



PERTEMUAN KE 11

SISTEM KENDALI/KONTROL

Fogot Endro Wibowo, ST.MT.

PID
(Proportional-Integral-Derivative)
Controller

Instrumentasi dan control industri tentu tidak lepas dari sistem instrumentasi sebagai pengontrol yang digunakan dalam keperluan pabrik.

Sistem kontrol pada pabrik tidak lagi manual seperti dahulu, tetapi saat sekarang ini telah dibantu dengan perangkat kontroler sehingga dalam proses produksinya suatu pabrik bisa lebih efisien dan efektif.

Kontroler juga berfungsi untuk memastikan bahwa setiap proses produksi terjadi dengan baik.



PID (Proportional–Integral–Derivative controller) merupakan kontroler untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tersebut.

Pengontrol PID adalah pengontrol konvensional yang banyak dipakai dalam dunia industri.



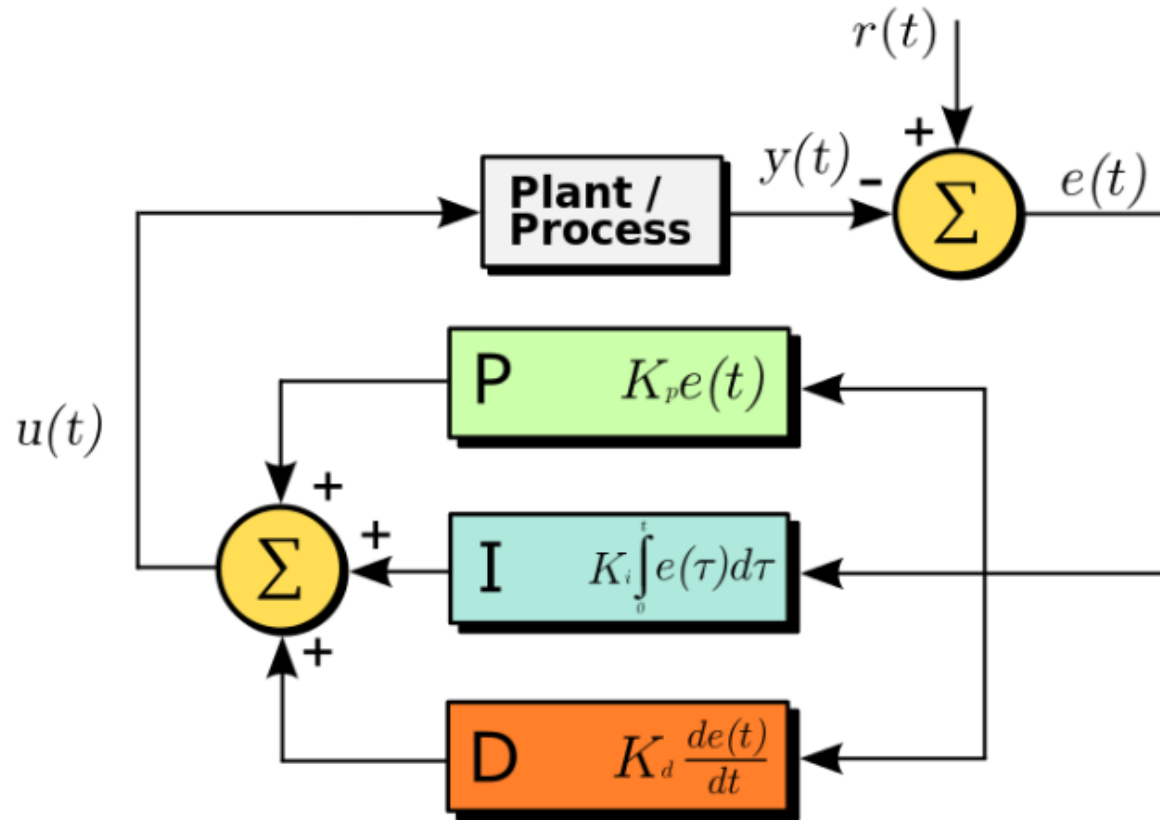
Pengontrol PID akan memberikan aksi kepada Control Valve berdasarkan besar error yang diperoleh.

Control valve akan menjadi aktuator yang mengatur aliran fluida dalam proses industri yang terjadi Level air yang diinginkan disebut dengan Set Point.

Error adalah perbedaan dari Set Point dengan level air aktual.



PID Blok Diagram dapat dilihat pada gambar dibawah :



Adapun persamaan Pengontrol PID adalah :

$$mv(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right)$$



Keterangan :

$mv(t)$ = output dari pengontrol PID

atau *Manipulated Variable*

K_p = konstanta Proporsional

T_i = konstanta Integral

T_d = konstanta Derivatif

$e(t)$ = error (selisih antara set point dengan level aktual)



Persamaan Pengontrol PID diatas dapat juga dituliskan sebagai berikut :

$$mv(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

dengan :

$$K_i = K_p \times \frac{1}{T_i} \text{ dan } K_d = K_p \times T_d$$

Untuk lebih memaksimalkan kerja pengontrol diperlukan nilai batas minimum dan maksimum yang akan membatasi nilai *Manipulated Variable* yang dihasilkan.

Komponen kontrol PID ini terdiri dari tiga jenis yaitu Proportional, Integratif dan Derivatif. Ketiganya dapat dipakai bersamaan maupun sendiri-sendiri tergantung dari respon yang kita inginkan terhadap suatu plant.



1. Kontrol Proporsional

Kontrol P jika $G(s) = k_p$, dengan k adalah konstanta. Jika $u = G(s) \cdot e$ maka $u = K_p \cdot e$ dengan K_p adalah Konstanta Proporsional.

K_p berlaku sebagai Gain (penguat) saja tanpa memberikan efek dinamik kepada kinerja kontroler.



Penggunaan kontrol P memiliki berbagai keterbatasan karena sifat kontrol yang tidak dinamik ini.

Walaupun demikian dalam aplikasi-aplikasi dasar yang sederhana kontrol P ini cukup mampu untuk memperbaiki respon transien khususnya rise time dan settling time.

Pengontrol proporsional memiliki keluaran yang sebanding/proporsional dengan besarnya sinyal kesalahan (selisih antara besaran yang diinginkan dengan harga aktualnya).



Ciri-ciri pengontrol proporsional :

1. Jika nilai K_p kecil, pengontrol proporsional hanya mampu melakukan koreksi kesalahan yang kecil, sehingga akan menghasilkan respon sistem yang lambat (menambah rise time).
2. Jika nilai K_p dinaikkan, respon/tanggapan sistem akan semakin cepat mencapai keadaan mantapnya (mengurangi rise time).
3. Namun jika nilai K_p diperbesar sehingga mencapai harga yang berlebihan, akan mengakibatkan sistem bekerja tidak stabil atau respon sistem akan berosilasi.
4. Nilai K_p dapat diset sedemikian sehingga mengurangi steady state error, tetapi tidak menghilangkannya.



2.Kontrol Integratif

Pengontrol Integral berfungsi menghasilkan respon sistem yang memiliki kesalahan keadaan mantap nol ($\text{Error Steady State} = 0$).

Jika sebuah pengontrol tidak memiliki unsur integrator, pengontrol proporsional tidak mampu menjamin keluaran sistem dengan kesalahan keadaan mantapnya nol.



Jika $G(s)$ adalah kontrol I maka u dapat dinyatakan sebagai $u(t) = [\int e(t) dT] K_i$ dengan K_i adalah konstanta Integral, dan dari persamaan di atas, $G(s)$ dapat dinyatakan sebagai $u = K_d \cdot [\Delta e / \Delta t]$



Jika $e(T)$ mendekati konstan (bukan nol) maka $u(t)$ akan menjadi sangat besar sehingga diharapkan dapat memperbaiki error.

Jika $e(T)$ mendekati nol maka efek kontrol I ini semakin kecil. Kontrol I dapat memperbaiki sekaligus menghilangkan respon steady-state, namun pemilihan K_i yang tidak tepat dapat menyebabkan respon transien yang tinggi sehingga dapat menyebabkan ketidakstabilan sistem. Pemilihan K_i yang sangat tinggi justru dapat menyebabkan output berosilasi karena menambah orde system



Keluaran pengontrol ini merupakan hasil penjumlahan yang terus menerus dari perubahan masukannya. Jika sinyal kesalahan tidak mengalami perubahan, maka keluaran akan menjaga keadaan seperti sebelum terjadinya perubahan masukan. Sinyal keluaran pengontrol integral merupakan luas bidang yang dibentuk oleh kurva kesalahan / error.



Ciri-ciri pengontrol integral :

1. Keluaran pengontrol integral membutuhkan selang waktu tertentu, sehingga pengontrol integral cenderung memperlambat respon.
2. Ketika sinyal kesalahan berharga nol, keluaran pengontrol akan bertahan pada nilai sebelumnya.
3. Jika sinyal kesalahan tidak berharga nol, keluaran akan menunjukkan kenaikan atau penurunan yang dipengaruhi oleh besarnya sinyal kesalahan dan nilai K_i .
4. Konstanta integral K_i yang berharga besar akan mempercepat hilangnya offset. Tetapi semakin besar nilai konstanta K_i akan mengakibatkan peningkatan osilasi dari sinyal keluaran pengontrol.



3.Kontrol Derivatif

Keluaran pengontrol diferensial memiliki sifat seperti halnya suatu operasi derivatif. Perubahan yang mendadak pada masukan pengontrol akan mengakibatkan perubahan yang sangat besar dan cepat. Ketika masukannya tidak mengalami perubahan, keluaran pengontrol juga tidak mengalami perubahan, sedangkan apabila sinyal masukan berubah mendadak dan menaik (berbentuk fungsi *step*), keluaran menghasilkan sinyal berbentuk impuls



Jika sinyal masukan berubah naik secara perlahan (fungsi *ramp*), keluarannya justru merupakan fungsi step yang besar magnitudenya sangat dipengaruhi oleh kecepatan naik dari fungsi *ramp* dan factor konstanta K_d .

Sinyal kontrol u yang dihasilkan oleh kontrol D dapat dinyatakan sebagai $G(s)=s.K_d$ Dari persamaan di atas, nampak bahwa sifat dari kontrol D ini dalam konteks “kecepatan” atau rate dari error.



Dengan sifat ini ia dapat digunakan untuk memperbaiki respon transien dengan memprediksi error yang akan terjadi. Kontrol Derivative hanya berubah saat ada perubahan error sehingga saat error statis kontrol ini tidak akan bereaksi, hal ini pula yang menyebabkan kontroler Derivative tidak dapat dipakai sendiri



Ciri-ciri pengontrol derivatif :

1. Pengontrol tidak dapat menghasilkan keluaran jika tidak ada perubahan pada masukannya (berupa perubahan sinyal kesalahan)
2. Jika sinyal kesalahan berubah terhadap waktu, maka keluaran yang dihasilkan pengontrol tergantung pada nilai K_d dan laju perubahan sinyal kesalahan.
3. Pengontrol diferensial mempunyai suatu karakter untuk mendahului, sehingga pengontrol ini dapat menghasilkan koreksi yang signifikan sebelum pembangkit kesalahan menjadi sangat besar.
4. Jadi pengontrol diferensial dapat mengantisipasi pembangkit kesalahan, memberikan aksi yang bersifat korektif dan cenderung meningkatkan stabilitas sistem.

Dengan meni



Berdasarkan karakteristik pengontrol ini, pengontrol diferensial umumnya dipakai untuk mempercepat respon awal suatu sistem, tetapi tidak memperkecil kesalahan pada keadaan tunaknya. Kerja pengontrol diferensial hanyalah efektif pada lingkup yang sempit, yaitu pada periode peralihan.

Oleh sebab itu pengontrol diferensial tidak pernah digunakan tanpa ada kontroler lainnya.



Setiap kekurangan dan kelebihan dari masing-masing pengontrol P, I dan D dapat saling menutupi dengan menggabungkan ketiganya secara paralel menjadi pengontrol proporsional plus integral plus diferensial (pengontrol PID). Elemen-elemen pengontrol P, I dan D masing-masing secara keseluruhan bertujuan :

1. Mempercepat reaksi sebuah sistem mencapai *set point*-nya
2. Menghilangkan *offset*
3. Menghasilkan perubahan awal yang besar dan mengurangi *overshoot*.



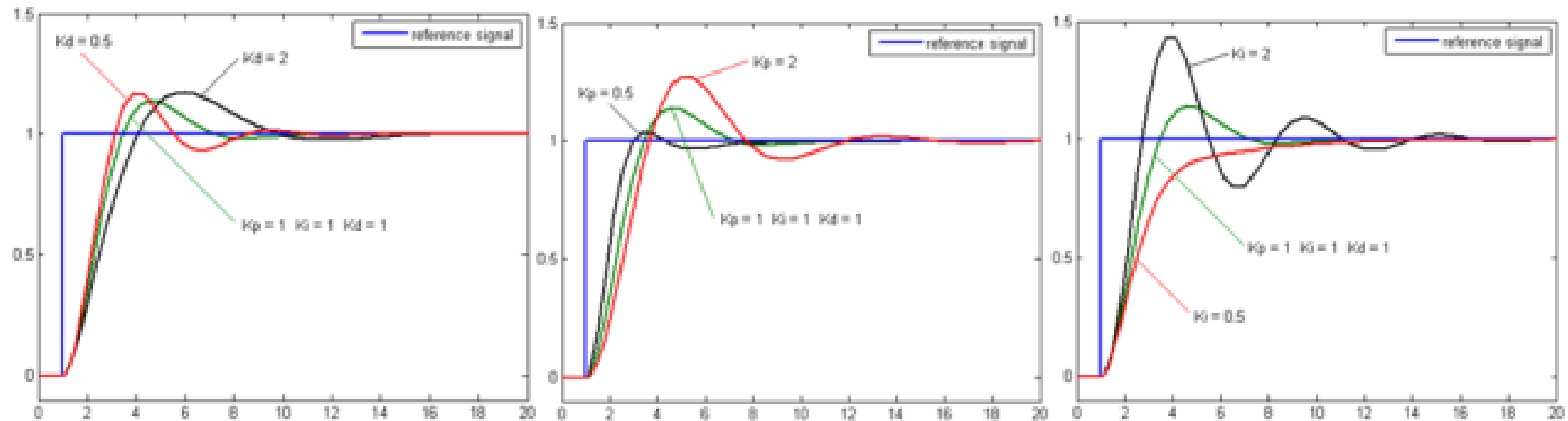
Ketika kontroler membiarkan valve dalam keadaan terbuka, dan bisa saja kontroler membuka sebagian dari valve jika hanya dibutuhkan air yang hangat, akan tetapi jika yang dibutuhkan adalah air panas, maka valve akan terbuka secara penuh. Ini adalah contoh dari proportional control. Dan jika ternyata dalam prosesnya air panas yang diharapkan ada datangnya kurang cepat maka controler bisa mempercepat proses pengiriman air panas dengan membuka valve lebih besar atau menguatkan pompa, inilah yang disebut dengan integral kontrol.



Karakteristik pengontrol PID sangat dipengaruhi oleh kontribusi besar dari ketiga parameter P, I dan D. Penyetelan konstanta K_p , K_i dan K_d akan mengakibatkan penonjolan sifat dari masing-masing elemen. Satu atau dua dari ketiga konstanta tersebut dapat disetel lebih menonjol disbanding yang lain. Konstanta yang menonjol itulah akan memberikan kontribusi pengaruh pada respon sistem secara keseluruhan.



Adapun beberapa grafik dapat menunjukkan bagaimana respon dari sitem terhadap perubahan K_p , K_i dan K_d sebagai berikut :



PID Controller adalah controller yang penting yang sering digunakan dalam industri. Sistem pengendalian menjadi bagian yang tidak bisa terpisahkan dalam proses kehidupan ini khususnya dalam bidang rekayasa industri, karena dengan bantuan sistem pengendalian maka hasil yang diinginkan dapat terwujud.



Sistem pengendalian dibutuhkan untuk memperbaiki tanggapan sistem dinamik agar didapat sinyal keluaran seperti yang diinginkan. Sistem kendali yang baik mempunyai tanggapan yang baik terhadap sinyal masukan yang beragam.

