

## KONTROLER PID KAWASAN FREKUENSI

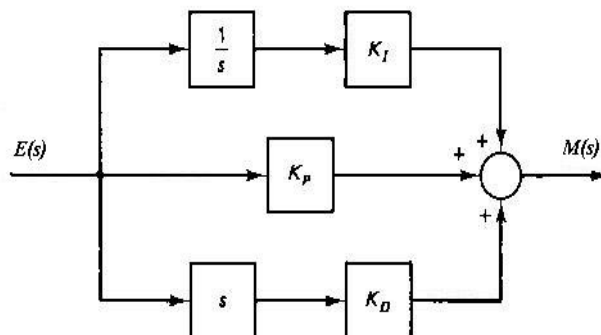
Diagram balok kontroler PID (*Proporsional Derivative plus integral*) diperlihatkan lagi dalam gambar 1. Persamaan kontroler diberikan oleh

$$m(t) = K_p e(t) + K_I \int_0^t e(\tau) d\tau + K_D \frac{de(t)}{dt}$$

Dengan alih ragam Laplace dapat diperoleh fungsi alih sistem kontroler PID sebagai

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_I}{s} + K_D s$$

Ketiga parameter dari kontroler ini ditentukan oleh proses desain : *penguatan proporsional*  $K_p$ , *penguat integral*  $K_I$ , dan *penguat derivatif*  $K_D$ .



Gambar 1 Kontroler PID

Kontroler PID berorde dua, karena memiliki dua zero. Prosedur desain dikembangkan atas pertimbangan kontroler orde rendah, dengan salah satu penguatan tertentu dibuat bernilai nol.

### **Kontroler P** (*Proporsional*)

Fungsi alih kontroler P ini adalah

$$G_c(s) = K_p$$

dan kontroler ini berupa *penguatan murni*. Penentuan kontroler P ini telah dibicarakan pada bagian terdahulu saat pembahasan desain penguatan dalam kawasan frekuensi.

### **Kontroler PI (Proporsional Integral)**

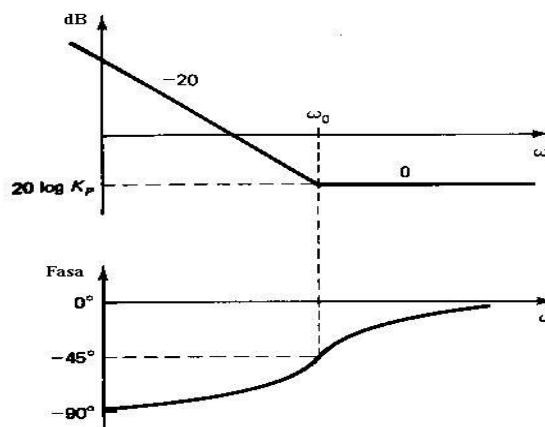
Fungsi alih kontroler PI adalah

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

Kontroler PI ini memiliki satu *pole* di titik nol dan sebuah *zero* yang berada di sumbu nyata negatif. Jika ditulis dalam fungsi alih berikut

$$G_c(s) = \frac{K_I(1 + s/\omega_0)}{s}$$

maka terlihat bahwa *zero* kontroler terletak pada  $s = -\omega_0 = -K_I/K_p$ . Diagram Bode kontroler PI diperlihatkan dalam gambar 2, dan kontroler ini terlihat seperti kontroler tertinggal-fasa.



Gambar 2 Diagram Bode kontroler PI

Prosedur perancangan *kontroler PI* sebagai berikut :

1. Mengatur penguat DC dari  $G_P(s)H(s)$  untuk memenuhi spesifikasi frekuensi-rendah
2. Menentukan frekuensi  $\omega_1$  yang mana sudut  $G_P(j\omega_1)H(j\omega_1)$  sama dengan  $(-180^\circ + \phi_{PM} + 5^\circ)$ .
3. Penguatan  $K_P$  ditentukan sebagai berikut

$$K_P = \frac{1}{|G_P(j\omega_1)H(j\omega_1)|}$$

4. Magnituda zero adalah

$$\omega_0 = \frac{K_I}{K_P} = 0,1\omega_1$$

5. Fungsi alih kontroler kemudian ditentukan sebagai berikut

$$G_c(s) = K_c (K_P + K_I / s)$$

dengan  $K_c$  adalah faktor yang mana penguat DC dari  $G_P(s)H(s)$  diatur pada langkah 1.

### **Contoh 1 :**

Sistem dengan fungsi alih lup terbuka :

$$G_P(s)H(s) = \frac{4}{s(s+1)(s+2)}$$

Tanggapan frekuensi dari fungsi alih diberikan seperti terlihat dalam tabel 1. Sebagaimana contoh pada bab terdahulu, batas fasa ditetapkan sebesar  $50^\circ$ . Maka frekuensi  $\omega_1$  adalah frekuensi pada saat sudut fungsi alih terbuka sebesar  $(-180^\circ + 50^\circ + 5^\circ) = -125^\circ$ . Dari tabel 1,  $\omega_1 = 0,425$  dan magnituda fungsi alih terbukanya sebesar  $4,2364$ . Dari langkah 3,  $K_P = 1/4,2364 = 0,2361$

Dari langkah 4,  $\omega_0 = 0,1 \omega_1 = 0,0425$ , dan

$$K_I = K_p \omega_0 = (0,2361)(0,425) = 0,0100$$

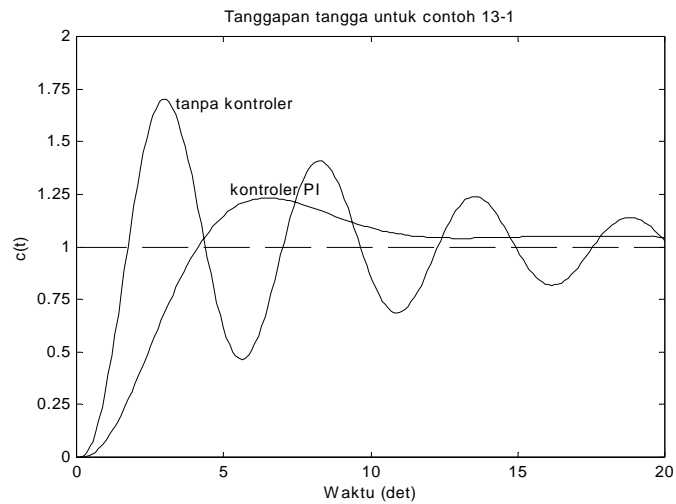
Jadi fungsi alih kontroler adalah

$$G_c(s) = 0,2361 + \frac{0,01}{s}$$

Sistem kontrol terkompensasi memiliki tanggapan tangga satuan seperti diperlihatkan gambar 3.

**Tabel 1** : Tanggapan frekuensi contoh 1

$\omega$	$ G(j\omega)H(j\omega) $	dB	Fasa ( $^\circ$ )
0,01	199,9875	46,0201	-90,8594
0,02	99,9750	39,9978	-91,7187
0,03	66,6292	36,4733	-92,5777
0,04	49,9501	33,9707	-93,4364
0,05	39,9376	32,0276	-94,2945
0,06	33,2585	30,4381	-95,1520
0,07	28,4842	29,0921	-96,0087
0,08	24,9005	27,9242	-96,8645
0,09	22,1104	26,8919	-97,7193
0,10	19,8759	25,9665	-98,5730
0,20	9,7571	19,7865	-107,0205
0,30	6,3149	16,0073	-115,2300
0,40	4,5522	13,1645	-123,1113
0,425	4,2364	12,5399	-125,0224
0,50	3,4709	10,8088	-130,6013
0,60	2,7378	8,7479	-137,6630
0,70	2,2093	6,8849	-144,2821
0,712	2,1557	6,6718	-145,0466
0,80	1,8125	5,1658	-150,4612
0,90	1,5063	3,5581	-156,2150
1	1,2649	2,0412	-161,5651
1,142	1,0019	0,0166	-168,5191
1,7	0,4545	-6,8495	-189,8990
2	0,3162	-10,000	-198,4349
3	0,1169	-18,6407	-217,8750
4	0,0542	-25,3148	-229,3987
5	0,0291	-30,7119	-236,8887



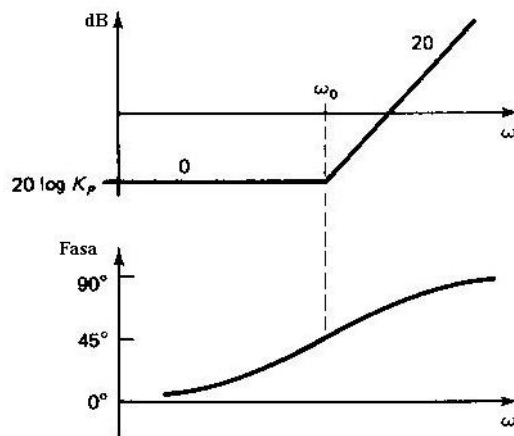
Gambar 3 Tanggapan tangga contoh 1

**Kontroler PD**

Fungsi alih kontroler PD (*Proporsional Derivative*) ditulis

$$G_c(s) = K_P + K_D s = K_P \left(1 + \frac{s}{\omega_0}\right) \tag{10-4}$$

dengan  $\omega_0 = K_P/K_D$ . Diagram Bode kontroler PD diperlihatkan dalam gambar 4. Jadi kontroler PD termasuk *kompensator fasa-mendahului* dan memperbaiki tanggapan peralihan sistem.



Gambar 4 Diagram Bode kontroler PD

Karena kontroler PD adalah kompensator mendahului-fasa, maka desain kontroler ini menggunakan coba-coba (*trial and error*).