - 2.3.6. Struktur PID Serial
- 2.4. Phenomena WindUp pada Kontrol PID dan Antisipasinya
- 2.5. Smith Predictor

2.6. Predictive Proporsional Integral (pPI)

2.7. Contoh Soal dan Penyelesaian

2.8. Ringkasan

2.9. Soal Latihan

### **3. Autotuning dan Gain Scheduling**

3.1. Pendahuluan

3.2. Autotuning Metode Respon Transien

3.3. Autotuning Metode Umpan Balik Relay

3.3.1. Konsep Dasar Kontrol umpan balik Relay

3.3.2. Perhitungan parameter kontrol PID berdasarkan informasi magnitude dan perioda osilasi output proses

3.3.3. Mekanisme Autotuning Metode umpan balik relay

3.4. Gain Scheduling

3.4.1. Studi Kasus Gain Scheduling pada Sistem Heat Exchanger

3.4.2. Studi Kasus Gain Scheduling pada Kontrol Level dengan Penampang Tanki Non Linear

3.5. Contoh Soal dan Penyelesaian

3.6. Ringkasan

3.7. Soal Latihan

### **4. Skema Kontrol PID Lanjut: Cascade, Feedforward- Feedback Dan Ratio Control**

4.1. Pendahuluan

4.2. Skema Cascade Control

4.3. Skema Feedforward-feedback control

4.4. Skema Ratio Control

4.5. Contoh Soal dan Penyelesaian

4.6. Ringkasan

4.7. Soal latihan

### **5. Kontrol PID Digital**

5.1. Pendahuluan

5.2. Model matematis PID Digital

5.3. Bumpless Transfer

5.4. Anti WindUp

5.5. Contoh Soal dan Penyelesaian

5.6. Ringkasan

5.7. Soal Latihan

**Lampiran 1: Pengantar Transformasi Laplace**

**Lampiran 2. Pengantar Matlab dan Simulink**

## **Deskripsi materi tiap-tiap bab:**

# **Bab 1 DINAMIKA DAN MODEL KONTROL PROSES INDUSTRI**

### **Tujuan Bab**

Dalam bab ini terlebih dulu akan ditinjau dinamika dan model kontrol proses yang umum dijumpai di Industri. Setelah menyelesaikan bab ini, anda diharapkan dapat:

- Menjelaskan pengertian praktis model proses serta kaitannya dengan masalah pengontrolan
- Menggambarkan kontrol proses industri dalam bentuk diagram blok maupun diagram instrumentasi proses
- Menjelaskan pengertian proses *Self Regulating* dan proses *Non Self Regulating* yang umum dijumpai di industri
- Melakukan identifikasi parameter model proses *Self regulating* dan *non Self regulating*
- Merepresentasikan model proses secara matematis dalam bentuk fungsi alih
- Menurunkan model matematis proses berdasarkan Persamaan Fisika
- Melakukan simulasi dinamika proses dengan menggunakan Simulink

### **Bacaan Prasyarat**

- Lampiran A. Pengantar Transformasi Laplace
- Lampiran B. Pengantar Matlab dan Simulink

### **1.1 Pendahuluan**

Pada level terendah, salah satu permasalahan yang dihadapi industri yang bergerak dalam bidang proses (seperti industri kimia, makanan, pulp, pupuk, minyak dan gas) adalah regulasi atau pengontrolan berbagai variabel proses pada titik-titik kerja yang diharapkan. Beberapa variabel proses yang umum dilakukan tindakan pengontrolan tersebut diantaranya adalah temperature fluida (atau gas) pada sistem *heat exchanger*, tekanan pada reaktor, laju fluida pada pipa, level pada tanki penampung, konsentrasi bahan kimia dan sebagainya.

Terkait dengan masalah pengontrolan variabel-variabel proses diatas, salah satu kunci utama keberhasilannya adalah pengetahuan mengenai karakteristik dinamik atau model prosesnya itu sendiri. Pengetahuan model sangat penting mengingat secara teknis terdapat hubungan antara proses yang akan dikontrol dengan parameter kontroler (PID) yang harus di-*tuning*. Dalam hal ini, parameter PID yang optimal pada dasarnya dapat dicari secara lebih pasti tanpa coba-coba berdasarkan model dan nilai parameter proses yang diketahui.

Tidak tergantung dari variabel proses yang dikontrol (apakah temperature, tekanan, level, aliran, konsentrasi dan sebagainya), kontrol proses industri dalam banyak kasus umumnya akan menunjukkan salah satu karakteristik dari dua model matematis berikut:

- **Model proses self regulating:** Model proses yang bersifat stabil. Untuk kepentingan perancangan dan tuning parameter kontrol PID-nya, model proses ini dapat didekati oleh sebuah model matematis yang dikenal dengan nama model **FOPDT (First Order Plus Dead Time)** yang hanya dicirikan oleh tiga buah parameter: Keterlambatan transportasi ( $L$ ), Konstanta waktu proses ( $T$ ) dan Gain statis proses ( $K$ ).
- **Model proses non self regulating:** Model proses yang tidak stabil. Salah satu yang sering dijumpai di industri adalah model **IPDT (Integrating Plus Dead Time)** yang hanya dicirikan oleh dua buah parameter saja: Keterlambatan transportasi ( $L$ ) dan Gain integratif proses ( $K^*$ ).

Untuk kedua model proses tersebut, parameter kontrol PID yang optimal dapat dicari berdasarkan nilai parameter-parameter proses asosiasinya.

Dalam banyak kasus pengontrolan, pengetahuan parameter proses itu sendiri secara praktis umumnya dicari lewat eksperimen. Jika dilaksanakan secara benar, eksperimen ini dapat dilangsungkan bahkan pada kontrol proses yang sedang berjalan tanpa menyebabkan operasi pengontrolan mengalami *upset* terlalu parah dari kondisi normalnya.

## Bab 2

# KONTROL PID UNTUK PROSES INDUSTRI : BERBAGAI STRUKTUR DAN METODA TUNING PRAKTIS

### Tujuan Bab

Khusus dalam bab ini akan dibahas berbagai hal penting yang terkait dengan PID untuk aplikasi kontrol proses industri. Setelah menyelesaikan bab ini, anda diharapkan dapat:

- Menyebutkan berbagai struktur/algorithm kontrol PID yang umum dijumpai pada modul kontrol komersil beserta metode-metode tuningnya
- Menjelaskan kelebihan dan kelemahan masing-masing struktur kontrol PID tersebut

- Menjelaskan satuan parameter kontrol PID
- Menjelaskan pengaruh besaran parameter kontrol PID terhadap dinamika proses yang dikontrol
- Memilih struktur dan metode tuning PID yang tepat untuk sebuah proses yang dihadapi
- Menentukan besaran parameter kontrol PID yang optimal untuk sebuah proses yang dikontrol
- Menjelaskan pengertian integrator WindUp dan cara antisipasinya
- Menjelaskan struktur Kontrol Smith Predictor
- Melakukan simulasi kontrol PID dengan menggunakan simulink

### **Bacaan Prasyarat**

- Bab 1. Dinamika dan Model Kontrol Proses Industri

### **2.1 Pendahuluan**

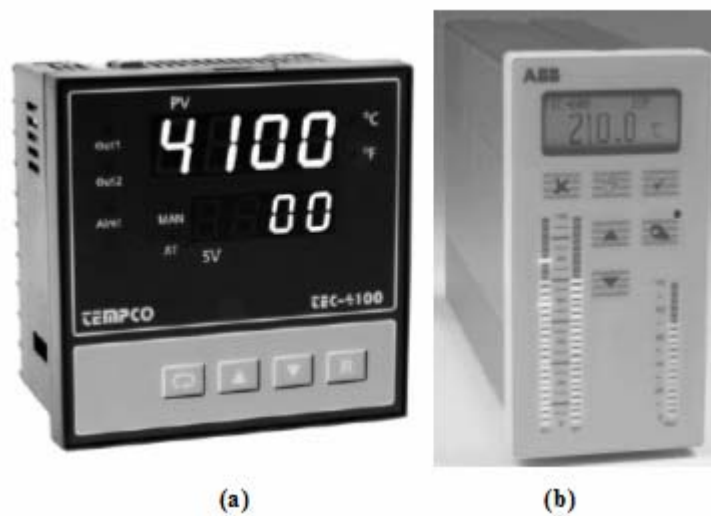
Lebih dari setengah abad, PID telah menjadi tulang punggung keberhasilan pengendalian beragam variabel proses industri. Kontrol PID dapat dijumpai hampir pada setiap industri yang bergerak dalam bidang proses. Menurut sebuah survey dinyatakan bahwa 97 % industri yang bergerak dalam bidang tersebut menggunakan PID dalam pengendaliannya.

Luasnya penggunaan kontrol PID pada dasarnya dilatarbelakangi beberapa hal, diantaranya:

- Kesederhanaan struktur kontrol: Selain hanya ada tiga parameter utama yang perlu diatur atau dilakukan usaha penalaan (*tuning*), pengaruh perubahan setiap parameter PID terhadap dinamika pengendalian secara intuitif mudah dipahami oleh operator.
- Kontrol PID memiliki sejarah yang panjang. Dalam hal ini PID telah digunakan jauh sebelum era digital berkembang (yaitu sekitar tahun 1930-an).
- Kontrol PID dalam banyak kasus telah terbukti menghasilkan unjukkerja relative memuaskan, baik digunakan sebagai sistem Regulator (sistem kontrol dengan Setpoint konstan dan beban cenderung berubah-ubah) maupun sebagai sistem Servo (sistem kontrol dengan Setpoint yang berubah dan beban cenderung konstan)

Pada awal penggunaannya, strategi kontrol PID untuk tujuan kontrol proses industri umumnya diimplementasikan dengan menggunakan rangkaian elektronika analog, bahkan banyak diantaranya direalisasikan dengan menggunakan komponen mekanis dan pneumatis murni.

Seiring dengan perkembangan dunia digital (terutama microprocessor), dewasa ini PID dapat dijumpai dalam berbagai bentuk modul komersil, yaitu mulai dari sekedar modul PID untuk pengendalian satu jenis variabel proses tertentu saja (*special purpose process controller*), sampai modul PID untuk tujuan pengendalian beragam variabel proses (*general purpose process controller*) atau lebih dikenal dengan nama populer DCS-*Distributed Control System* (lihat gambar 2.1). Bahkan perkembangan terakhir, kontrol PID juga telah banyak ditanamkan pada sistem PLC - *Programmable Logic Controller*.



**Gambar 2.1.** (a) Modul Temperature Controller (*Special Purpose Process Controller*)-Produk Tempco Electric Corporation (b) General Purpose process Controller- Produk ABB

Selain diimplementasikan pada modul-modul kontroler seperti tersebut diatas, algoritma PID juga dapat dijumpai dalam berbagai peralatan yang memerlukan pengontrolan umpan balik kontinu lainnya (misal peralatan autofokus kamera, servo antena, pengatur kecepatan otomatis kendaraan, penjejak matahari dan sebagainya).

## Bab 3

# AUTOTUNING DAN GAIN SCHEDULING

### Tujuan Bab

Ada dua materi penting yang akan dibahas secara mendalam dalam bab ini: (1) Autotuning dan (2) Gain Scheduling. Kedua kemampuan tersebut umum dijumpai pada modul kontrol PID komersil. Setelah menyelesaikan bab ini, anda diharapkan dapat:

- Menjelaskan prinsip kerja Autotuning
- Menjelaskan Metode Autotuning Respon Transien
- Menjelaskan prinsip kerja sistem kontrol umpan balik relay
- Menjelaskan Metode Autotuning Umpan Balik relay (*relay Feedback*)
- Menyebutkan kelebihan dan kelemahan masing-masing metode Autotuning
- Menjelaskan prinsip kerja Gain Scheduling
- Menyebutkan variabel-variabel penjadwal (*scheduling*) yang umum digunakan pada metode Gain Scheduling



### Bacaan Prasyarat

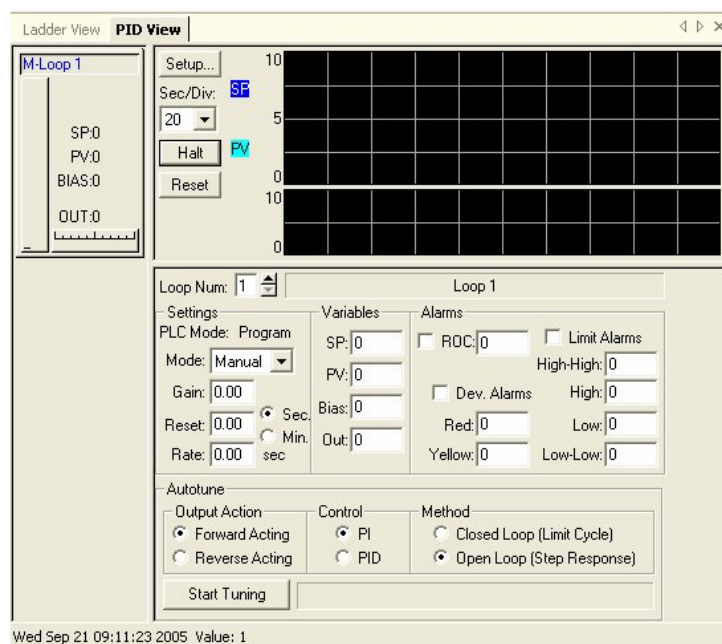
- Bab 1. Dinamika dan Model Kontrol Proses Industri
- Bab 2. Kontrol PID Untuk Proses Industri : Berbagai Struktur dan Metoda Tuning Praktis

### 3.1 Pendahuluan

Sejalan dengan perkembangan teknologi perangkat keras dan perangkat lunak yang begitu luar biasa, dewasa ini sejumlah besar modul PID yang beredar di pasaran umumnya telah dilengkapi dengan beberapa kemampuan pendukung tambahan diluar fungsi dasar yang telah menjadi standar sebuah kontrol PID komersil. Salah satu diantara kemampuan penting yang dapat dijumpai adalah Autotuning. Dalam beberapa buku manual, Autotuning ini dikenal juga dengan nama *Self-Tuning* atau *Pre-Tuning*, yaitu kemampuan modul untuk menseting parameter PID secara otomatis.

Untuk modul PID ukuran kecil atau modul PID jenis *special process controller*, fasilitas autotuning diaktifkan umumnya lewat penekanan salah satu tombol yang memang disediakan pada modul, sedangkan untuk modul PID ukuran besar atau modul PID pada sistem PLC, fasilitas autotuning tersebut diaktifkan lewat perangkat lunak yang berjalan di komputer. Gambar 3.1 memperlihatkan GUI (*Grafical User Interface*) pada perangkat lunak DirectSoft yang menyediakan fasilitas pengaktifan autotuning untuk PLC merk DirectLogic.

Terkait dengan Autotuning, saat ini banyak dijumpai juga perangkat lunak komputer independen yang dikhususkan untuk men-tuning parameter kontroler untuk beragam modul PID dari vendor yang berbeda. Salah satu kelebihan yang ditawarkan oleh perangkat lunak tersebut adalah penggunaan berbagai metode tuning optimal yang disesuaikan dengan karakteristik proses yang teridentifikasi.



**Gambar 3.1.** Fasilitas GUI untuk mengaktifkan fasilitas Autotuning pada perangkat lunak DirectSoft.

Dari sekian banyak metode Autotuning, ada dua buah metode yang umum dijumpai pada modul kontrol PID: (1) Metode respon transien, dan (2) Metode umpan balik relay. Apapun metodenya, proses autotuning pada dasarnya harus dilakukan saat output proses (*PV*) telah mengalami keadaan *steady* disekitar nilai terharapnya (yaitu di daerah titik kerja proses).

Selain kemampuan Autotuning, beberapa modul PID komersil juga telah dilengkapi fitur Gain Scheduling. Sesuai dengan namanya, metode Gain Scheduling ini memberikan kemampuan pada modul untuk menjadwalkan besaran parameter kontrolnya. Kemampuan tersebut sangat bermanfaat terutama jika proses yang dikontrol memiliki beberapa titik kerja atau kondisi operasi yang berbeda (misal pada proses non linear dan/atau proses yang sering mengalami perubahan beban yang relative ekstrim).

## Bab 4

# SKEMA KONTROL PID LANJUT: CASCADE, FEEDFORWARD- FEEDBACK DAN RATIO CONTROL

### Tujuan Bab

Dalam bab ini akan dibahas tiga skema kontrol PID lanjut yang dapat dijumpai di Industri Proses, masing-masing : skema *cascade control*, *Feedforward-feedback control* dan kontrol *Ratio control*. Setelah menyelesaikan bab ini, anda diharapkan dapat

- Menjelaskan beberapa keterbatasan sistem kontrol loop PID tunggal pada pengontrolan proses industri
- Menjelaskan prinsip kerja *Cascade control*
- Memahami prosedur tuning yang harus dilakukan pada sistem *Cascade control*
- Menjelaskan prinsip kerja Sistem *Feedforward- Feedback Control*
- Menjelaskan prinsip kerja *Ratio control*
- Melakukan simulasi untuk masing-masing skema kontrol lanjutan diatas

### Bacaan Prasyarat

- Bab 1. Dinamika dan Model Kontrol Proses Industri
- Bab 2. Kontrol PID Untuk Proses Industri : Berbagai Struktur dan Metoda Tuning Praktis

### 4.1 Pendahuluan

Walaupun hampir semua kebutuhan kontrol proses dapat diselesaikan hanya dengan menggunakan loop PID tunggal, tetapi dalam beberapa kasus tertentu, terutama pengontrolan proses yang memiliki parameter dinamis (delay transportasi dan konstanta waktu proses) yang sangat dominan serta proses-proses yang sering mengalami gangguan selama operasinya, pengontrolan dengan loop PID tunggal tersebut secara praktis umumnya akan menghasilkan unjukkerja yang kurang bahkan tidak memuaskan.

Tergantung problem yang dihadapi, berikut ini dua topologi kontrol *multiloop* berbasis algoritma PID yang dapat dijumpai pada pengontrolan proses industri

- Kontrol Bertingkat (*Cascade Control*).
- Kontrol Umpan Maju-Umpan Balik (*Feedforward-feedback Control*)

Berdasarkan survey dari *Control Engineering* pada tahun 1998, penggunaan kedua skema kontrol tersebut cukup dominan di industri yang bergerak dalam bidang proses (hampir 9% industri proses menggunakan skema *cascade* dalam proses pengontrolannya, sedangkan untuk skema kontrol *feedforward-feedback* diimplementasikan di sekitar 6% industri yang di survey).

Selain dua skema kontrol diatas, dalam bab ini akan dibahas juga prinsip kerja salah satu jenis sistem kontrol *feedforward* yang dikenal dengan nama sistem kontrol *ratio* (kontrol perbandingan). Khusus Skema kontrol ini, implementasi praktisnya dapat dijumpai terutama pada proses - proses pencampuran (*mixing*).

## **BAB 5**

### **KONTROL PID DIGITAL**

#### **Tujuan Bab**

Khusus dalam bab ini akan dibahas PID bentuk diskret yang realisasi praktisnya dapat dijumpai pada modul PID digital . Setelah menyelesaikan bab ini, anda diharapkan dapat:

- Menjelaskan perbedaan kontrol PID analog dan kontrol PID digital
- Menjelaskan prinsip kerja sistem kontrol PID digital
- Mengimplementasikan kontrol PID digital kedalam bentuk algoritma komputer
- Menjelaskan perbedaan algoritma *position* dan *velocity*
- Merealiasikan *bumpless transfer* dan *integrator windup* dalam bentuk program

#### **Bacaan Prasyarat**

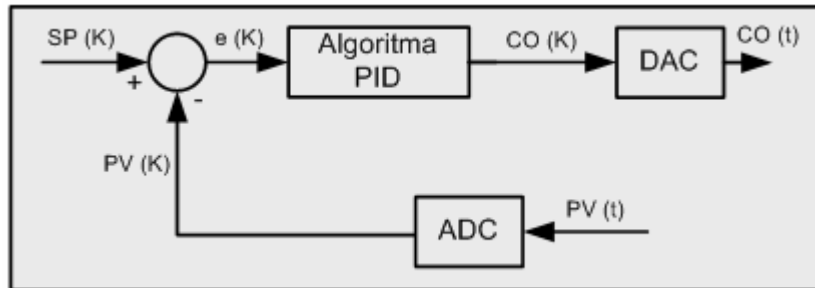
- Bab 2. Kontrol PID Untuk Proses Industri : Berbagai Struktur dan Metoda Tuning Praktis

#### **5.1 Pendahuluan**

Dewasa ini hampir dapat dipastikan modul kontrol PID yang terinstal di industri atau modul komersil yang beredar di pasaran telah didominasi oleh modul digital dengan basis sistem *microprocessor*. Relative dibandingkan modul analog, modul PID digital ini memiliki beberapa kelebihan, diantaranya yaitu:

- Dapat diintegrasikan secara mudah dengan sistem lain membentuk sebuah jaringan kontrol
- Banyak fungsi dan fitur tambahan yang tidak dapat ditemukan dalam modul PID analog

- Kepresisian sinyal kontrol PID digital tidak tergantung komponen yang digunakan



**Gambar 5.1.** Diagram blok Modul PID digital

Dalam bentuk diagram blok, kontrol PID dalam modul digital ini dapat diilustrasikan seperti nampak pada gambar 5.1. Karena proses yang dikontrolnya itu sendiri bersifat kontinu atau analog, maka di dalam modul diperlukan perangkat keras tambahan berupa ADC (*Analog to Digital Converter*) dan DAC (*Digital to Analog Converter*) yang digunakan sebagai antara muka kontroler digital dengan proses.

Berbeda dengan kontrol PID analog yang pengolahannya bersifat kontinu, Di dalam sistem *microprocessor*, pengolahan sinyal kontrol oleh PID digital pada dasarnya dilakukan pada waktu-waktu diskret. Dalam hal ini konversi sinyal dari analog ke digital, pengolahan sinyal error, sampai konversi balik digital ke analog dilakukan pada interval atau waktu cuplik (*sampling*) –  $T_c$  tertentu.

Lebar waktu cuplik yang dipilih/digunakan pada kontrol digital harus jauh lebih kecil dari konstanta waktu proses yang dikontrol, hal ini dimaksudkan untuk meminimalkan hilangnya sebagian informasi yang dikandung oleh sinyal aslinya (sinyal analog). Tabel 5.1 berikut memperlihatkan waktu cuplik yang umum digunakan untuk pengontrolan beberapa jenis variabel proses

**Tabel 5.1.** Lebar waktu cuplik yang umum digunakan untuk beberapa jenis variabel proses

No	Jenis Variabel	Waktu Cuplik - $T_c$ (detik)
1	Aliran (flow)	1-3
2	Level	5-10
3	Tekanan	1-5
4	Temperature	10-20