

## RESPON TRANSIEN TERAPAN METODE PID DALAM PROSES PENGISIAN MUATAN PADA RANGKAIAN RLC

**Roswitha Lilyana Moensaku, Laura A. S. Lapono, Ali Warsito**

Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Jl. Adisucipto Penfui, Kupang, Nusa Tenggara Timur, 85001, Indonesia  
Email: moensakuwitha17@gmail.com

### Abstrak

Telah dilakukan simulasi proses pengisian muatan pada rangkaian RLC. Penelitian ini merupakan studi simulasi yang bertujuan untuk mengontrol proses pengisian muatan pada rangkaian RLC sehingga proses pengisian berjalan lebih cepat dan stabil. Simulasi ini dilakukan menggunakan simulink Matlab dengan menerapkan variasi metode PID (PD, PI dan PID) dan memperhatikan variasi-variasi nilai konstanta proporsional ( $K_p$ ), konstanta integral ( $K_i$ ) dan konstanta derivative ( $K_d$ ). Hasil simulasi yang diperoleh menunjukkan bahwa kontroler dengan menggunakan variasi metode PD dan PID dapat menunjukkan kestabilan sistem yang lebih baik. Sistem dari variasi kontroler PD dan PID yang dilakukan benar-benar stabil tanpa adanya overshoot berturut-turut memiliki nilai konstanta ( $K_p=10^5$  dan  $K_d=3 \times 10^4$ ) dan ( $K_p=10^3$ ,  $K_i=10$  dan  $K_d=4 \times 10^2$ ) dapat memberikan respon sistem berturut-turut ( $RT=0,008$  s,  $ST=0,0098$  s,  $SS$  Error dan  $G(s)=1$ ) dan (PID  $RT=0,008$  s,  $ST=0,0098$  s,  $G(s)=1$ , dan  $SS$  Error=0). Hasil ini merupakan hasil dari respon sistem yang stabil dan paling baik bila dibandingkan dengan kombinasi nilai-nilai konstanta yang lain.

**Kata kunci:** RLC; PID; Matlab; Setpoint.

### Abstract

A load charging process simulation has been carried out on the RLC circuit. This research is a simulation study that aims to control the charge loading process in the RLC circuit so that the charging process runs faster and more stable. This simulation is carried out using Matlab simulink by applying variations of the PID method (PD, PI and PID) and paying attention to variations in the values of proportional constants ( $K_p$ ), integral constants ( $K_i$ ) and derivative constants ( $K_d$ ). Simulation results obtained indicate that the controller using variations of the PD and PID methods can show better system stability. The system of variations of PD and PID controllers performed completely stable without consecutive overshoots has constant values ( $K_p = 10^5$  and  $K_d = 3 \times 10^4$ ) and ( $K_p = 10^3$ ,  $K_i = 10$  and  $K_d = 4 \times 10^2$ ) can provide system responses respectively ( $RT = 0.008$  s,  $ST = 0.0098$  s,  $SS$  Error and  $G(s) = 1$ ) and (PID  $RT = 0.008$  s,  $ST = 0.0098$  s,  $G(s) = 1$ , and  $SS$  Error = 0). This result is the result of a stable system response and is best when compared with other combinations of Kostanta values.

**Keywords:** RLC; PID; Matlab; Setpoint

### PENDAHULUAN

Pada era globalisasi ini, perkembangan teknologi komputer baik *hardware* maupun *software* terus berkembang seiring dengan perkembangan teknologi elektronika yang semakin maju [1]. Sistem kontrol merupakan sebuah sistem yang terdiri atas satu atau beberapa peralatan yang berfungsi untuk mengendalikan sistem lain yang berhubungan dengan sebuah proses. Dalam suatu industri, semua variabel proses seperti daya temperature dan laju alir harus dipantau setiap saat. Bila variabel proses tersebut berjalan tidak sesuai

dengan yang diharapkan, maka sistem kontrol dapat mengendalikan proses tersebut sehingga sistem dapat berjalan kembali sesuai dengan yang diharapkan.

Dalam proses pengisian muatan rangkaian yang digunakan yaitu rangkaian RLC seri yang terdiri dari resistor, induktor dan kapasitor yang dapat dirangkai secara seri dan parallel. Apabila rangkaian RLC seri ini dihubungkan dengan sumber tegangan arus bolak balik, maka besarnya arus yang melewati setiap komponen adalah sama. Namun besarnya

tegangan pada masing-masing komponen akan berbeda.

Untuk menentukan nilai tegangan pada resistor, induktor dan kapasitor ini sering dijumpai permasalahan karena adanya beda fase pada tegangan disetiap komponen [2]. Permasalahan tersebut diketahui bahwa sistem yang ada memiliki tingkat kestabilan yang kurang baik sehingga perlu dikontrol.

Oleh karena itu dibutuhkan metode kontrol proporsional, integral, derivatif (PID) sebagai pengontrol dalam proses pengisian muatan untuk mencapai sistem yang stabil. Metode ini memungkinkan sebuah sistem dalam meminimalisir nilai kesalahan setiap waktu dengan penyetelan variabel kontrol.

Kontrol PID (Proporsional, Integral, Derivatif) merupakan sistem kontrol yang paling banyak digunakan dalam industri. Kontrol PID terdiri dari kontrol proporsional, kontrol integral dan kontrol derivatif [3].

Kontrol proporsional

Pengaruh kontrol proporsional (P) pada sistem, yaitu: menambah maupun mengurangi tingkat kestabilan sistem, dapat memperbaiki respon transien (antara lain: *rise time* dan *settling time*), mengurangi *error steady state*.

Kontrol integral

Pengaruh kontrol integral (I) pada sistem, yaitu: mampu menghilangkan *error steady state*, respon yang diberikan kontrol ini pada sistem lebih lambat bila dibandingkan dengan kontrol P, kontrol ini dapat menimbulkan ketidakstabilan sebagai akibat dari penambahan orde sistem.

Kontrol derivatif

Pengaruh kontrol derivatif (D) pada sistem, yaitu: mampu memberikan efek redaman pada sistem yang berosilasi sehingga dapat memperbesar nilai  $K_p$ , mampu memperbaiki respon transien dengan memberikan aksi pada saat ada perubahan *error*, kontrol ini hanya berubah saat ada perubahan *error* sehingga pada saat ada *error* statis kontrol ini tidak beraksi (hal inilah yang menyebabkan jika kontrol ini tidak dapat digunakan tanpa adanya kontrol proporsional).

Metode ini telah di implementasikan pada berbagai bidang industri dalam mengatasi permasalahan yang berkaitan dengan sistem kontrol. Berdasarkan uraian di atas maka peneliti melakukan penelitian tentang respon

transien terapan metode PID dalam proses pengisian muatan pada rangkaian RLC.

Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk Mendapatkan hasil simulasi sistem sebelum dan sesudah dikontrol menggunakan metode proporsional, integral, derivatif (PID), dan Mengetahui variasi metode PID (PD, PI, PID) yang memberikan respon sistem yang paling baik terhadap sistem kontrol dalam proses pengisian muatan pada rangkaian RLC.

Beberapa penelitian tentang simulasi pada Matlab yang menggunakan metode PID juga telah dilakukan misalnya Keszya (2016) melakukan penelitian mengenai simulasi peredaman getaran (*valve spring*) sistem hidrolik dengan metode PID memanfaatkan simulink Matlab [4].

Adapun yang telah melakukan penelitian mengenai penerapan *transformasi Laplace* dalam menyelesaikan persamaan diferensial linear pada rangkaian seri RLC. Misalnya, Aisyah [5]. Dan penelitian mengenai analisis persamaan rangkaian resistor, induktor dan kapasitor (RLC) dengan menggunakan metode Runge-Kutta dan Adams Bashforth Moulton [6].

Penelitian yang menerapkan metode PID dalam proses pengisian muatan pada rangkaian RLC belum pernah dilakukan. Oleh karena itu, penulis tertarik untuk melakukan penelitian yang berjudul respon transien terapan metode PID dalam proses pengisian muatan pada rangkaian RLC.

## METODE PENELITIAN

### Tahap Penentuan Model Sistem

Berdasarkan model sistem pengisian muatan rangkaian listrik RLC, ditentukan persamaan keadaan dengan mengacu pada referensi dan menggunakan prinsip *Hukum Kirchoff*. Persamaan sistem tersebut diubah menjadi persamaan berdomain  $s$  menggunakan *Transformasi Laplace* dan disebut fungsi transfernya.

### Tahap simulasi sistem alami

Persamaan fungsi transfer dirancang dalam diagram blok simulink Matlab untuk disimulasikan sehingga diperoleh hasil respon sistem alami berupa grafik. Pada grafik tersebut dianalisis *rise time*, *settling time*, *error Steady state*, *overshoot* dan kestabilannya.

### Tahap simulasi dengan variasi metode PID

Berdasarkan hasil analisis sistem alami, dapat diketahui perlu tidaknya suatu sistem tersebut dikontrol. Jika perlu maka dapat diterapkan simulasi variasi metode PID untuk diperoleh hasil respon sistem yang terbaik. Tahap ini dilakukan untuk merancang diagram blok berdasarkan fungsi transfer masing-masing variasi kontroler lalu disimulasikan.

### Tahap analisis hasil simulasi

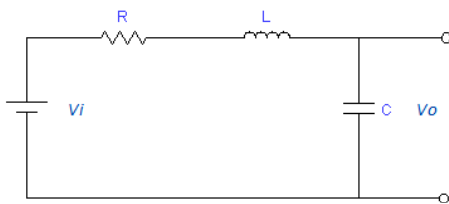
Hasil simulasi berupa grafik yang di analisis waktu respon berupa *rise time*, *settling time*, *steady state error* dan *overshoot*.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian berupa respon transien terapan metode PID dalam proses pengisian muatan pada rangkaian RLC telah dilakukan. Respon transien didapatkan melalui proses simulasi pada simulink Matlab dengan menggunakan variasi metode PID (PD, PI dan PID).

### Sistem Kontrol Open Loop

Sebelum dilakukan proses simulasi pada simulink Matlab dengan menggunakan variasi metode PID (PD, PI dan PID), untuk menghasilkan respon yang baik pada proses pengisian muatan pada rangkaian RLC terlebih dahulu diketahui model dan karakteristik sistem ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian listrik seri RLC

Gambar 1 merupakan model sistem alami yang terdiri dari suatu induktansi L (Hendry), tahanan R (Ohm) dan kapasitansi F (Farad) dengan menggunakan Hukum Kirchoff, sehingga pada sistem diperoleh persamaan:

$$V(i) = L \frac{di}{dt} + R(i) + \frac{1}{c} \int idt \quad (1)$$

$$V(0) = \frac{1}{c} \int idt \quad (2)$$

Pada persamaan 1 dan 2 inilah yang digunakan untuk disimulasikan ke dalam Matlab. Namun sebelum persamaan tersebut

disimulasikan menggunakan Matlab, perlu diterapkan *Transformasi Laplace* agar mengubah fungsi waktu *t* ke persamaan dengan fungsi domain frekuensi *s*.

$$Vi(s) = Lsi(s) + Ri(s) + \frac{1}{c} \frac{1}{s} i(s) \quad (3)$$

$$V0(s) = \frac{1}{c} \frac{1}{s} i(s) \quad (4)$$

Dari persamaan 3 dan 4, maka ditentukan fungsi transfer sistem yaitu:  $\frac{ouput}{input}$ , dimana *F(s)* merupakan *input* sistem sedangkan *X(s)* merupakan *output* pada sistem, sehingga ketika diterapkan rumus fungsi transfernya maka akan diperoleh persamaan:

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{LCs^2 + RCs + 1} \quad (5)$$

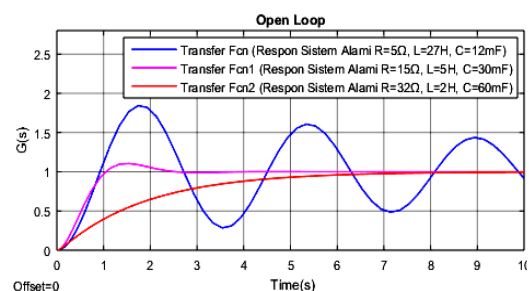
Jika nilai R, L dan C dimasukkan kedalam fungsi transfer pada persamaan 5 maka akan diperoleh persamaan:

$$\begin{aligned} \frac{X(s)}{F(s)} &= \frac{1}{27(0,012)s^2 + 5(0,012)s + 1} \\ &= \frac{1}{0,324s^2 + 0,06s + 1} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \frac{X(s)}{F(s)} &= \frac{1}{5(0,03)s^2 + 15(0,03)s + 1} \\ &= \frac{1}{0,15s^2 + 0,45s + 1} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \frac{X(s)}{F(s)} &= \frac{1}{2(0,06)s^2 + 32(0,06)s + 1} \\ &= \frac{1}{0,12s^2 + 1,92s + 1} \end{aligned} \quad (8)$$

Persamaan 6, 7 dan 8 merupakan fungsi transfer yang akan disimulasikan ke dalam Matlab dan akan menampilkan grafik respon sistem *open loop* yang ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Grafik respon sistem *open loop*

Berdasarkan grafik respon sistem *open loop* pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa sistem tersebut tidak stabil. Hal ini ditunjukkan oleh data grafik yang diberikan pada saat *running*. Pada selang waktu yang diberikan, grafik respon sistem selalu berubah-ubah atau tidak menetap yang menandakan terjadinya *overshoot* yang lebih dari keadaan stabil. Parameter *error steady state* mencapai keadaan stabil namun membutuhkan waktu yang sangat lama untuk mencapai keadaan tersebut.

Dari analisa terhadap parameter-parameter tersebut menunjukkan bahwa sistem pengisian muatan pada rangkaian RLC ini tidak stabil atau hasil respon sistem tidak sesuai dengan yang diharapkan, sehingga perlu diterapkan metode kontrol. Metode kontrol yang digunakan yaitu metode PID yang terdiri dari tiga variasi kontrol yaitu PD, PI dan PID.

### Sistem Kontrol Closed Loop

Sistem kontrol *closed loop* diterapkan pada sistem pengisian muatan pada rangkaian RLC dengan menggunakan metode kontrol PID yang terdiri dari 3 kontroler, yaitu kontroler proporsional, kontroler integral dan kontroler derivatif. Setiap kontroler memiliki respon karakteristiknya masing-masing terhadap suatu *plant* tertentu. Besarnya nilai setiap kontroler yang diterapkan akan mengakibatkan penonjolan sifat dari jenis kontroler tersebut yang memberikan kontribusi lebih pada respon sistem secara keseluruhan.

Dalam penerapannya dilakukan kombinasi dari ketiga konstanta pengontrol, sehingga diperoleh respon sistem yang diinginkan. Dalam penelitian ini, digunakan tiga metode variasi pengontrol yaitu, metode variasi pengontrol proporsional-derivatif (PD), metode variasi pengontrol proporsional-integral (PI) dan metode variasi pengontrol proporsional-integral-derivatif (PID).

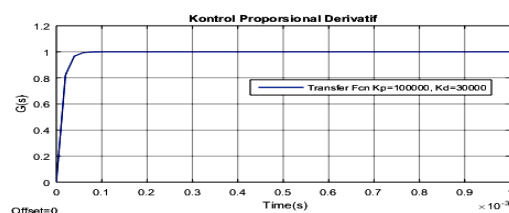
### Metode Variasi Kontroler Proporsional-Derivatif (PD)

Jika kontroler derivatif diterapkan pada suatu sistem, maka sistem tersebut akan memberikan respon dengan karakteristik perubahan kecil pada *rise time* dan *steady state error*, serta menurunnya *settling time* dan *overshoot*.

Pada sistem pengisian muatan untuk variasi nilai komponen R, L, dan C setelah dikenai kontrol proporsional derivatif dengan variasi-variasi nilai Konstanta proporsional

(Kp) dan Konstanta derivatif (Kd) di peroleh kombinasi nilai Kp dan Kd yang memberikan respon sistem yang paling baik yaitu Kp=100.000 dan Kd=30.000 dimana pada waktu 0,0098 sistem dapat mencapai kestabilan sebesar 1 sehingga *error steady state* kecil yaitu 0, dan sistem juga mengalami *overshoot* sebesar 0,00426.

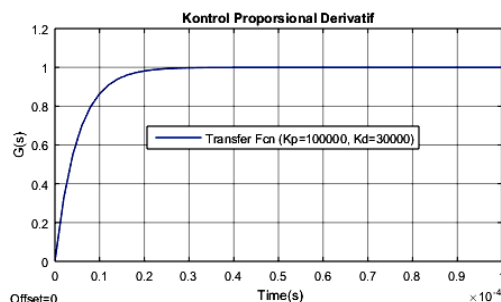
Grafik respon sistem untuk variasi I setelah dikenai kontrol proporsional derivatif dan memberikan respon terbaik ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik respon sistem kontroler Proporsional-Derivatif (PD) untuk variasi I

Untuk sistem pengisian muatan pada rangkaian RLC untuk variasi (F1) kombinasi nilai Konstanta proporsional dan Konstanta derivatif yang memberikan respon sistem yang paling baik yaitu Kp=100.000 dan Kd=30.000 dimana hanya dengan waktu 0,0098 sistem dapat mencapai keadaan stabil yaitu 1 dan memiliki *error steady state* 0 dan terjadi *overshoot* sebesar 0,00113.

Grafik respon sistem untuk variasi II setelah dikenai kontrol Proporsional Derivatif (PD) dan memberikan respon terbaik ditunjukkan pada Gambar 4.

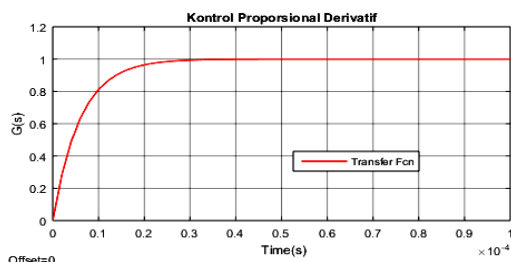


Gambar 4. Grafik respon sistem kontroler Proporsional-Derivatif (PD) untuk variasi II

Dalam sistem pengisian muatan pada rangkaian RLC untuk sistem pada variasi III setelah dikenai kontrol proporsional derivatif dengan variasi-variasi nilai Konstanta

proporsional ( $K_p$ ) dan Konstanta derivatif ( $K_d$ ) diperoleh kombinasi nilai  $K_p$  dan  $K_d$  yang memberikan respon sistem yang paling baik yaitu:  $K_p=100.000$  dan  $K_d=20.000$  dimana pada waktu  $0,0098$  s sistem dapat mencapai kestabilan 1 dan *error steady statenya* 0, sistem tidak mengalami *overshoot* atau *overshootnya* 0.

Grafik respon sistem terbaik untuk variasi III setelah dikenai kontrol proporsional derivatif (PD) ditunjukkan pada Gambar 5.



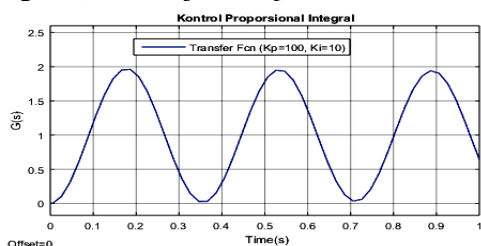
Gambar 5. Grafik respon sistem kontroler Proporsional-Derivatif (PD) untuk variasi III

### Metode Variasi Kontroler Proporsional-Integral (PI)

Jika kontroler integral diterapkan pada suatu sistem, maka sistem tersebut akan memberikan respon dengan karakteristik hilangnya *steady state error*, menurunnya *rise time*, serta meningkatnya *settling time* dan *overshoot*.

Pada sistem pengisian muatan pada rangkaian RLC untuk variasi F, kombinasi dari konstanta  $K_p$  dan  $K_i$  yang memberikan respon sistem yang paling baik adalah  $K_p = 100$  dan  $K_i = 10$  memberi respon sistem dengan *rise time*  $0,0587$  dan *settling timenya* tidak diketahui serta sistem mencapai *setpoint* 1 namun sistem juga mengalami osilasi secara periodik dengan *maximum overshoot* sebesar  $97,2$ .

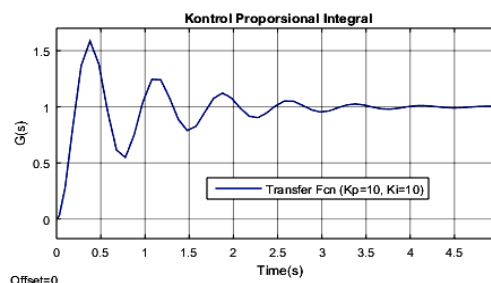
Grafik respon sistem terbaik untuk variasi I setelah dikenai kontrol Proporsional Integral (PI) ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik respon sistem kontroler Proporsional-Integral (PI) untuk variasi I

Pada sistem pengisian muatan pada rangkaian RLC untuk variasi F1 kombinasi konstanta  $K_p$  dan  $K_i$  yang memberikan respon sistem yang paling baik adalah  $K_p = 10$  dan  $K_i = 10$  dimana memberikan respon sistem dengan *rise time* yang cukup singkat yaitu  $0,14$  namun *settling timenya* tidak diketahui, dan sistem mencapai *setpoint* yang diinginkan yaitu 1 namun sistem juga masih mengalami osilasi- osilasi kecil yang membuat sistem sulit untuk stabil serta mengalami *maximum overshoot* sebesar  $58,6$ .

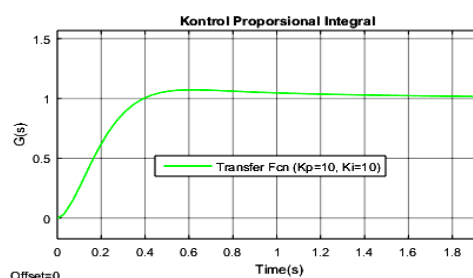
Grafik respon sistem terbaik kontroler proporsional-integral (PI) untuk variasi III ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik respon sistem kontroler proporsional-integral (PI) untuk variasi II

Untuk variasi F2 kombinasi konstanta  $K_p$  dan  $K_i$  yang memberikan respon sistem yang palin baik adalah  $K_p = 10$  dan  $K_i = 10$  yang memberikan respon sistem dengan *rise time* yang singkat yaitu  $0,258$  s namun memiliki *settling time* yang besar yaitu  $1,73$  s. Walaupun sistem mencapai *setpoint* 1 namun pada sistem masih terjadi osilasi serta memiliki *maximum overshoot* sebesar  $7,21$  sehingga membuat sistem tidak stabil.

Grafik respon sistem terbaik kontroler proporsional-integral (PI) untuk variasi III ditunjukkan pada Gambar 8.



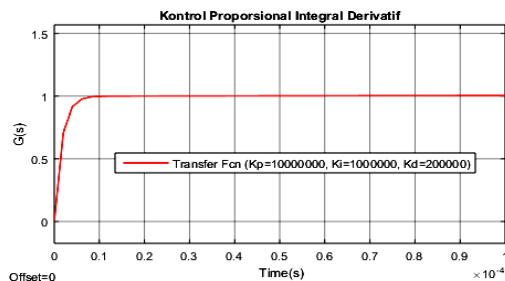
Gambar 8. Grafik respon sistem kontroler proporsional-integral (PI) untuk variasi III

### Metode Variasi Kontroler Proporsional-Integral-Derivatif (PID)

Kontroler PID merupakan penggabungan dari beberapa kombinasi nilai konstanta proporsional ( $K_p$ ), konstanta ( $K_i$ ) dan konstanta derivatif ( $K_d$ ).

Untuk variasi I adalah dengan menggunakan kombinasi konstanta  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  yang memberikan respon sistem yang terbaik yaitu  $K_p=10.000.000$ ,  $K_i=1.000.000$  dan  $K_d=200.000$ . meskipun pada sistem terdapat *overshoot* sebesar 0,0049, namun dengan waktu yang singkat yaitu 0,0098 s respon sistem dapat mencapai *setpoint* 1.

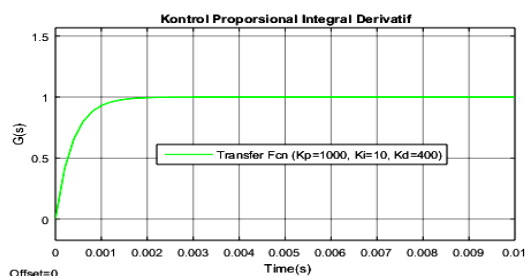
Grafik respon sistem terbaik kontroler proporsional-integral-derivatif (PID) untuk variasi I ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik respon sistem kontroler proporsional-integral-derivatif (PID) terbaik untuk variasi I

Untuk variasi II dengan menggunakan kombinasi nilai  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  yang memberikan respon sistem terbaik adalah  $K_p=1.000$ ,  $K_i=10$  dan  $K_d=400$ . Dengan variasi ini, sistem mencapai *setpoint* 1 dengan rise time yang kecil yaitu 0,008 s dan *overshootnya* 0.

Grafik respon sistem terbaik kontroler proporsional-integral-derivatif (PID) untuk variasi II ditunjukkan pada Gambar 10.

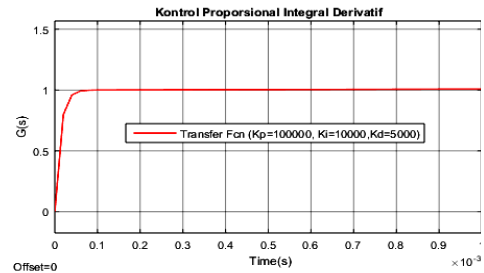


Gambar 10. Grafik respon sistem kontroler proporsional-integral-derivatif (PID) untuk variasi II

Untuk variasi III dengan menggunakan kombinasi nilai  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  yang

memberikan respon sistem terbaik adalah  $K_p=100.000$ ,  $K_i=10.000$  dan  $K_d=10.000$ . Dengan variasi ini, sistem dapat mencapai *setpoint* 1 dengan waktu yang singkat yaitu 0,0098s dengan *maximum overshoot* 0.

Grafik respon sistem terbaik kontroler proporsional-integral-derivatif (PID) untuk variasi III ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik respon sistem kontroler proporsional-integral-derivatif (PID) untuk variasi III

### KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh hasil simulasi respon sistem sebelum dikontrol *open loop* menunjukkan sistem yang tidak stabil, sehingga diterapkan variasi metode PD dan PID yang memberikan respon sistem yang stabil. Secara fisika, sistem pengisian muatan pada rangkaian RLC didapatkan dengan metode PID variasi III, yang hanya membutuhkan waktu paling singkat yaitu 0,0098 s hingga didapatkan kuat arus yang stabil. Kestabilan kinerja sangat penting pada piranti yang menggunakan komponen-komponen elektronika sebagaimana rangkaian RLC.

Berdasarkan hasil penelitian, maka penulis menyampaikan beberapa saran, yaitu: Setelah diperoleh nilai  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  yang memberikan respon sistem yang cukup stabil, maka dapat dicoba lagi dengan menggunakan nilai-nilai yang lebih kecil dalam interval tersebut. Sehingga dapat diperoleh respon sistem yang lebih baik.

### DAFTAR PUSTAKA

- 1 Ali M. 2004. Pembelajaran Perancangan Sistem Kontrol PID Dengan Software Matlab. J. Edukasi Elektro. **1**(1): 2.
- 2 Loklomin SB, Rumlawang FY. 2014. Aplikasi Metode Runge Kutta Orde Empat Pada Penyelesaian Rangkaian Listrik RLC. J. Berekeng. **8**(1): 39.

- 3 Triyono T. 2015. Aplikasi Kontrol Pid Dengan Software Matlab. *J. Tek.* **4**(2): 96.
- 4 Wabang K, Warsito A, Louk AC. 2020. Simulasi Peredaman Getaran Pada Pegas Katup (Valve Spring) Sistem Hidrolik Dengan Metode Pid Memanfaatkan Simulink Matlab. *J. Fis. Fis. Sains dan Apl.* **5**(1): 1.
- 5 Aisyah SF. Penerapan Transformasi Laplace Dalam Menyelesaikan Persamaan Diferensial Linear Pada Rangkaian Seri Rlc. Universitas Sumatera Utara.
- 6 Aji YK, Sutrisno A, Amanto A, Azis D. Analisis Rangkaian Resistor, Induktor Dan Kapasitor (RLC) Dengan Metode Runge-Kutta Dan Adams Bashforth Moulton Prosiding Seminar Nasional Metode Kuantitatif. pp 110–5.