

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Motor Dc

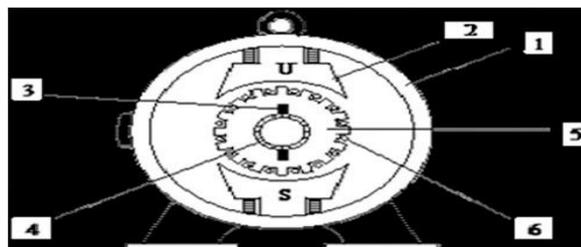
2.1.1 Pengertian Motor DC

Motor DC merupakan sebuah motor listrik mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Kebanyakan motor listrik beroperasi melalui interaksi medan magnet dan konduktor pembawa arus untuk menghasilkan kekuatan, meskipun motor elektrostatis menggunakan gaya elektrostatis. Proses sebaliknya, menghasilkan energi listrik dari energi mekanik, yang dilakukan oleh generator seperti alternator, atau dinamo. Banyak jenis motor listrik dapat dijalankan sebagai generator, dan sebaliknya. Motor listrik dan generator yang sering disebut sebagai mesin-mesin listrik.

Motor listrik DC (arus searah) merupakan salah satu dari motor DC. Mesin arus searah dapat berupa generator DC atau motor DC. Generator DC alat yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik DC. Motor DC alat yang mengubah energi listrik DC menjadi energi mekanik putaran. Sebuah motor DC dapat difungsikan sebagai generator atau sebaliknya generator DC dapat difungsikan sebagai motor DC.

Pada motor DC kumparan medan disebut stator (bagian yang tidak berputar) dan kumparan jangkar disebut rotor (bagian yang berputar). Jika terjadi putaran pada kumparan jangkar dalam pada medan magnet, maka akan timbul tegangan yang berubah-ubah arah pada setiap setengah putaran, sehingga merupakan tegangan bolak-balik.

2.1.2 Bagian-bagian yang penting dari motor DC



Gambar 2.1 bagian-bagian motor DC

Sumber: Danang Roshid Ridlo, 2012

1. Badan Mesin.

Badan mesin ini berfungsi sebagai tempat mengalirnya fluks magnet yang dihasilkan kutub magnet, sehingga harus terbuat dari bahan *ferromagnetic*. Fungsi lainnya adalah untuk meletakkan alat-alat tertentu dan mengelilingi bagian-bagian dari mesin, sehingga harus terbuat dari bahan yang benar-benar kuat, seperti dari besi tuang dan plat campuran baja.

2. Inti kutub magnet dan belitan penguat magnet

Inti kutub magnet dan belitan penguat magnet ini berfungsi untuk mengalirkan arus listrik agar dapat terjadi proses elektromagnetik. Adapun aliran fluks magnet dari kutub utara melalui celah udara yang melewati badan mesin.

3. Sikat-sikat

Sikat - sikat ini berfungsi sebagai jembatan bagi aliran arus jangkar dengan bebas, dan juga memegang peranan penting untuk terjadinya proses komutasi.

4. Komutator

Komutator ini berfungsi sebagai penyearah mekanik yang akan dipakai bersama-sama dengan sikat. Sikat-sikat ditempatkan sedemikian rupa sehingga komutasi terjadi pada saat sisi kumparan berbeda.

5. Jangkar

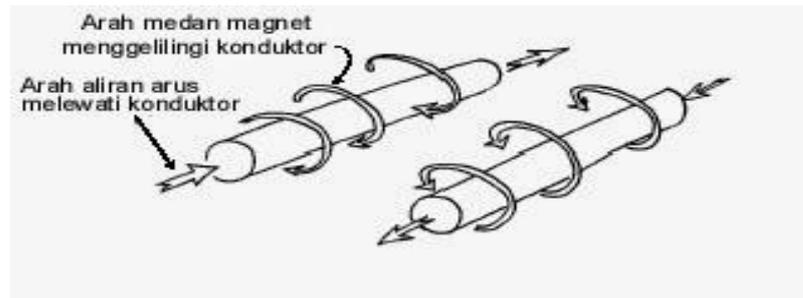
Jangkar dibuat dari bahan *ferromagnetic* dengan maksud agar kumparan jangkar terletak dalam daerah yang induksi magnetiknya besar, agar tegangan induksi yang dihasilkan dapat bertambah besar.

6. Belitan jangkar

Belitan jangkar merupakan bagian yang terpenting pada mesin arus searah, berfungsi untuk tempat timbulnya tenaga putar motor.

2.1.3 Prinsip Kerja Motor DC

Prinsip kerja pada Motor DC adalah jika arus lewat pada suatu konduktor, timbul medan magnet di sekitar konduktor. Medan magnet hanya terjadi di sekitar sebuah konduktor jika ada arus mengalir pada konduktor tersebut. Arah medan magnet ditentukan oleh arah aliran arus pada konduktor. Dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



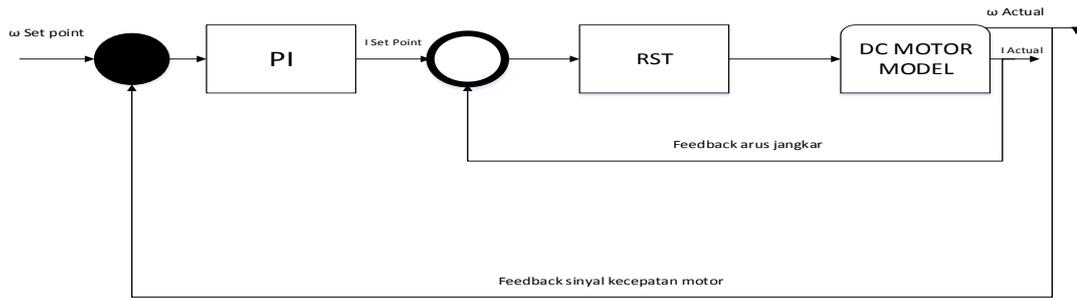
Gambar 2.2 Prinsip kerja motor DC

Sumber: Danang Roshid Ridlo,2012

Pada motor DC, daerah kumparan medan yang dialiri arus listrik akan menghasilkan medan magnet yang melingkupi kumparan jangkar dengan arah tertentu. Konversi dari energi listrik menjadi energi mekanik (motor) maupun sebaliknya berlangsung melalui medan magnet, dengan demikian medan magnet disini selain berfungsi sebagai tempat untuk menyimpan energi, sekaligus sebagai tempat berlangsungnya proses perubahan energi, agar proses perubahan energi mekanik dapat berlangsung secara sempurna, maka tegangan sumber harus lebih besar dari pada tegangan gerak yang disebabkan reaksi lawan. Dengan memberi arus pada kumparan jangkar, karena arus motor berbanding lurus dengan torsi motor kemudian akan masuk ke sistem penggerak maka menimbulkan perputaran pada motor.

2.2 Kaskade Kontrol Motor DC

Kontrol kaskade adalah sistem pengendalian yang diperlukan pada suatu loop kontrol yang membutuhkan satu sistem pengontrolan yang bertingkat. Pengendalian kaskade atau bertingkat ini sering juga disebut dengan pengendalian *master* dan *slave* dimana *master* bertindak sebagai pengontrol pertama sedangkan *slave* bertindak sebagai pengendali kedua yang mendapat *signal input remote* dari *master loop*. Berikut ini adalah contoh blok diagram suatu sistem kontrol bertingkat dimana terdapat *primary control* sebagai pengontrol utama dan *secondary control* sebagai pengendali kedua, seperti pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.3 Blok Diagram cascade control motor DC

Sumber : Perancangan

Dari Gambar 2.3 terlihat bahwa ada dua jalur umpan balik pada sistem pengendalian bertingkat (*cascade control*), sehingga terbentuk dua mata rantai pengendalian (kalang). Mata rantai atau kalang bagian luar (*outer loop*) disebut *primary loop* atau *master*, dan mata rantai atau kalang bagian dalam (*inner loop*) disebut *secondary loop* atau *slave*. *Master* atau *primary loop* mengendalikan proses variabel primer (kecepatan motor dc). Sedangkan *slave* atau *secondary loop* mengendalikan proses variabel sekunder (arus jangkar). Alasan penggunaan pengendalian bertingkat (*cascade control*) dalam mengendalikan *plant* adalah sebagai berikut :

1. Respon keluaran dari *single control* tidak sesuai dengan yang diharapkan.
2. Terdapat penambahan variabel sekunder di dalam pengendalian *plant*.
3. Dengan adanya pengendali sekunder yang lebih cepat, dapat mengatasi gangguan pada kalang sekunder.

Alasan tidak digunakannya pengendalian bertingkat (*cascade control*) adalah:

1. Biaya atau rugi-rugi pengukuran variable sekunder.
2. Keruwetan pada pengendaliannya.

Berikut langkah-langkah penalaan di dalam pengendalian bertingkat (*cascade control*):

1. Meletakkan kedua kalang pada posisi manual.
2. Pengoperasian kalang harus selalu dimulai dari kalang sekunder.
3. Memilih mode manual untuk mencari parameter kontrol pada kalang sekunder, namun tidak sampai mengganggu proses variabel primer.

4. Setelah menyetting di kalang sekunder menghasilkan respon yang cukup mantap, kemudian mempersiapkan metode *tuning* untuk mencari parameter kontrol pada kalang primer.
5. Meletakkan kalang primer pada posisi *tuning* dan melakukan penalaan kalang primer.

2.3 Kontroler Proporsional Integral (PI)

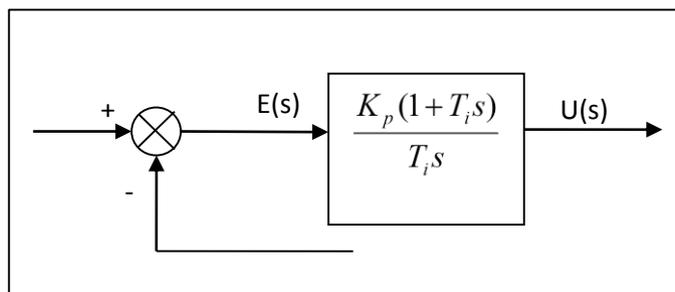
Kontroler proporsional integral (PI) memiliki kemampuan untuk mempercepat output dan mengurangi *offset*. Persamaan kontroler proporsional integral (PI) adalah

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt$$

Adapun fungsi alihnya adalah

$$\begin{aligned} \frac{U(s)}{E(s)} &= K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right) \\ &= \frac{K_p (1 + T_i s)}{T_i s} \end{aligned}$$

dengan K_p penguatan proporsional dan T_i disebut waktu integral, yang keduanya dapat ditentukan. Waktu integral mengatur aksi kontrol internal sedangkan perubahan nilai K_p berakibat pada bagian aksi kontrol proporsional maupun integral. Gambar 2.4 menunjukkan diagram blok kontroler proporsional integral (PI).

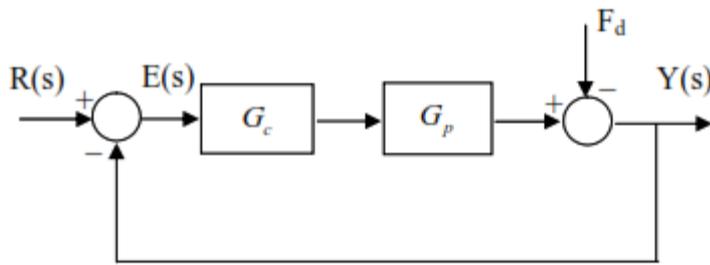


Gambar 2.4 Diagram blok kontroler proporsional integral (PI)

Sumber: Ogata, 2011.

Untuk menentukan parameter *proporsional* dan *integral* dalam skripsi ini diterapkan metode *direct synthesis*. Kontrol PI *Direct Synthesis* merupakan salah satu metode tuning PID yang dapat menjejaki/*tracking model* pada respon sistem

closed-loop yang diinginkan. Metode ini menggunakan strategi teknik penempatan *pole* (*pole placement*) dan domain frekuensi, seperti halnya spesifikasi *gain margin* dan *phase margin*. Hal ini sangat berbeda dengan metode *tuning Ziegler-Nichols* atau dengan metode tuning *Cohen-Coon* yang mendapatkan parameter-parameter PID-nya berdasarkan kurva reaksi *transient* atau osilasinya. Misalkan model blok diagram sistem kontrol *loop* tertutup, ditunjukkan dibawah ini :



Gambar 2.5 Blok Diagram Direct Synthesis

Sumber : Mohamad Imam Afandi

Dengan tidak memperhitungkan gangguan eksternal (F_d), maka dapat dijabarkan

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{G_C G_P}{1 + G_C G_P}$$

Misalkan fungsi alih model yang kita inginkan, dinyatakan dalam $G_m(s)$.

Maka persamaan kontrollernya didapatkan,

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{1}{G_P} \left[\frac{\frac{Y}{R}}{1 - \frac{Y}{R}} \right] = \frac{1}{G_P} \left[\frac{G_m}{1 - G_m} \right]$$

Dari persamaan $\frac{Y(s)}{R(s)}$, dengan menjaga persamaan kontroler dalam bentuk PI maka didapatkan tabel tuning PI *Direct Synthesis* dibawah ini:

Tabel 1.0
Parameter Tuning Direct Synthesis

No.	$G_p(s)$	$G_m(s)$	Parameter PID		
			K_p	t_i	t_d
1	k_p	$\frac{1}{\tau_m s + 1}$	-	$k_p \cdot \tau_m$	-
2	$\frac{k_p}{s}$	$\frac{1}{\tau_m s + 1}$	$\frac{1}{k_p \cdot \tau_m}$	-	-
3	$\frac{k_p}{\tau_p s + 1}$	$\frac{1}{\tau_m s + 1}$	$\frac{\tau_p}{k_p \cdot \tau_m}$	τ_p	-
4	$\frac{k_p}{s(\tau_p s + 1)}$	$\frac{1}{\tau_m s + 1}$	$\frac{1}{k_p \cdot \tau_m}$	-	τ_p
5	$\frac{k_p \cdot e^{-\theta s}}{\tau_p s + 1}$	$\frac{e^{-\theta s}}{\tau_m s + 1}$	$\frac{\tau_p}{k_p(\tau_m + \theta)}$	τ_p	-
			$\frac{\tau_p}{k_p(\tau_m + \theta)}$	τ_p	$\frac{1}{2}\theta$
6	$\frac{k_p}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}$	$\frac{1}{\tau_m s + 1}$	$\frac{\tau_1 + \tau_2}{k_p \cdot \tau_m}$	$\tau_1 + \tau_2$	$\frac{\tau_1 \tau_2}{\tau_1 + \tau_2}$

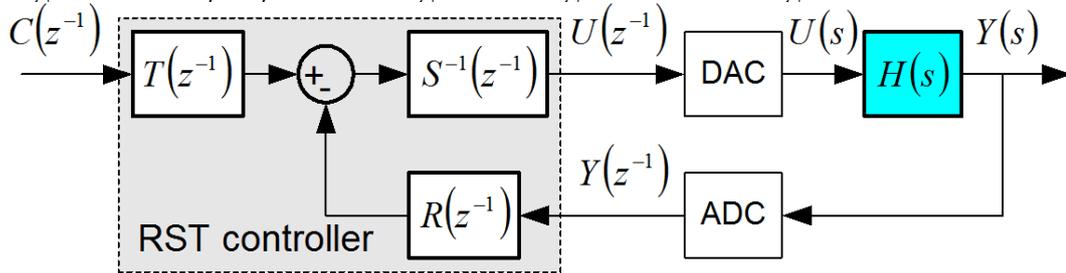
Dari parameter-parameter kontroler diatas, hanya pada nomor 5, 8 dan 9 harus memerlukan proses penyederhanaan parameter *plant* dalam menentukan persamaan kontrolernya. Sehingga untuk menjejaki/*tracking* terhadap model yang diinginkan akan terjadi sedikit penyimpangan. Hal ini disebabkan keterbatasan kontroler PID dalam menangani *pole* dan *zero* yang lebih kompleks.

2.4 RST Digital Controller

RST *controller* merupakan pengendali dapat dirancang baik dalam domain analog atau digital berdasarkan pada kebutuhan. *Reference Signal Tracking* (RST) desain *controller* berdasarkan penempatan *pole placement* di antara berbagai metode yang tersedia untuk sistem linear SISO. Pengendali RST terdiri dari tiga polinomial yaitu R, S & T yang biasanya ditentukan dengan metode *pole placement*. Kontroler RST menjadi luas dalam aplikasi teknik elektro, untuk kontrol canggih seperti di *shunt* dan seri kompensator aktif yang digunakan dalam peningkatan kualitas daya. *controller* RST menyediakan baik *feed-forward* dan *feedback*. Untuk pengendali tunggal seperti PID, IMC sangat efektif dalam pelacakan *set point* tetapi lemah dalam penolakan gangguan, artinya hanya mampu dalam penolakan gangguan yang memiliki stabilitas margin yang relatif kecil.

PID dan IMC kontroler pada dasarnya kontrol umpan balik dan memodifikasi sinyal *error* atau sinyal masukan. Salah satu kelemahan utama dari

pengendali umpan balik, itu tidak akan memproses sinyal *input*, maka tidak bisa menolak gangguan dari sinyal input. Situasi di *feedback* kontroler tidak dapat digunakan dan *feedforward* sangat memungkinkan untuk digunakan. kontroler ini



Gambar 2.6 Desain RST Digital controller

Sumber: Monzher al shaka

2.5 Waktu Pencuplikan

Waktu pencuplikan adalah pengubahan waktu sinyal kontinyu menjadi waktu sinyal diskrit dengan mengambil cuplikan atau potongan sinyal. Dalam merancang pengendali digital sangat diperlukan pemilihan waktu pencuplikan yang tepat yang dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut sebagai berikut:

- a. Orde Satu

$$T = \frac{4\pi^2}{8-25} \times t, \text{ dengan memilih angka dengan rentan 8 sampai 25.}$$

Dimana t didapatkan dengan menyederhanakan fungsi alih menjadi:

$$H(s) = \frac{K}{tS+1}$$

- b. Orde Dua

$$TS = \frac{2\pi}{8-25(\omega_n)}, \text{ dengan } \omega_n \text{ adalah frekuensi natural motor.}$$