

Analisis Pengaturan Kecepatan Motor DC Menggunakan Kontrol PID (*Proportional Integral Derivative*)

Rosalina^{*}, Ibnu Qosim, Mohammad Mujirudin

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA
Jl. Tanah Merdeka no.6 Kp.Rambutan, Pasar Rebo, Jakarta Timur
Telp.021-87782739, Fax. 021-87782739, Mobile +6281283069764
E-mail : rosalina.husnul@yahoo.com, mujirudin@uhamka.ac.id

^{*} Penulis Koresponden

Abstrak – Motor DC merupakan motor yang saat ini banyak digunakan untuk proses produksi dalam industri, karena mudah untuk diaplikasikan. Motor DC sering digunakan pada pemakaian yang memerlukan rentang kecepatan yang lebar. Selain itu, motor DC juga mempunyai kekurangan yaitu dalam hal pengaturan kecepatan dan besarnya saat putaran awal. Oleh karena itu untuk menekan tingginya overshoot pada putaran awal motor perlu dilakukan pengaturan sehingga kecepatan motor sesuai dengan set poin yang diinginkan dengan risetime yang tinggi dan overshoot yang lebih kecil. PID (*Proportional Integral Derivative*) merupakan salah satu kontroler untuk mengatur kecepatan motor. Kontrol PID mempunyai kelebihan – kelebihan tertentu untuk mengatur putaran motor yaitu kontrol proporsional mempunyai kelebihan risetime yang cepat, kontrol integral mempunyai kelebihan untuk memperkecil error, dan kontrol derivative mempunyai kelebihan untuk meredam overshoot / undershoot. Untuk itu agar dapat menghasilkan output dengan risetime yang tinggi dan error yang kecil kita dapat menggabungkan ketiga kontrol tersebut.

Kata kunci: motor DC, Proporsional, Integral, Derivative

1 Pendahuluan

Motor DC merupakan motor yang mudah untuk diaplikasikan. Karena kemudahannya, pada saat ini motor DC sering digunakan untuk macam – macam keperluan, seperti peralatan industri maupun rumah tangga. Namun dalam pengaplikasiannya kecepatan motor DC sering terjadi penurunan akibat dari beban yang ada, sehingga kecepatannya menjadi tidak konstan.

Dalam pemakaian motor, kadang – kadang diinginkan putaran yang dapat diubah – ubah sesuai dengan putaran beban dengan pengaturan perpindahan putaran yang halus. Hal tersebut diperlukan dengan tujuan antara lain untuk mengurangi besarnya arus *start*, meredam getaran dan hentakan mekanis saat *starting*. Oleh karena itu banyak dilakukan usaha bagaimana cara mengatur putaran motor tersebut. Salah satunya adalah dengan kontrol PID. Kontrol PID merupakan teknik kontrol yang sering digunakan dalam rekayasa kontrol. Kendali PID merupakan kombinasi dari tiga macam kendali yaitu *Proportional*, *Integral*, dan *Derivative*.

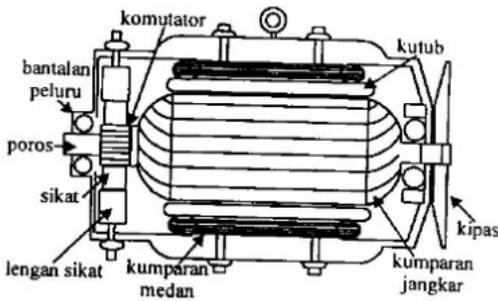
Banyak aplikasi yang membutuhkan jangkauan kecepatan yang lebar, dan kestabilan putaran terhadap nilai acuan (*set point*) yang diinginkan, sehingga diperlukan sebuah data tentang perbandingan nilai respon sistem kecepatan motor yang menggunakan kontrol PID dan tanpa menggunakan kontrol PID atau *open loop* sehingga penggunaan motor bisa lebih efisien.

2 Landasan Teori

2.1 Motor DC

Motor arus searah (motor DC) adalah mesin yang mengubah energi listrik arus searah menjadi energi mekanis. Sebuah motor listrik berfungsi untuk mengubah daya listrik menjadi daya mekanik. Pada prinsip pengoperasiannya, motor arus searah sangat identik dengan generator arus searah. Kenyataannya mesin yang bekerja sebagai generator arus searah akan dapat bekerja sebagai motor arus searah. Oleh sebab itu, sebuah mesin arus searah dapat digunakan baik sebagai motor arus searah maupun generator arus searah.

2.1.1 Konstruksi Motor DC

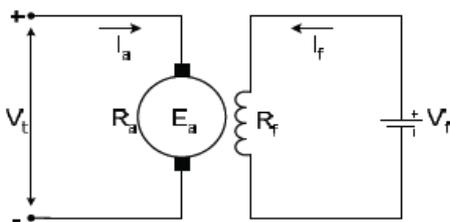


Gambar 1. Konstruksi motor DC

Konstruksi motor arus searah terdiri dari beberapa komponen:

1. Badan Motor yaitu tempat meletakkan sebagian besar komponen mesin dan melindungi bagian mesin
2. Kutub Fungsinya untuk menahan kumparan medan di tempatnya, kemudian menghasilkan distribusi fluks magnet yang lebih merata diseluruh jangkar dengan menggunakan permukaan yang melengkung Inti kutub dari lamisani plat-plat baja yang terisolasi satu sama lain, Sepatu kutub dilaminasi dan dibalut ke ini kutub.
3. Inti jangkar yang terbuat dari bahan ferromagnetik, dengan maksud agar komponen-komponen (lilitan jangkar) terletak dalam daerah yang induksi magnetnya besar, supaya ggl induksi dapat bertambah besar.
4. Kumparan yang merupakan tempat dibangkitkannya ggl induksi.
5. Kumparan medan adalah susunan konduktor yang dibelitkan pada inti kutub. Rangkaian medan yang berfungsi untuk menghasilkan fluksi utama dibentuk dari kumparan pada setiap kutub.
6. Komutator terdiri dari sejumlah segmen tembaga yang berbentuk lempengan-lempengan yang dirakit ke dalam silinder yang terpasang pada poros. Dimana tiap-tiap lempengan atau segmen-segmen komutator terisolasi dengan baik antara satu sama lainnya.
7. Sikat-sikat ini berfungsi sebagai jembatan bagi aliran arus ke kumparan jangkar. Dimana permukaan sikat ditekan ke permukaan segmen komutator untuk menyalurkan arus listrik.
8. Fungsi dari celah udara adalah sebagai tempat mengalirnya fluksi yang dihasilkan oleh kutub-kutub medan.

2.1.2 Motor Arus Searah Penguatan Terpisah



Gambar 2. Rangkaian ekuivalen Motor arus searah penguatan bebas

Persamaan umum motor arus searah penguatan terpisah

$$V_t = E_a + I_a R_a \tag{1}$$

$$V_f = I_f + R_f \tag{2}$$

Dimana:

V_t = teg. terminal jangkar motor arus searah (v)

I_a = arus jangkar (Amp)

R_a = tahanan jangkar (ohm)

E_a = gaya gerak listrik motor arus searah (volt)

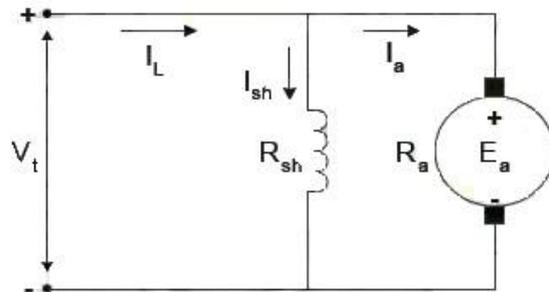
V_f = teg. terminal medan penguatan bebas (volt)

I_f = arus medan penguatan bebas (amp)

R_f = tahanan medan penguatan bebas (ohm)

Umumnya jatuh tegangan pada sikat relatif kecil sehingga besarnya dapat diabaikan.

2.1.3 Motor Arus Searah Penguatan Sendiri Shunt



Gambar 3 Motor arus searah penguatan shunt

Persamaan umum motor arus searah penguatan seri

$$V_t = E_a + I_a R_a \tag{3}$$

$$V_{sh} = V_t = I_{sh} \cdot R_{sh} \tag{4}$$

$$I_L = I_a + I_{sh} \tag{5}$$

Dimana:

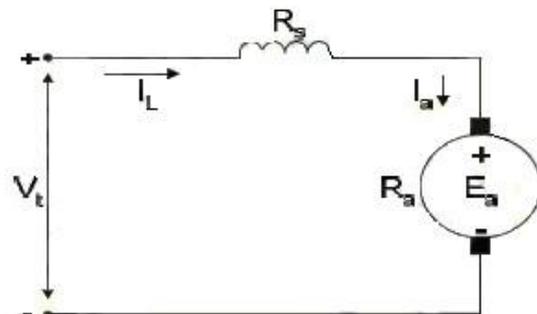
I_{sh} = arus kumparan medan shunt (ohm)

V_{sh} = teg. terminal medan motor arus searah (v)

R_{sh} = tahanan medan shunt (ohm)

I_L = arus beban (ampere)

Seri



Gambar 4 Motor arus searah penguatan seri

Persamaan umum motor arus searah penguatan seri.

$$V_t = E_a + I_a (R_a + R_s) \tag{6}$$

$$I_a = \frac{V_t - E_a}{R_a + R_s} \tag{7}$$

$$I_a = I_L = I_f \tag{8}$$

dimana K_p adalah kepekaan *proportional* atau penguatan.

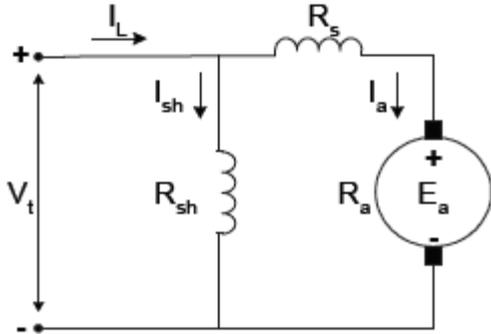
Dimana:

I_a = arus kumparan medan seri (ampere)

I_L = arus medan seri (ampere)

Kompon

Pada motor kompon mempunyai dua buah kumparan medan dihubungkan seri dan paralel dengan anker. Bila motor seri diberi penguat shunt tambahan seperti gambar dibawah disebut motor kompon panjang.



Gambar 5 Motor Arus Searah Penguatan Kompon Panjang

Persamaan umum motor arus searah penguatan kompon panjang

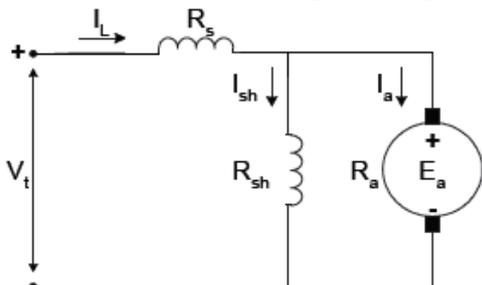
$$I_L = I_a + I_{sh} \tag{9}$$

$$V_t = E_a + I_a(R_a + R_s) \tag{10}$$

$$P_{in} = V_t \cdot I_L \tag{11}$$

$$V_t = V_{sh} \tag{12}$$

Bila motor shunt diberi tambahan penguat seri seperti gambar dibawah disebut motor kompon pendek



Gambar 6. Motor Arus Searah Penguatan Kompon Pendek

Persamaan umum motor arus searah penguatan kompon pendek

$$I_L = I_a + I_{sh} \tag{13}$$

$$V_t = E_a + I_a \cdot R_a + I_L \cdot R_s \tag{14}$$

$$P_{in} = V_t \cdot I_L \tag{15}$$

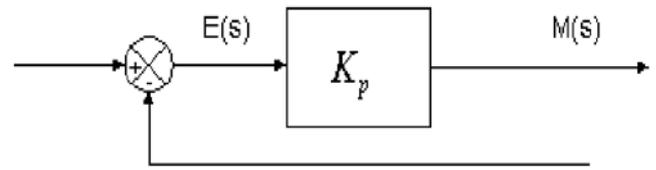
2.2 Kontrol Proportional

Untuk kontroler dengan kontrol *proportional*, hubungan antara keluaran kontroler $m(t)$ dan sinyal kesalahan penggerak $e(t)$ adalah:

$$m(t) = K_p e(t) \tag{16}$$

atau dalam besaran transformasi laplace,

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \tag{17}$$



Gambar 7 Diagram blok kontroler proporsional

2.3 Kontrol Integral

Pada kontroler dengan kontrol *integral*, harga keluaran kontroler $m(t)$ diubah dengan laju yang sebanding dengan sinyal kesalahan penggerak $e(t)$. Jadi,

$$\frac{dm(t)}{dt} = K_i e(t) \tag{18}$$

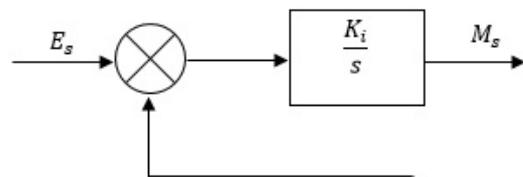
atau,

$$m(t) = K_i \int_0^t e(t) dt \tag{19}$$

dimana K_i adalah konstanta yang dapat diatur. Fungsi alih kontroler *integral* adalah:

$$\frac{M(s)}{E(s)} = \frac{K_i}{s} \tag{20}$$

Jika harga $e(t)$ diduakalikan, maka harga $m(t)$ berubah dengan laju perubahan menjadi duakali semula. Jika kesalahan penggerak nol, maka harga $m(t)$ tetap stasioner.



Gambar 8 Diagram blok kontroler integral

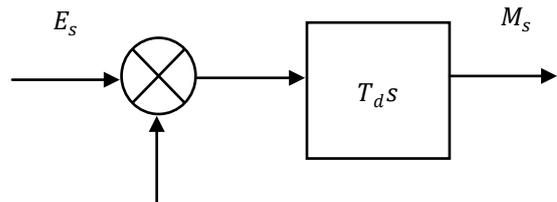
2.4 Kontrol Derivative

Untuk kontroler dengan kontrol *Derivative*, hubungan antara keluaran kontroler $m(t)$ dan sinyal kesalahan penggerak $e(t)$ adalah:

$$m(t) = K_d \frac{de}{dt} \tag{21}$$

atau dalam besaran transformansi laplace,

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_d s \tag{22}$$



Gambar 9. Diagram Blok Kontrol Derivative

3 Perancangan Sistem Kendali

3.1 Open Loop

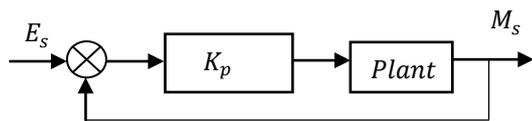
Fungsi alih dari *open loop* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \frac{M_s}{E_s} &= \frac{K}{JLs^2 + (LB + JR)s + (RB + K^2)} \quad (23) \\ &= \frac{0.01}{(0.01 \times 0.5)s^2 + [(0.5 \times 0.10) + (0.01 \times 1)]s + [(1 \times 0.10) + (0.01)^2]} \\ &= \frac{0.01}{(0.005)s^2 + (0.060)s + 0.100} \end{aligned}$$

sehingga akar persamaanya adalah:
 $(0.005)s^2 + (0.060)s + 0.100$

3.2 Kendali Proporsional, Integral

Pada pengendalian ini digunakan pengendali Proporsional dan Integral. Pengendali proporsional yang bersifat sebagai gain untuk mencapai *setpoint*, kendali Integral yang berfungsi untuk mempercepat respon. Diagram blok kendali *Proporsional, Integral* (PI) adalah sebagai berikut



Fungsi alih kontrol *Proportional, Integral* (PI)

$$Plant = \frac{0.01}{(0.005)s^2 + (0.060)s + 0.100}$$

$$\begin{aligned} G(s) &= \left(K_p + \frac{K_i}{s} \right) \left(\frac{0.01}{(0.005)s^2 + (0.060)s + 0.100} \right) \\ &= \frac{0.01(K_p s + K_i)}{(0.005)s^2 + (0.060)s + 0.100} \end{aligned}$$

$$Fungsi\ Alih = \frac{G(s)}{1 + G(s)}$$

$$= \frac{0.01(K_p s + K_i)}{(0.005)s^2 + (0.060)s + 0.100} \cdot \frac{1}{1 + \frac{0.01(K_p s + K_i)}{(0.005)s^2 + (0.060)s + 0.100}}$$

$$= \frac{0.01(K_p s + K_i)}{(0.005)s^2 + (0.060 + 0.01K_p)s + (0.100 + 0.01K_i)}$$

$$= \frac{0.01K_p s + 0.01K_i}{(0.005)s^2 + (0.060 + 0.01K_p)s + (0.100 + 0.01K_i)}$$

Masukan nilai K_p , K_i dan K_d sesuai dengan data berikut:

$$K_p = 132$$

$$K_i = 120$$

Sehingga didapat fungsi alih

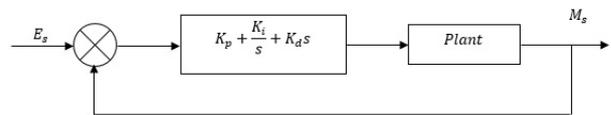
$$= \frac{1.32s + 1.2}{(0.005)s^2 + (1.38)s + 1.3}$$

Akar persamaanya:

$$(0.005)s^2 + (1.38)s + 1.3$$

3.3 Kendali Proporsional, Integral, Derivative (PID)

Pada pengendalian ini digunakan pengendali *Proporsional, Integral*, dan *derivative*. Pengendali proporsional yang bersifat sebagai gain untuk mencapai *setpoint*, kendali *Integral* yang berfungsi untuk mempercepat respon, dan *derivatif* yang berfungsi untuk menghilangkan *osilasi* pada respon. Diagram blok pengendali PID adalah sebagai berikut:



Fungsi alih kontrol *Proportional, Integral, Derivative* (PID)

$$Plant = \frac{0.01}{(0.005)s^2 + (0.060)s + 0.100}$$

$$= \left(K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \right) \left(\frac{0.01}{(0.005)s^2 + (0.060)s + 0.100} \right)$$

$$= \frac{0.01K_d s^2 + 0.01K_p s + 0.01K_i}{(0.005)s^2 + (0.060)s + 0.100}$$

$$Fungsi\ Alih = \frac{G(s)}{1 + G(s)}$$

$$= \frac{0.01K_d s^2 + 0.01K_p s + 0.01K_i}{(0.005)s^2 + (0.060)s + 0.100} \cdot \frac{1}{1 + \frac{0.01K_d s^2 + 0.01K_p s + 0.01K_i}{(0.005)s^2 + (0.060)s + 0.100}}$$

$$= \frac{0.01K_d s^2 + 0.01K_p s + 0.01K_i}{(0.005)s^3 + (0.060 + 0.01K_d)s^2 + (0.100 + 0.01K_p)s + 0.01K_i}$$

Masukan nilai K_p , K_i dan K_d sesuai dengan data berikut:

$$K_p = 132$$

$$K_i = 120$$

$$K_d = 2.6$$

Sehingga didapat fungsi alih

$$= \frac{(0.026)s^2 + (1.32)s + 1.2}{(0.005)s^3 + (0.086)s^2 + (1.42)s + 1.2}$$

Akar persamaanya:

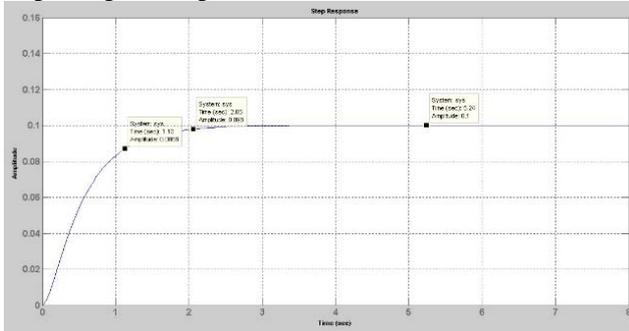
$$(0.005)s^3 + (0.086)s^2 + (1.42)s + 1.2$$

4. Simulasi Matlab

4.2 Analisis dengan Kendali PI

4.1 Uji Open Loop

Respon Open Loop



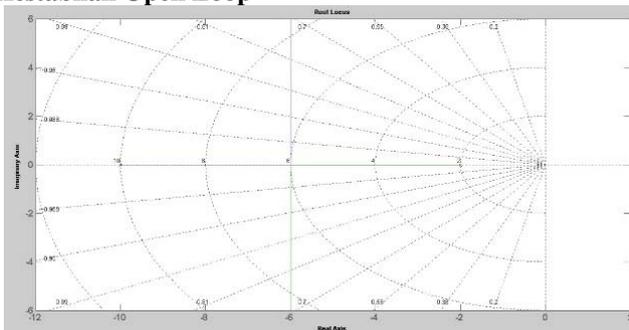
Gambar 10 Respon keluaran *open loop*

Tabel 1. Nilai respon keluaran *open loop*

Parameter	Nilai
Rise Time (<i>tr</i>)	1.1375 detik
Settling Time (<i>ts</i>)	2.0676 detik
Overshoot (<i>mp</i>)	0 %
Peak Time (<i>tp</i>)	5.2453 detik
Peak	0.1

Respon step *open loop* motor arus searah menunjukkan bahwa performansi motor arus searah masih kurang bagus karena masih membutuhkan *settling time* yang sangat lama yaitu sebesar 2.0676 detik. Agar sistem kecepatan motor arus searah mempunyai performansi yang baik, maka *rise time*, *settling time*, dan *peak time* harus mempunyai durasi yang lebih cepat.

Kestabilan Open Loop

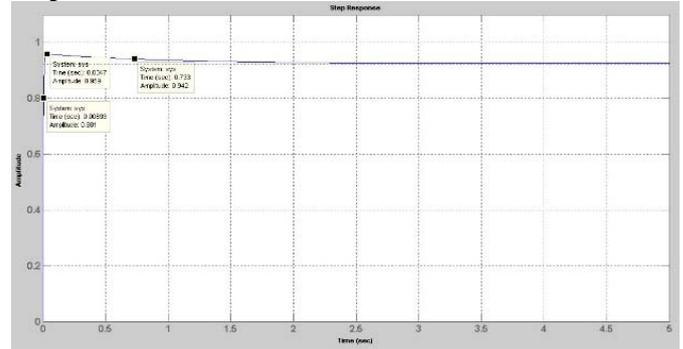


Gambar 11 Diagram kestabilan *rootlocus open loop*

$$K = -3 - 10$$

Berdasarkan hasil pengujian terlihat bahwa sistem *open loop* bersifat stabil karena bagian nyata dari akar – akar persamaan semua bernilai negatif.

Respon kendali PI



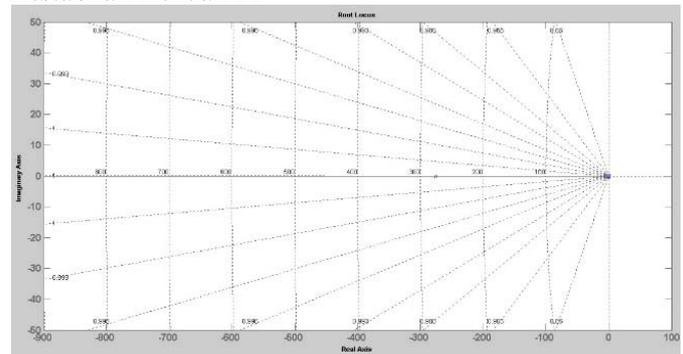
Gambar 12 Respon keluaran kendali PI

Tabel 2 Nilai Respon keluaran kendali PI

Parameter	Nilai
Rise Time (<i>tr</i>)	0.0069 detik
Settling Time (<i>ts</i>)	0.7314 detik
Overshoot (<i>mp</i>)	0 %
Peak Time (<i>tp</i>)	0.0347 detik
Peak	0.9587

Respon keluaran dari kendali *Proportional Integral* (PI) menunjukkan bahwa performansi motor arus searah sudah cukup baik karena membutuhkan *settling time* sebesar 0.7314 detik. Namun untuk mencapai nilai kestabilan masih membutuhkan waktu yang cukup lama yaitu 2.3 detik

Kestabilan Kendali PI



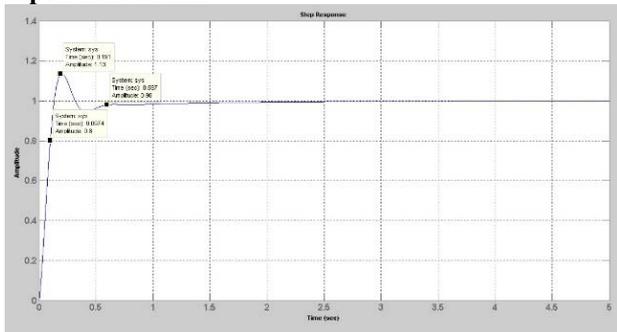
Gambar 13 Diagram kestabilan *root locus* kendali PI

$$K = -275.0547 - 0.9453$$

Berdasarkan hasil pengujian terlihat bahwa sistem kendali *Proportional Integral* bersifat stabil karena bagian nyata dari akar – akar persamaan semuanya bernilai negatif.

4.3 Analisis dengan Kendali PID

Respon kendali PID



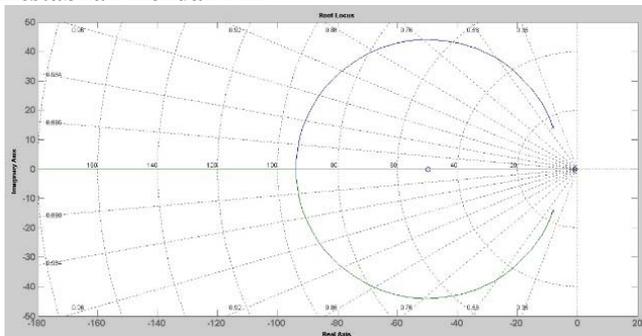
Gambar 14 Respon keluaran kendali PID

Tabel 3 Nilai respon keluaran kendali PID

Parameter	Nilai
Rise Time (<i>tr</i>)	0.0974 detik
Settling Time (<i>ts</i>)	0.5963 detik
Overshoot (<i>mp</i>)	13.5402 %
Peak Time (<i>tp</i>)	0.1914 detik
Peak	1.1359

Pada respon keluaran dari sistem dengan kendali PID seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.2 dan tabel 4.2 terlihat bahwa performansi yang dihasilkan sudah cukup baik dan respon dapat mencapai kestabilan dalam waktu 0.59 detik.

Kestabilan Kendali PID



Gambar 15 Diagram kestabilan root locus kendali PID

$$K = \begin{matrix} -8.1547 & +14.24691 \\ -8.1547 & -14.24691 \\ -0.8906 \end{matrix}$$

Berdasarkan hasil pengujian terlihat bahwa sistem kendali *Proportional Integral Derivative* bersifat stabil karena bagian nyata dari akar – akar persamaan bernilai negatif.

5. Kesimpulan

Respon keluaran Kontrol *Proportional Integral* (PI) maupun *Proportional Integral Derivative* (PID) cukup baik karena kendali PI membutuhkan *Rise Time* (*tr*) sebesar 0.0069 detik, *settling time* sebesar 0.7314 detik, dan *peak time* sebesar 0.0347 detik. Sedangkan kendali PID membutuhkan *Rise Time* 0.0974 detik, *Settling time* sebesar

0.5963, *peak time* sebesar 0.1914 detik. Namun kendali PI membutuhkan waktu stabil yang lebih lama yaitu sebesar 2.3 detik.

Pengujian menggunakan *open loop*, kendali PI maupun PID menunjukkan bahwa sistem bersifat stabil karena semua bagian nyata dari akar – akar persamaan bernilai negatif.

Kepustakaan

- [1] Y. Rijono, Dasar Teknik Tenaga Listrik, Yogyakarta: ANDI, 1997.
- [2] Zuhul dan Zhangischan, Prinsip Dasar Elektroteknik, Jakarta: PT Gramedia Pustaka Ilmu, 2004.
- [3] H. Berahim, Pengantar Teknik Tenaga Listrik, Yogyakarta: ANDI, 1991.
- [4] H. D. Laksoni, Sistem Kendali dengan PID I, Yogyakarta: Graha Ilmu, 2014.
- [5] K. Ogata, Modern Control Engineering (Part I), New Jersey: Prentice Hall, 1997.
- [6] Endra dan dkk, "Simulasi Auto Tuning PID Controller Untuk Motor DC Menggunakan Metode Multiple Integration," Jurnal Teknik Komputer, vol. XVIII, pp. 123-139, 2008.
- [7] H. Wicaksono, Catatan Kuliah "Automasi 1", Surabaya: Universitas Kristen Petra, 2009.
- [8] D. Happyanto dan M. Purnomo, Teknik Kendali Motor Induksi Tiga Fasa, Jogjakarta: Graha Ilmu, 2014.
- [9] A. Sofwan dan R. S. Baqo, "jurnal elektronika," Sistim Pengendali Kecepatan Putaran Motor AC Satu Fasa Menggunakan Mikrokontroler AT85S8252, pp. 2-4, 2014.
- [10] H. D. Laksoni, Sistem Kendali dengan PID II, Yogyakarta: TEKNOSAINS, 2016.
- [11] W. Setiawan dan P. Raharjo, Pengendali Motor DC dengan PID Controller, Yogyakarta: Inkubator Teknologi, 2014.
- [12] Waluyo dan dkk, "Analisis Penalaan Kontrol PID Pada Simulasi Kendali Kecepatan Putaran Motor DC Berbeban menggunakan Metode Heuristik," Jurnal Teknik Elektro, vol. I, pp. 79-92, 2013.