Lab 8
Kendali PID

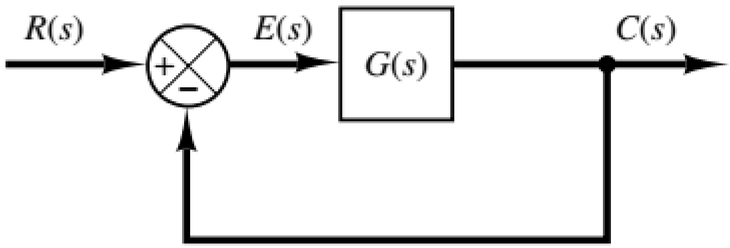
8.1 Tujuan Eksperimen

1. Memahami kendali PID dalam mengatur karakteristik sistem
2. Memahami penalaan koefisien PID melalui metode Ziegler-Nichols

8.2 Dasar Teori

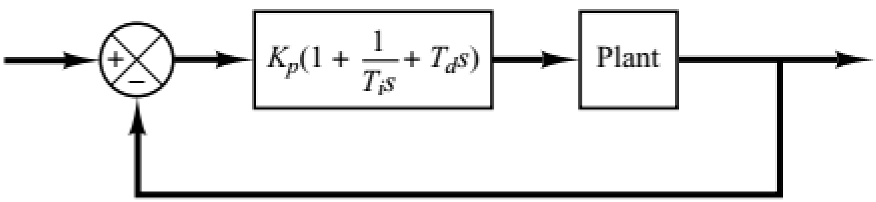
8.2.1 Kendali PID

Suatu sistem dengan pada dasarnya memberikan tanggapan terhadap masukan yang berupa luaran dari sistem itu sendiri. Karakteristik dari sistem menunjukkan bagaimana tanggapan dari sistem tersebut, terutama dalam hal kestabilan yang seharusnya dicapai. Suatu sistem kendali pada dasarnya memberikan masukan kepada sistem sedemikian rupa sehingga luaran dari sistem stabil.



Gambar 8.1 Diagram blok sistem kalang tertutup dengan umpan balik satuan

Pada sistem kalang tertutup, masukan kepada sistem dengan fungsi alih $G(s)$ diatur dengan memanipulasi luaran dari sistem yang diumpanbalikkan dan dibandingkan dengan suatu nilai referensi $R(s)$ untuk menghasilkan nilai selisih $E(s)$ seperti ditunjukkan pada Gambar 8.1. Nilai selisih tersebut dapat digunakan langsung sebagai masukan sistem dan dianggap sebagai sinyal $U(s)$ bagi sistem tersebut, namun pada umumnya perlu disesuaikan dengan kondisi yang ingin dicapai dari sistem tersebut. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem kendali dengan fungsi alih $G_c(s)$ untuk menghasilkan sinyal masukan $u(t)$ bagi sistem yang dikendalikan.



Gambar 8.2 Diagram blok kendali PID pada untuk sebuah sistem dengan umpan balik satuan

Salah satu sistem kendali yang paling sederhana dan banyak dipakai adalah kendali PID (*proportional integral derivative*). Kendali ini bekerja berdasar analisis eror dari sistem dengan tiga macam perlakuan, yaitu penguat proporsional *P*, integrator *I*, dan derivator *D* seperti ditunjukkan pada Gambar 8.2. Kendali PID dapat dinyatakan dalam persamaan berikut

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

$$G_c(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

Atau dapai dituliskan dalam bentuk persamaan

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

Berdasar perlakuan terhadap eror sistem, PID memiliki sifat-sifat untuk setiap komponen. Komponen proporsional bersifat menguatkan tanggapan sistem, komponen integral bersifat memperbaiki tanggapan keadaan tunak, dan komponen derivasi bersifat memperbaiki tanggapan transien sistem. Secara keseluruhan, sifat tanggapan dirangkum pada Tabel 8.1.

Tabel 8.1 Sifat-sifat komponen pada kendali PID

Tanggapan sistem	*Rise time* t_r	*Overshoot*	*Settling time* t_s	*Steady-state error* e_{ss}
K_p	Turun	Naik	Sedikit	Turun
K_i	Turun	Naik	Naik	Hilang
K_d	Sedikit	Turun	Turun	Sedikit

Sesuai dengan kebutuhan dan sifat-sifatnya, kendali PID memiliki variasi, yaitu kendali P, kendali PD, dan kendali PI. Sebagai contoh perhatikan sistem massa-pegas kalang terbuka berikut.

$$G(s) = \frac{1}{ms^2 + bs + k}$$

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

Sistem kalang tertutup dari sistem tersebut yang telah didahului dengan kendali PID akan memiliki persamaan fungsi alih

$$F(s) = \frac{G_c(s)G(s)}{1 + G_c(s)G(s)}$$

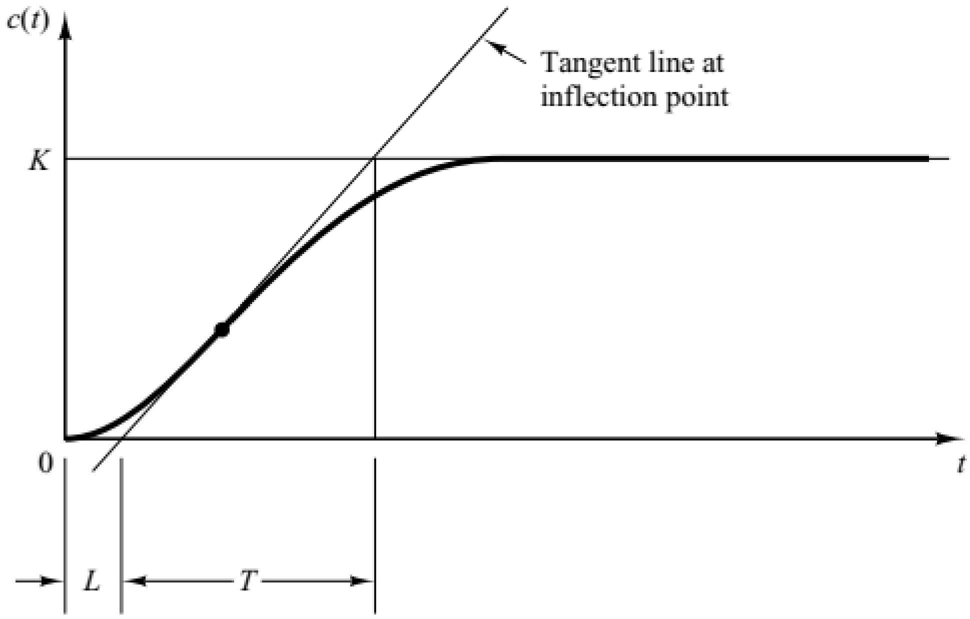
$$F(s) = \frac{K_d s^2 + K_p s + K_i}{ms^3 + (b + K_d)s^2 + \left(k + K_p\right)s + K_i}$$

```
num = [1]
den = [1 10 20]
G = tf(num,den)   % fungsi alih kalang terbuka
step(G)
num = [Kd Kp Ki]
den = [1 10+Kd 20+Kp Ki]
F = tf(num,den)   % fungsi alih kalang tertutup dengan PID
step(F)
```

Sistem tersebut dapat dikompensasi dengan kendali PID dengan masing-masing nilai, misalnya kendali P ($K_d = 0, K_i = 0$), kendali PI ($K_d = 0$) maupun kendali PD ($K_i = 0$).

8.2.2 Penalaan Ziegler-Nichols metode pertama

Kendali PID sangat banyak digunakan karena sifatnya yang mengacu secara langsung dari eror sistem. Pada praktiknya, kendali ini juga bagus untuk suatu sistem yang tidak diketahui fungsi alihnya. Koefisien untuk masing-masing komponen pada kendali PID perlu diatur untuk mendapatkan tanggapan yang tepat. Penalaan dilakukan dengan metode-metode tertentu untuk mendapatkan keofisien K_p, T_i, dan T_d.



Gambar 8.3 Kurva tanggapan bentuk S (*S-shape*) dalam metode penalaan Ziegler-Nichols pertama

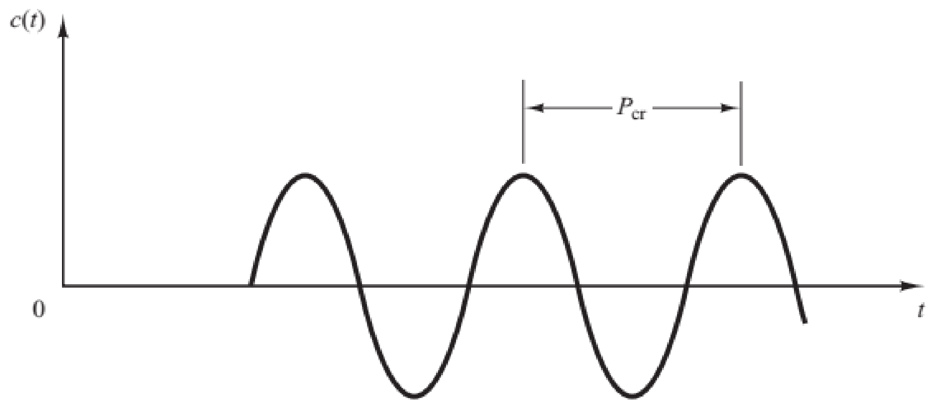
Ziegler dan Nichols mengusulkan metode penalaan yang cukup sederhana dengan mengamati tanggap fungsi langkah dari sistem. Seperti ditunjukkan pada Gambar 8.3, suatu tanggapan yang berbentuk S dapat digunakan secara langsung untuk menala koefisien PID dengan menentukan dua konstanta, yaitu waktu tunda atau waktu mati (*delay time, dead time*) *L* dan konstanta waktu (*time constant*) *T*. Konstanta *L* dan *T* diperoleh dengan membuat garis lurus dari garis singgung pada titik belok kurva. *L* adalah jarak perpotongan garis singgung dengan titik *O* sedang *T* adalah jarak antara perpotongan garis singgung dengan sumbu waktu $c(t) = 0$ dan garis $c(t) = K$. Konstanta *L* dan *T* tersebut kemudian digunakan untuk menentukan koefisien PID sesuai dengan Tabel 8.2.

Tabel 8.2 Penalaan PID berbasis tanggapan fungsi langkah pada metode pertama Ziegler-Nichols

Type of Controller	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9\frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2\frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$

8.2.3 Penalaan Ziegler-Nichols metode kedua

Metode kedua penalaan Ziegler-Nichols dilakukan berdasarkan tanggapan sistem ketika pada saat kestabilan kritis (*critical stable*) ketika diberi suatu nilai penguatan tertentu K_{cr}. Pada keadaan ini, luaran sistem akan berosilasi dengan periode tertentu P_{cr} seperti ditunjukkan pada Gambar 8.4. Grafik osilasi kestabilan kritis tersebut dapat diperoleh baik melalui uji coba tanpa mengetahui fungsi alih sistem maupun dengan menganalisis nilai penguatan kritis dari persamaan fungsi alih sistem. Nilai-nilai tersebut kemudian digunakan untuk menentukan koefisien PID sesuai dengan Tabel 8.3.



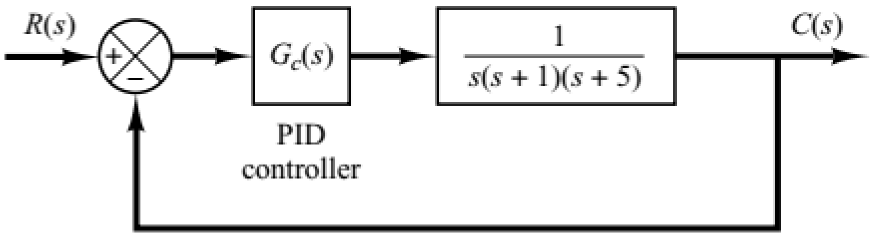
Gambar 8.4 Osilasi pada saat kestabilan kritis dengan periode P_{cr}

Tabel 8.3 Penalaan PID berbasis penguatan kritis pada metode kedua Ziegler-Nichols

Type of Controller	K_p	T_i	T_d
P	$0.5K_{cr}$	∞	0
PI	$0.45K_{cr}$	$\frac{1}{1.2}P_{cr}$	0
PID	$0.6K_{cr}$	$0.5P_{cr}$	$0.125P_{cr}$

Pada uji coba sistem tanpa menggunakan fungsi alih, penguatan K divariasi sedemikian rupa sehingga luaran sistem berbentuk osilasi sinusoidal. Nilai K pada saat tersebut dianggap sebagai penguatan kritis K_{cr}. Metode ini banyak diterapkan pada sistem yang tidak memiliki fungsi alih atau sulit untuk direpresentasikan fungsi alihnya.

Pada sistem yang memiliki fungsi alih, nilai penguatan kritis dapat diketahui dari beberapa cara, di antaranya adalah melalui pengamatan *root locus*, grafik Nyquist atau melalui kriteria kestabilan Routh. Sebagai contoh, perhatikan sistem kalang terbuka pada Gambar 8.5. Fungsi alih kalang terbuka dengan kendali *P* dan penguatan K_p adalah

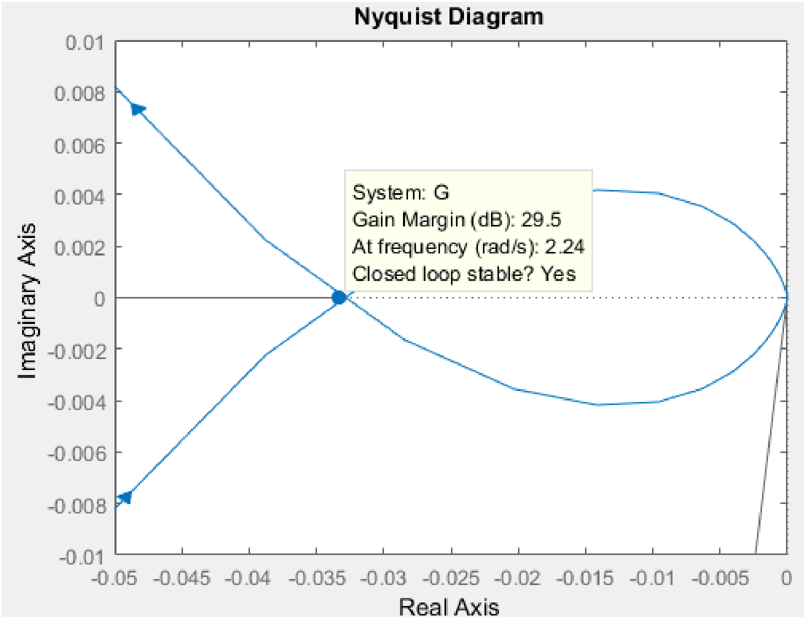


Gambar 8.5 Sistem dengan kendali PID

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K_p}{s(s+1)(s+5)+K_p}$$

Penguatan kritis dapat diamati melalui grafik Nyquist seperti pada Gambar 8.6.

```
G = zpk([],[0 -1 -5],1)
nyquist(G)
axis([-0.05 0 -0.01 0.01])
Kcr = db2mag(29.5)      % kestabilan kritis Kcr ~ 30
```



Gambar 8.6 Penguatan kritis melalui grafik Nyquist

Dengan memanfaatkan kriteria kestablian Routh, nilai K_{cr} juga dapat diamati dengan membuat kolom pertama pada larik Routh menjadi 0 dari persamaan karakteristik fungsi alih kalang tertutup berikut

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K_p}{s^3 + 6s^2 + 5s + K_p}$$

Larik Routh

$$\begin{array}{ccc} s^3 & 1 & 5 \\ s^2 & 6 & K_p \\ s^1 & \dfrac{30 - K_p}{6} & \\ s^0 & K_p & \end{array}$$

$$\frac{30 - K_p}{6} = 0 \Rightarrow K_{cr} = K_p = 30$$

Nilai periode diperoleh dengan persamaan karakteristik

$$s^3 + 6s^2 + 5s + 30 = 0$$

$$(j\omega)^3 + 6(j\omega)^2 + 5j\omega + 30 = 0$$

$$6(5 - \omega^2) + j\omega(5 - \omega^2) = 0$$

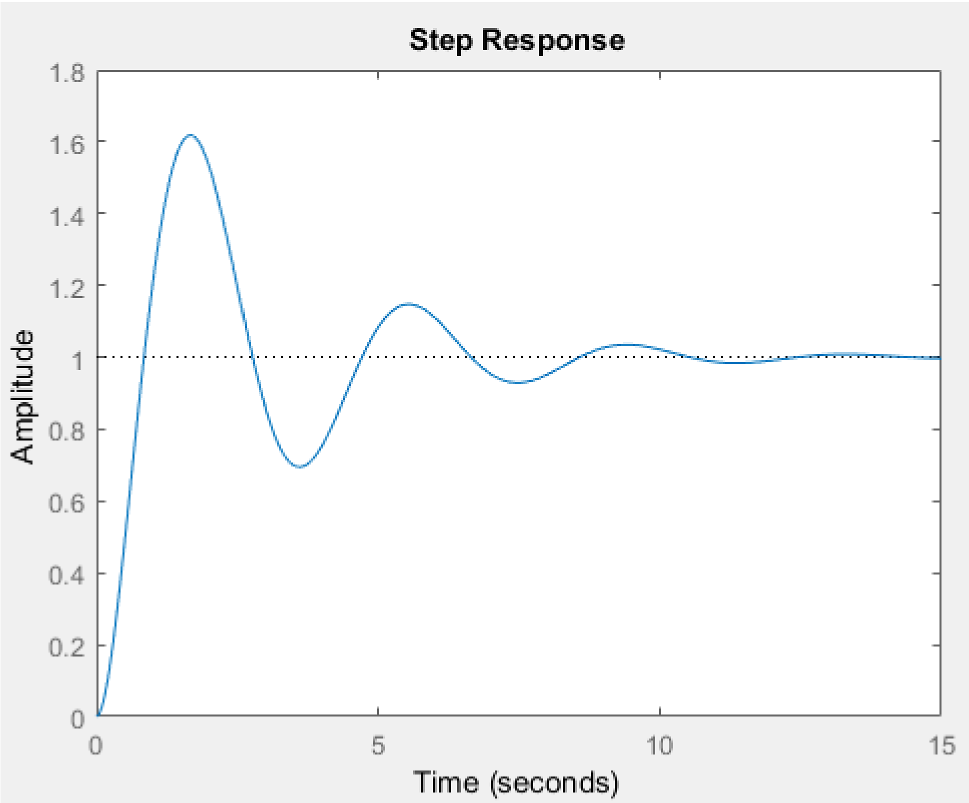
Persamaan tersebut akan menghasilkan

$$5 - \omega^2 = 0 \Longrightarrow \omega = \sqrt{5}$$

$$P_{cr} = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{5}} = 2{,}8099$$

Dari pengamatan nilai penguatan kritis, koefisien PID dapat ditentukan sesuai tabel PID. Untuk kendali PID, tanggap fungsi alih ditunjukkan pada Gambar 8.7.

```
s = tf('s')
Kp = 0.6*Kcr
Ti = 0.5*Pcr
Td = 0.125*Pcr
Gc = Kp*(1+1/(Ti*s)+Td*s)
G_cl = feedback(Gc*G,1)
```



Gambar 8.7 Tanggapan sistem kalang tertutup dengan kendali PID

8.3 Eksperimen

1. Suatu sistem memiliki fungsi alih berikut

$$G_{plant}(s) = \frac{s+20}{(s-1)(s+10)^2}$$

   a. Amati kestabilan kritis dari sistem tersebut melalui grafik Nyquist
   b. Tentukan periode dari kestabilan kritis sistem tersebut
   c. Rancang sistem kendali PD dan amati tanggapannya dengan metode kedua
   d. Rancang sistem kendali PI dan amati tanggapannya dengan metode kedua
   e. Rancang sistem kendali PID dan amati tanggapannya dengan metode kedua
   f. Rancang simulasi sistem tersebut beserta kendalinya dalam Simulink

g. Amati karakteristik tanggapan dari masing-masing sistem dengan kendali yang berbeda tersebut

2. Suatu sistem memiliki fungsi alih berikut

$$G_{plant}(s) = \frac{18(s+20)}{(s-3)(s+6)}$$

   a. Amati kestabilan kritis dari sistem tersebut melalui grafik Nyquist
   b. Tentukan periode dari kestabilan kritis sistem tersebut
   c. Rancang sistem kendali PD dan amati tanggapannya dengan metode kedua
   d. Rancang sistem kendali PI dan amati tanggapannya dengan metode kedua
   e. Rancang sistem kendali PID dan amati tanggapannya dengan metode kedua
   f. Rancang simulasi sistem tersebut beserta kendalinya dalam Simulink
   g. Amati karakteristik tanggapan dari masing-masing sistem dengan kendali yang berbeda tersebut