BAB II

DASAR TEORI

2.1 *Proporsional Integral Derivative* (PID)

Didalam suatu sistem kontrol kita mengenal adanya beberapa macam aksi kontrol, diantaranya yaitu aksi kontrol *proporsional*, aksi kontrol *integral* dan aksi kontrol *derivative*. Masing-masing aksi kontrol ini mempunyai keunggulan-keunggulan tertentu, dimana aksi kontrol *proporsional* mempunyai keunggulan *rise time* yang cepat, aksi kontrol integral mempunyai keunggulan untuk memperkecil *error* ,dan aksi kontrol *derivative* mempunyai keunggulan untuk memperkecil *error* atau meredam *overshot/undershot*. Untuk itu agar kita dapat menghasilkan output dengan *risetime* yang cepat dan *error* yang kecil kita dapat menggabungkan ketiga aksi kontrol ini menjadi aksi kontrol PID.

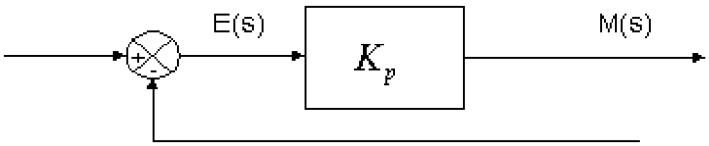
Parameter pengontrol *Proporsional Integral derivative* (PID) selalu didasari atas tinjauan terhadap karakteristik yang di atur (*plant*). Dengan demikian bagaimanapun rumitnya suatu *plant*, prilaku *plant* tersebut harus di ketahui terlabih dahulu sebelum pencarian parameter PID itu dilakukan.

2.1.1 Pengontrol *proporsional*

Pengontrol *proposional* memiliki keluaran yang sebanding atau proposional dengan besarnya sinyal kesalahan (selisih antara besaran yang di inginkan dengan harga aktualnya). Secara lebih sederhana dapat dikatakan bahwa keluaran pengontrol *proporsional* merupakan perkalian antara konstanta

proposional dengan masukannya. Perubahan pada sinyal masukan akan segera menyebabkan sistem secara langsung mengeluarkan output sinyal sebesar konstanta pengalinya.

Gambar 2.1 menunjukkan blok diagram yang menggambarkan hubungan antara besaran setting, besaran aktual dengan besaran keluaran pengontrol *proporsional*. Sinyal keasalahan (*error*) merupakan selisih antara besaran setting dengan besaran aktualnya. Selisih ini akan mempengaruhi pengontrol, untuk mengeluarkan sinyal positif (mempercepat pencapaian harga *setting*) atau negatif (memperlambat tercapainya harga yang diinginkan).



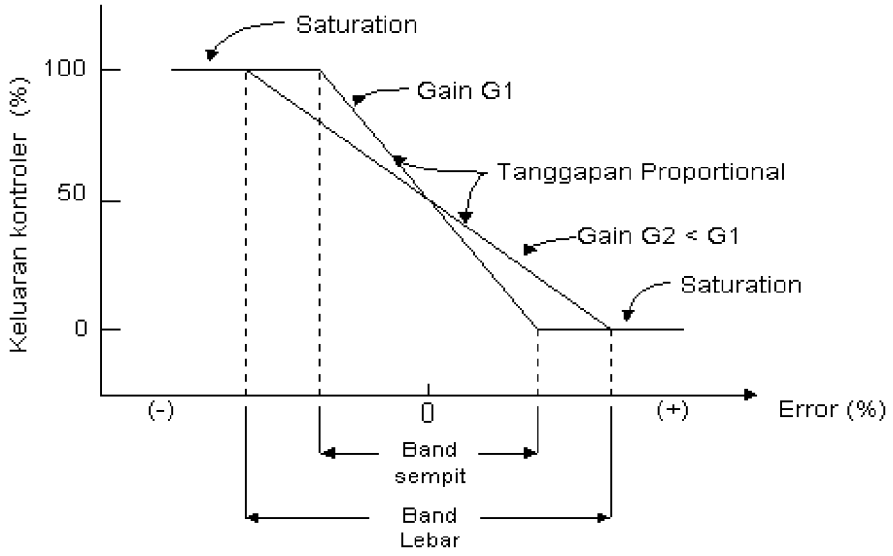
Gambar 2.1
Diagram blok kontroler *proporsional*

pengontrol *proposional* memiliki 2 parameter, pita *proposional* (*propotional band*) dan konstanta *proporsional*. Daerah kerja kontroler efektif dicerminkan oleh pita *proporsional* sedangkan konstanta *proporsional* menunjukan nilai faktor penguatan sinyal tehadap sinyal kesalahan Kp

Hubungan antara pita *proporsional* (PB) dengan konstanta *proporsiona*l (Kp) ditunjukkan secara persentasi oleh persamaan berikut:

$$PB = \frac{1}{Kp} \times 100\ \% \qquad (2.1)$$

Gambar 2.2 menunjukkan grafik hubungan antara PB, keluaran pengontrol dan kesalahan yang merupakan masukan pengontrol. Ketika konstanta *proporsional* bertambah semakin tinggi, pita *proporsional* menunjukkan penurunan yang semakin kecil, sehingga lingkup kerja yang dikuatkan akan semakin sempit.



Gambar 2.2
Proportional band dari pengontrol *proporsional* tergantung pada penguatan.

Ciri-ciri pengontrol *proposional* harus diperhatikan ketika pengontrol tersebut diterapkan pada suatu sistem. Secara eksperimen, pengguna pengontrol *propoisional* harus memperhatikan ketentuan-ketentuan berikut ini :

1. kalau nilai Kp kecil, pengontrol *proposional* hanya mampu melakukan koreksi kesalahan yang kecil, sehingga akan menghasilkan respon sisitem yang lambat.
2. kalau nilai Kp dinaikan, respon sistem menunjukan semakin cepat mencapai *set point* dan keadaan stabil.
3. namun jika nilai Kp diperbesar sehingga mencapai harga yang berlebiahan, akan mengakibatkan sistem bekerja tidak stabil, atau respon sistem akan berosolasi

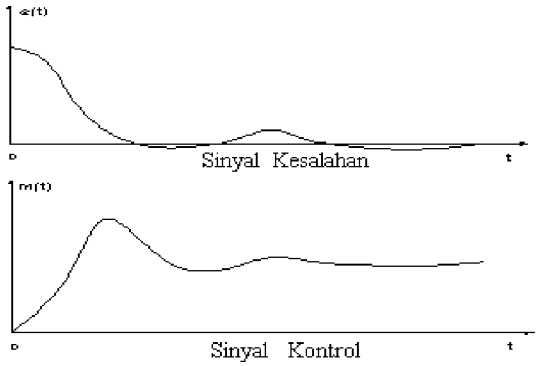
2.1.2 Pengontrol *Integral*

Pengontrol *integral* berfungsi menghasilkan respon sistem yang memiliki kesalahan keadaan stabil nol. Jika sebuah *plant* tidak memiliki unsur integrator (1/s), pengontrol *proposional* tidak akan mampu menjamin keluaran sistem dengan kesalahan keadaan stabilnya nol. Dengan pengontrol *integral*, respon sistem dapat diperbaiki, yaitu mempunyai kesalahan keadaan stabilnya nol.

Pengontrol *integral* memiliki karaktiristik seperti halnya sebuah *integral*. Keluaran sangat dipengaruhi oleh perubahan yang sebanding dengan nilai sinyal kesalahan. Keluaran pengontrol ini merupakan penjumlahan yang terus menerus dari perubahan masukannya. Kalau sinyal kesalahan tidak mengalami perubahan, keluaran akan menjaga keadaan seperti sebelum terjadinya perubahan masukan.

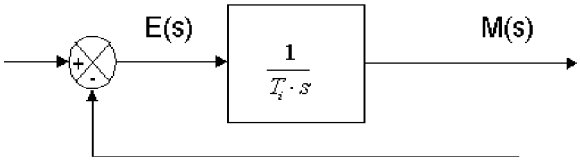
Sinyal keluaran pengontrol *integral* merupakan luas bidang yang dibentuk oleh kurva kesalahan penggerak. Sinyal keluaran akan berharga sama dengan harga sebelumnya ketika sinyal kesalahan berharga nol. **Gambar 2.3**

menunjukkan contoh sinyal kesalahan yang dimasukan ke dalam pengontrol *integral* dan keluaran pengontrol *integral* terhadap perubahan sinyal kesalahan tersebut.



Gambar 2.3
Kurva sinyal kesalahan e(t) terhadap t pada pembangkit kesalahan nol.

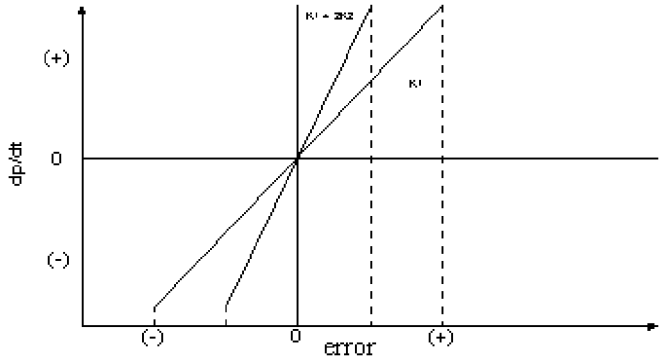
Gambar 2.4 menunjukkan blok diagram antara besaran kesalahan dengan keluaran suatu pengontrol *integral.*



Gambar 2.4
Blok diagram hubungan antara besaran kesalahan dengan pengontrol *integral*

Pengaruh perubahan konstanta *integral* terhadap keluaran *integral* ditunjukkan oleh **Gambar 2.5**. Ketika sinyal kesalahan berlipat ganda, maka nilai laju perubahan keluaran pengontrol berubah menjadi dua kali dari semula. Jika nilai

konstanta integrator berubah menjadi lebih besar, sinyal kesalahan yang relatif kecil dapat mengakibatkan laju keluaran menjadi besar .



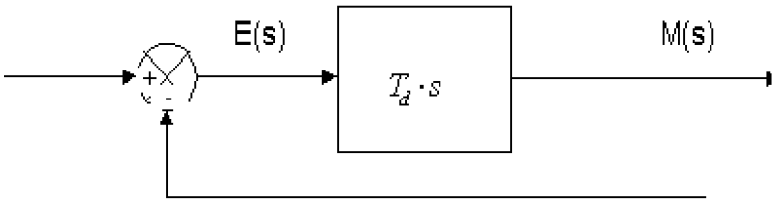
Gambar 2.5
Perubahan keluaran sebagai akibat penguatan dan kesalahan

Ketika digunakan, pengontrol *integral* mempunyai beberapa karakteristik berikut ini:

1. keluaran pengontrol 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 Ki.
4. konstanta *integral* Ki yang berharga besar akan mempercepat hilangnya *offset*. Tetapi semakin besar nilai konstanta Ki akan mengakibatkan peningkatan osilasi dari sinyal keluaran pengontrol.

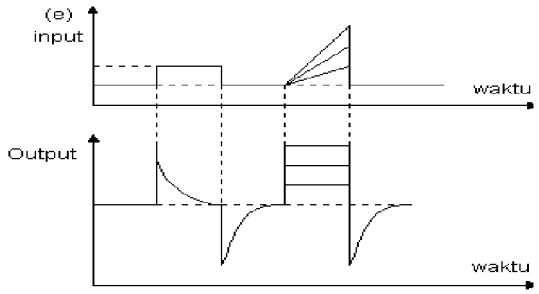
2.1.3 pengontrol *Derivative*

Keluaran pengontrol *Derivative* memiliki sifat seperti halnya suatu operasi differensial. Perubahan yang mendadak pada masukan pengontrol, akan mengakibatkan perubahan yang sangat besar dan cepat. **Gambar 2.6** menunjukkan blok diagram yang menggambarkan hubungan antara sinyal kesalahan dengan keluaran pengontrol.



Gambar 2.6
Blok diagram pengontrol *Derivative*

Gambar 2.7 menyatakan hubungan antara sinyal masukan dengan sinyal keluaran pengontrol *Derivative*. 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 magnitudnya sangat dipengaruhi oleh kecepatan naik dari fungsi *ramp* dan faktor konstanta diferensialnya.



Gambar 2.7
Kurva waktu hubungan *input-output* pengontrol *Derivative*

Karakteristik pengontrol *derivative* adalah sebagai berikut:

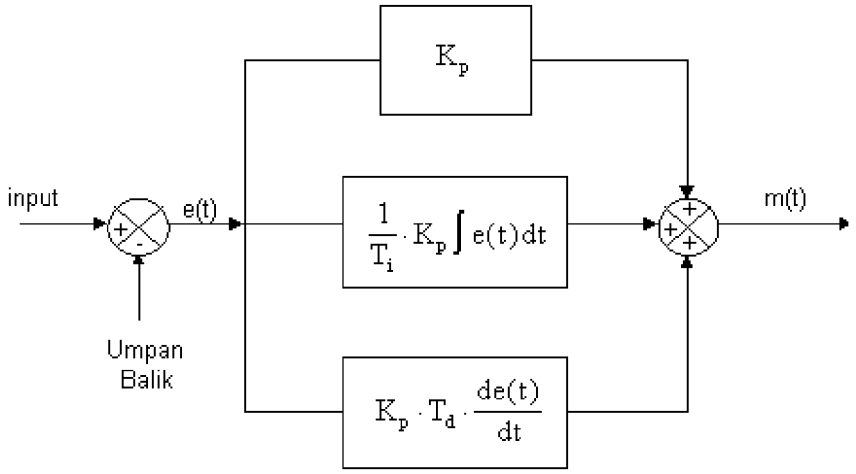
1. pengontrol ini tidak dapat menghasilkan keluaran bila tidak ada perubahan pada masukannya (berupa sinyal kesalahan).
2. jika sinyal kesalahan berubah terhadap waktu, maka keluaran yang dihasilkan pengontrol tergantung pada nilai Td dan laju perubahan sinyal kesalahan. (Powel, 1994, 184).
3. pengontrol *derivative* mempunyai suatu karakter untuk mendahului, sehingga pengontrol ini dapat menghasilkan koreksi yang signifikan sebelum pembangkit kesalahan menjadi sangat besar. Jadi pengontrol *derivative* dapat mengantisipasi pembangkit kesalahan, memberikan aksi yang bersifat korektif, dan cenderung meningkatkan stabilitas sistem .

Berdasarkan karakteristik pengontrol tersebut, pengontrol *derivative* umumnya dipakai untuk mempercepat respon awal suatu sistem, tetapi tidak memperkecil kesalahan pada keadaan stabilnya. Kerja pengontrol *derivative* hanyalah efektif pada lingkup yang sempit, yaitu pada periode peralihan. Oleh

sebab itu pengontrol *derivative* tidak pernah digunakan tanpa ada pengontrol lain sebuah sistem (Sutrisno, 1990, 102).

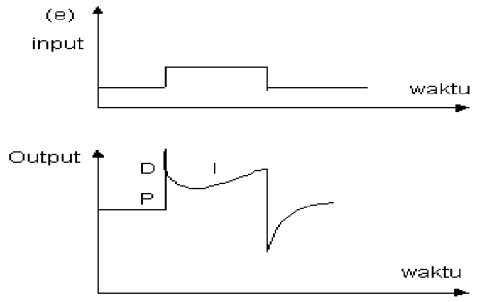
2.1.4 pengontrol PID

Setiap kekurangan dan kelebihan dari masing-masing pengontrol P, I dan D dapat saling menutupi dengan menggabungkan ketiganya secara paralel menjadi pengontrol *proposional* plus *integral* plus *derivative* (pengontrol PID). Elemen-elemen pengontrol P, I dan D masing-masing secara keseluruhan bertujuan untuk mempercepat reaksi sebuah sistem, menghilangkan *offset* dan menghasilkan perubahan awal yang besar.



Gambar 2.8
Blok diagram kontroler PID analog

Keluaran pengontrol PID merupakan penjumlahan dari keluaran pengontrol *proporsional*, keluaran pengontrol *integral*. **Gambar 2.9** menunjukkan hubungan tersebut.



Gambar 2.9
Hubungan dalam fungsi waktu antara sinyal keluaran dengan masukan untuk pengontrol PID

Karakteristik pengontrol PID sangat dipengaruhi oleh kontribusi besar dari ketiga parameter P, I dan D. Pengaturan konstanta Kp, Ti, dan Td akan mengakibatkan penonjolan sifat dari masing-masing elemen. Satu atau dua dari ketiga konstanta tersebut dapat diatur lebih menonjol dibanding yang lain. Konstanta yang menonjol itulah akan memberikan kontribusi pengaruh pada respon sistem secara keseluruhan .

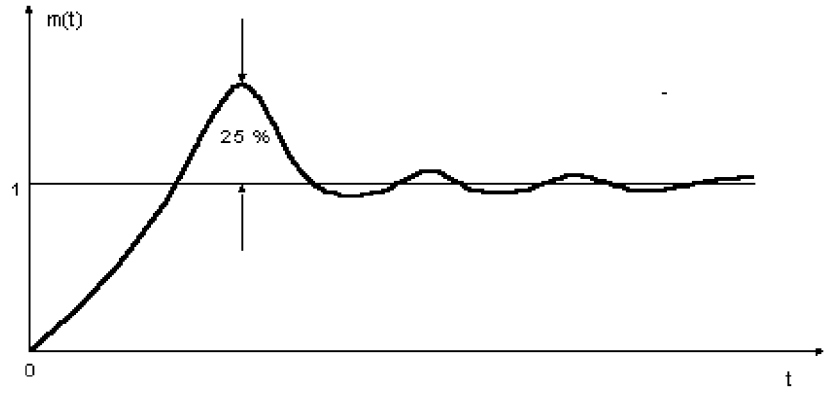
2.2 Penalaan Paramater Pengontrol PID

Penalaan parameter pengontrol PID selalu didasari atas tinjauan terhadap karakteristik yang diatur (*plant*). Dengan demikian betapapun rumitnya suatu *plant*, perilaku *plant* tersebut harus diketahui terlebih dahulu sebelum penalaan parameter PID itu dilakukan. Karena penyusunan model matematik *plant* tidak mudah, maka dikembangkan suatu metode eksperimental. Metode ini didasarkan pada reaksi *plant* yang dikenai suatu perubahan. Dengan menggunakan metode itu model matematik perilaku *plant* tidak diperlukan lagi, karena dengan menggunakan data yang berupa kurva keluaran, penalaan pengontrol PID telah

dapat dilakukan. Penalaan bertujuan untuk mendapatkan kinerja sistem sesuai spesifikasi perancangan. Ogata menyatakan hal itu sebagai alat *control* (*controller tuning*). Dua metode pendekatan eksperimen adalah *Ziegler-Nichols* dan metode *Quarter decay*.

2.2.1 Metode Ziegler-Nichols

Ziegler-Nichols pertama kali memperkenalkan metodenya pada tahun 1942. Metode ini memiliki dua cara, metode osilasi dan kurva reaksi. Kedua metode ditujukan untuk menghasilkan respon sistem dengan lonjakan maksimum sebesar 25%. **Gambar 2.10** memperlihatkan kurva dengan lonjakan 25%.

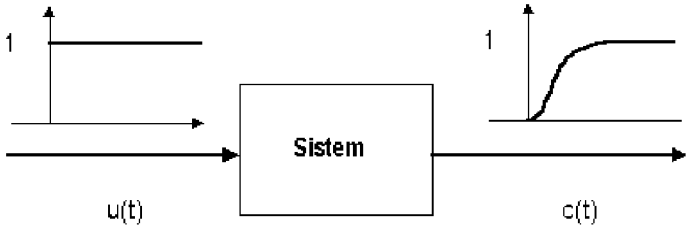


Gambar 2.10
Kurva *respons* tangga satuan yang memperlihatkan 25 % lonjakan maksimum

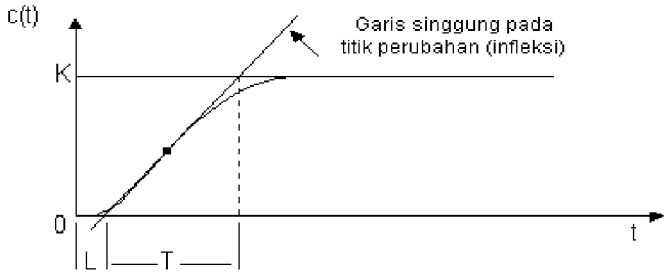
2.2.1.1 Metode Kurva Reaksi

Metode ini didasarkan terhadap reaksi sistem untaian terbuka. *Plant* sebagai untaian terbuka dikenai sinyal fungsi tangga satuan (**Gambar 2.11**). Jika *plant* minimal tidak mengandung unsur integrator ataupun *pole-pole* kompleks,

reaksi sistem akan berbentuk S. **Gambar 2.12** menunjukkan kurva berbentuk S tersebut. Kelemahan metode ini terletak pada ketidakmampuannya untuk *plant* integrator maupun *plant* yang memiliki *pole* kompleks.



Gambar 2.11
Respon tangga satuan sistem



Gambar 2.12
Kurva Respons berbentuk S

Kurva berbentuk S mempunyai dua konstanta, waktu mati (*dead time*) L dan waktu tunda T. Dari **Gambar 2.12** terlihat bahwa kurva reaksi berubah naik, setelah selang waktu L. Sedangkan waktu tunda menggambarkan perubahan kurva setelah mencapai 66% dari keadaan stabilnya. Pada kurva dibuat suatu garis yang bersinggungan dengan garis kurva. Garis singgung itu akan memotong dengan

sumbu absis dan garis maksimum. Perpotongan garis singgung dengan sumbu absis merupakan ukuran waktu mati, dan perpotongan dengan garis maksimum merupakan waktu tunda yang diukur dari titik waktu L.

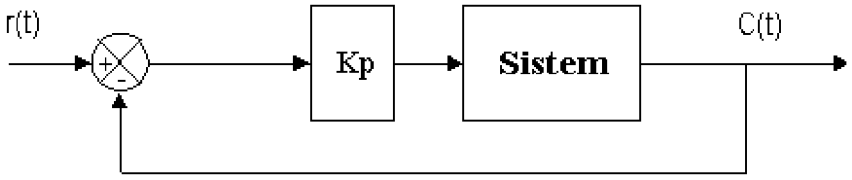
Penalaan parameter PID didasarkan perolehan kedua konstanta itu. Zeigler dan Nichols melakukan eksperimen dan menyarankan parameter pengaturan nilai Kp, Ti, dan Td dengan didasarkan pada kedua parameter tersebut. **Tabel 2.1** merupakan rumusan penalaan parameter PID berdasarkan cara kurva reaksi.

Tabel 2.1
Penalaan paramater PID dengan metode kurva reaksi

Tipe Pengontrol	Kp	Ti	Td
P	T/L	~	0
PI	0,9 T/L	L/0.3	0
PID	1,2 T/L	2*L*	0,5*L*

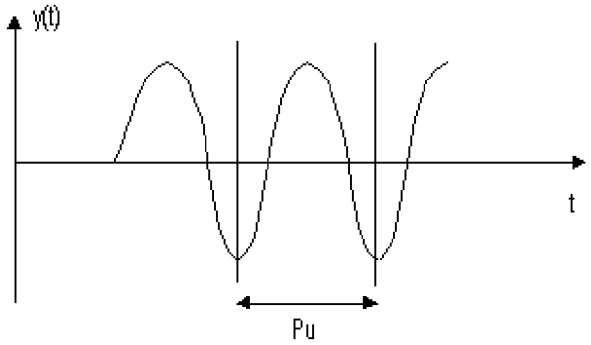
2.2.1.2 Metode Osilasi

Metode ini didasarkan pada reaksi sistem untaian tertutup. *Plant* disusun serial dengan pengontrol PID. Pertama parameter parameter integrator diatur tak berhingga dan parameter *derivative* diatur nol (T_i = ~ ;T_d = 0). Parameter *proporsional* kemudian dinaikkan bertahap. Mulai dari nol sampai mencapai harga yang mengakibatkan reaksi sistem berosilasi. Reaksi sistem harus berosilasi dengan magnitud tetap (*Sustain oscillation).***Gambar 2.13** menunjukkan rangkaian untaian tertutup pada cara osilasi.



Gambar 2.13
Sistem untaian tertutup dengan alat pengontrlol *proporsional*

Nilai penguatan *proposional* pada saat sistem mencapai kondisi berosilasi dengan magnitud tetap *(sustain oscillation)* disebut *ultimate gain* Ku. Periode dari *sustain oscillation* disebut *ultimate period* Tu (Perdikaris, 1991, 433). **Gambar 2.14** menggambarkan kurva reaksi untaian tertutup ketika berosilasi.



Gambar 2.14
Kurva respon *sustain oscillation*

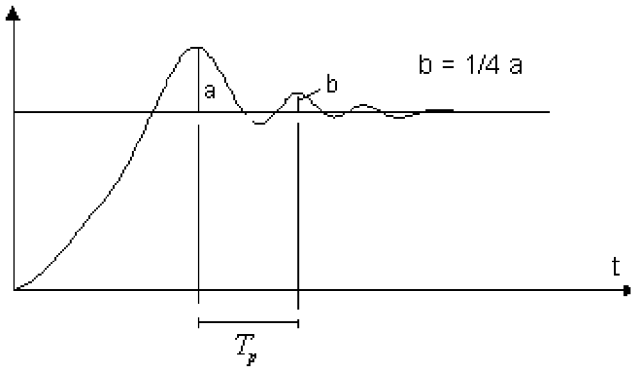
Penalaan parameter PID didasarkan terhadap kedua konstanta hasil eksperimen, Ku dan Pu. Ziegler dan Nichols menyarankan pengaturan nilai parameter Kp, Ti, dan Td berdasarkan rumus yang diperlihatkan pada **Tabel 2.2**

Tabel 2.2
Penalaan paramater PID dengan metode osilasi

Tipe Pengontrol	Kp	Ti	Td
P	0.5 Ku		
PI	0.45 Ku	1/2 Pu	
PID	0.6 Ku	0.5 Pu	0.125 Pu

2.2.2 Metode *Quarter - decay*

Karena tidak semua proses dapat mentolerir keadaan osilasi dengan amplituda tetap, *Cohen-coon* berupaya memperbaiki metode osilasi dengan menggunakan metode *quarter amplitude decay.* Tanggapan untaian tertutup sistem, pada metode ini, dibuat sehingga respon berbentuk *quarter amplitude decay* (Guterus, 1994, 9-13). *Quarter amplitude decay* didefinisikan sebagai respon transien yang amplitudanya dalam periode pertama memiliki perbandingan sebesar seperempat (1/4) .



Gambar 2.15
Kurva respon *quarter amplitude decay*

pengontrol *proportional* Kp diatur hingga diperoleh tanggapan *quarter amplitude decay*, periode pada saat pengaturan ini disebut Tp dan parameter Ti dan Td dihitung dari hubungan (Perdikaris, 434, 1990). Sedangkan penalaan parameter pengontrol PID adalah sama dengan yang digunakan pada metode Ziegler-Nichols (lihat **Tabel 2.1** untuk metode kurva reaksi dan **Tabel 2.2** untuk metode osilasi).

2.3 Tuning PID *contoller*

Tuning dilakukan untuk mendapatkan nilai-nilai parameter PID atau pemberian parameter P, I, dan D dengan hasil terbaik sehingga dapat mengoptimasikan kerja suatu sistem dengan *error* yang terjadi dapat diperkecil dan didapatkan respon sistem yang di inginkan

$$u = Kp\left(e + \frac{1}{Ti}\int_0^t e * dT + Td\frac{de}{dt}\right) \tag{2.2}$$

u adalah output pengontrol, Kp tetap adalah *proportional gain* (keuntungan sebanding), Ti adalah *integral time* (waktu *integral*),Td adalah *derivative time* (waktu *derivative)*, dan e adalah *error* antara referensi serta output proses. Untuk perioda sampling kecil.

$$u_n = Kp\ (e_n + \frac{1}{Ti}\sum_{j=1}^{n} ejTs + Td\ \frac{e_n - e_{n-1}}{Ts}) \tag{2.3}$$

indeks mengacu pada saat tertentu tanda waktu. dengan cara mengatur atau menyesuaikan parameter Kp, Ti, dan Td.

Beberapa aspek pengaturan mungkin saja digambarkan oleh pertimbangan statis. untuk kendali yang secara murni sebanding (Td=0 dan 1/Ti=0), hukum kendali(2) mengurangi kepada :

$$u_n = Kpe_n \tag{2.4}$$

Mempertimbangkan pengulangan *peedback*, dimana pengontrol *proposional* meningkatkan Kp dan proses ini mempunyai keuntungan K didalam kondisi *steady state*. output proses *x* adalah yang berhubungan dengan referensi *Ref*, beban *l*, dan noise pengukuran *n* oleh persamaan.

$$x = \frac{KpK}{1+KpK}(Ref - n) + \frac{K}{1+KpK}\, l \tag{2.5}$$

Tabel 2.3 merupakan aturan dalam matode Ziegler Nichols untuk menentukan parameter – parameter PID.

Tabel 2.3
The Ziegler Nichols rules (prequency response method)

Tipe Pengontrol	Kp	Ti	Td
P	0.5 Ku		
PI	0.45 Ku	Tu/1.2	
PID	0.6 Ku	Tu/2	Tu/8

Tuning di lakukan untuk mendapatkan nilai-nilai parameter PID dengan hasil terbaik sehingga dapat mengoptimasikan kerja suatu sistem dengan error yang terjadi dapat di minimalisasi.

2.4 *Plant*

Sistem ini mensimulasikan suatu sistem tangki yang berfungsi menampung dan mengalirkan fluida. Dibagian atas tangki proses 1 terdapat pipa yang secara kontinyu mengalirkan fluida kedalam tangki proses 1, sedangkan keluaran fluida dari tanki proses 1 akan menjadi masukan fluida bagi tangki proses 2. *Control Valve 1* berfungsi untuk mengontrol keluaran dari tangki proses 1. Jika *Control Valve 1* ditutup rapat, maka fluida akan tertahan di tangki proses 1 dan permukaan fluida di tangki proses 1 akan meninggi. Dan sebaliknya jika *Control Valve 1* dibuka lebar, maka fluida akan mengalir keluar sehingga permukaan fluida di tangki proses 1 akan menurun. Dengan prinsip yang sama, *Control Valve 2* mengontrol keluaran dari tangki proses 2.

Dalam simulasi ini digunakan beberapa asumsi berikut :

- kedua tangki berbentuk silinder dengan diameter 40 cm dan tinggi 100 cm
- pipa keluaran berbentuk lingkaran dengan diameter 4 cm
- percepatan gravitasi 9.8 m/s^2
- debit aliran masuk pada tangki proses 1 adalah 0.03 m^3/s
- *control Valve* dapat diatur bukaannya antara 0 – 100%

Perhitungan yang dipakai adalah :

- Besar debit output pada tangki proses 1 berubah menurut persamaan :

$$Qout_1(t) = LuasPipa_1 \times \sqrt{2gh_1(t-1)} \qquad (2.6)$$

- *Level* air pada tangki proses 1 berubah menurut persamaan :

$$h_1(t) = h_1(t-1) + \frac{Qin - Qout_1}{LuasAlasTangki} \tag{2.7}$$

- Besar debit output pada tangki proses 2 berubah menurut persamaan :

$$Qout_2(t) = LuasPipa_2 \times \sqrt{2gh_2(t-1)} \tag{2.8}$$

- *Level* air pada tangki proses 2 berubah menurut persamaan

$$h_2(t) = h_2(t-1) + \frac{Qout_1 - Qout_2}{LuasAlasTangki} \tag{2.9}$$