

Analisa Respon Steady dan Transient pada Sistem Mekanik Pegas Ganda serta terapan Metode PID memanfaatkan Transformasi Laplace dan Simulink Matlab

Sriwiana Laalobang¹, Ali Warsito², Redi K. Pingak³

Jurusan Fisika, Universitas Nusa Cendana, Kupang, Indonesia

Abstrak

Telah dilakukan simulasi sistem mekanik pegas ganda menggunakan simulink Matlab dengan tujuan menganalisa respon steady dan transient pada sistem mekanik pegas ganda dengan menerapkan metode PID memanfaatkan transformasi laplace dan simulink matlab untuk menghasilkan suatu sistem yang stabil. Ketidakstabilan sistem diketahui melalui analisa respon sistem terhadap waktu yaitu respon *steady* dan respon *transient*, dimana *steady-state error* cukup rendah yaitu 2% tetapi respon *transient* menunjukkan *rise time* = 5.27 sekon, *settling time* = 6.27 sekon dan banyak terjadi *overshoot*. Untuk mendapatkan sistem mekanik pegas ganda yang stabil, fungsi transfer dari persamaan gerak sistem yang telah ditransformasikan dengan transformasi Laplace ke dalam persamaan berdomain s, perlu diinformulasikan sebagai representasi sistem kontrol *close loop* yang memuat variasi metode PID (Proporsional, Integral dan Derivatif). Variasi ini kemudian disimulasikan dengan memberikan *input* pada konstanta Kp, Ki dan Kd. Hasil simulasi menunjukkan bahwa proses kontrol pada sistem mekanik menghasilkan sistem yang cukup stabil dan terjaga ketika menggunakan metode PD dan PID. Dengan metode PID sistem mencapai kestabilan pada $t = 0.01$ sekon, dimana nilai $K_p = 10^3$, $K_i = 10^{-2}$ dan $K_d = 10^3$, dengan *rise time* 0.004 sekon, *settling time* 0.005 sekon dan tidak ada error keadaan tunak.

Masuk:

12 Februari 2021

Diterima:

23 Februari 2021

Diterbitkan:

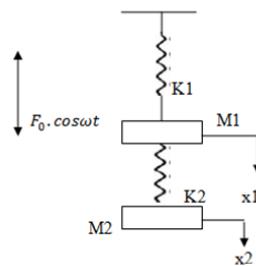
19 Maret 2021

Kata kunci:

Pegas ganda, Respon *steady* dan *transient*, Metode PID

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi yang pesat pada zaman sekarang menyebabkan peralatan di sebuah industri yang dulunya digerakkan manual oleh manusia kini mulai dikendalikan secara otomatis [1]. Sistem kontrol dalam penerapannya pada masyarakat berupa alat atau produksi secara otomatis. Simulasi matlab dalam hal ini berperan sebagai langkah utama secara teori untuk mendapatkan response yang stabil [2]. Sebuah sistem mekanik pegas ganda dengan peredam yang bergerak di bawah pengaruh gaya F dan diberi beban bermassa M akan mengalami perubahan panjang x , memerlukan waktu t untuk berubah posisi, sehingga sistem akan memberikan respon atau tanggapan terhadap waktu sebanding dengan gaya yang diberikan seperti pada gambar 1 ini,



Gambar 1. Sistem mekanik pegas ganda

Terkadang dalam fungsinya, sering terjadi gangguan atau pengaruh gaya eksitasi sehingga timbul ketidakstabilan pada sistem tersebut. Gaya eksitasi mungkin tidak diinginkan oleh sistem itu sendiri karena dapat mengganggu operasi sistem [3].

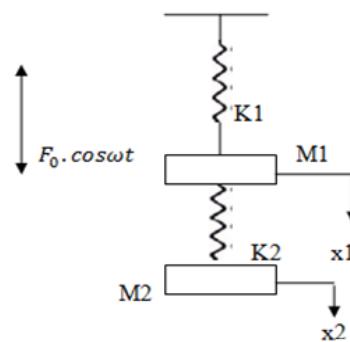
Suatu sistem dikatakan stabil ketika terdapat keseimbangan antara daya mekanik pada penggerak utama generator dengan daya output listrik [4]. Kestabilan suatu sistem mekanik dapat diketahui dengan menganalisa respon waktu dari sistem tersebut. Analisa respon waktu terdiri atas analisa respon *steady* dan respon *transient*. Respon *steady* menunjukkan apakah terdapat error setelah sistem mencapai kestabilan dan respon *transient* menunjukkan respon peralihan sebelum mencapai kestabilan yang meliputi, *rise time* (waktu naik), *settling time* (waktu saat mencapai kestabilan) dan *overshoot* (lonjakan pada sistem).

Dengan kemajuan (IPTEK), sistem pengontrolan suatu sistem mekanik dapat menghasilkan respon sesuai kebutuhan [5]. Beberapa metode sistem kontrol yang biasanya diterapkan yakni metode *fuzzy logic* dan PID (Proportional, Integral dan Derivative). Pengontrol PID banyak digunakan pada sistem kontrol umpan balik dan memiliki kecepatan respon yang besar serta kemampuan mereduksi isyarat kesalahan yang terjadi pada sistem [6]. PID merupakan kontroler untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tersebut. Komponen kontroler PID ini terdiri dari tiga jenis yaitu: Proportional, Integratif dan Derivatif [7].

Langkah - langkah yang diperlukan dalam metode PID adalah bagaimana mendapatkan persamaan gerak sistem dan ditransformasikan dengan transformasi Laplace untuk mendapatkan fungsi transfer yang kemudian akan dikombinasikan dengan konstanta PID dan disimulasikan dengan *software Matlab*. Penggunaan simulasi komputer pada kurikulum pendidikan teknik dewasa ini sudah meluas [8]. Metode transformasi Laplace adalah suatu metode operasional yang dapat digunakan secara mudah untuk menyelesaikan persamaan diferensial linier [9]. Sehubungan dengan hal tersebut, maka dilakukan: analisa respon steady dan transient pada sistem mekanik pegas ganda serta terapan metode PID memanfaatkan transformasi laplace dan simulink matlab.

2. Metode Penelitian

Metode dalam penelitian ini adalah simulasi sistem mekanik pada pegas. Sistem mekanik pegas ganda dimodelkan sebagai berikut:



Gambar 2. Pemodelan sistem mekanik pegas ganda [10]

2.1. Prosedur Penelitian

Penelitian akan dilaksanakan dalam 4 tahapan penting sebagai berikut:

1. Tahap perancangan model sistem
2. Tahap simulasi sistem alami
3. Tahap simulasi sistem dengan variasi metode PID
4. Tahap analisis hasil simulasi

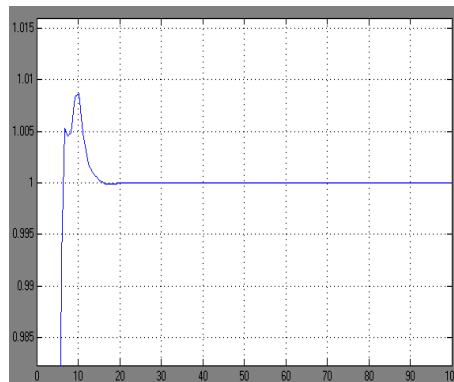
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Sistem Kontrol Open Loop

Persamaan fungsi transfer sistem alami pegas ganda adalah:

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{[(s^2+s+2) - \frac{1}{(s^2+s+1)}]} = \frac{s^2+s+1}{s^4+2s^3+4s^2+3s+1} \quad (1)$$

Hasil simulasi berupa tampilan grafik 2 dimensi dimana sumbu x mewakili parameter waktu, dan sumbu y mewakili parameter simpangan kestabilan. Respon sistem yang diinginkan adalah sistem yang mencapai amplitudo 1 dan stabil pada nilai tersebut (*setpoint*) tanpa *overshoot* dalam waktu yang sangat singkat.



Gambar 3. Grafik respon sistem *open loop* pegas ganda

Berdasarkan gambar (3), terdapat *overshoot*, *rise time* 5.27 s, *settling time* 6.27 s, dan error 2 %, sehingga perlu diterapkan kontrol *closed loop*.

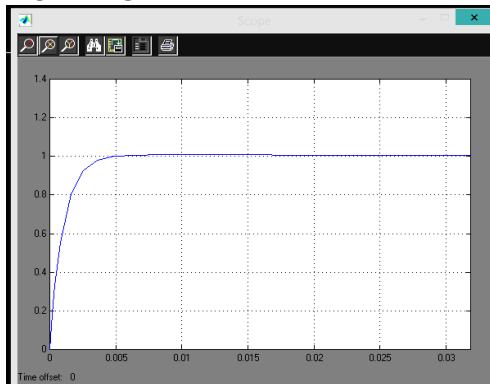
3.2 Sistem Kontrol Closed Loop

3.2.1 Aksi kontrol proporsional-derivatif

Suatu sistem *open loop* pegas ganda yang dikenai kontrol proporsional-derivatif memiliki persamaan fungsi transfer berikut:

$$G(s) = \frac{Kps^2 + Kps + Kp + Kds^3 + Kds^2 + Kds}{s^4 + s^3(2+Kd) + s^2(4+Kp+Kd) + s(3+Kp+Kd) + Kp + 1} \quad (2)$$

Konstanta Kp dan Kd masing-masing 10000 dan 1000.



Gambar 4. Hasil respon sistem kontrol proporsional-derivatif

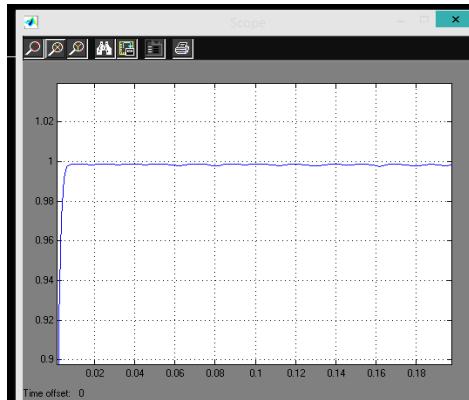
Hasil respon pada Gambar (4) memperlihatkan bahwa respon untuk penggunaan kontroler PD telah memenuhi kriteria yang diinginkan dari variasi kombinasi nilai konstanta proporsional dan derivatif yang telah dilakukan, yaitu *rise time* dan *settling time* cepat (0.005 s dan 0.007 s), hampir tidak ada *overshoot*, dan tidak memiliki kesalahan atau error. Respon tersebut menunjukkan sistem mencapai keadaan stabil pada saat t = 0.015 sekon.

3.2.2 Aksi kontroler proporsional-integral

Kombinasi kontroler PI memiliki persamaan fungsi transfer berikut:

$$G(S) = \frac{Kps^3 + Kps^2 + Kps + Kis^2 + Kis + Ki}{s^4 + s^3(2+Kp) + s^2(4+Kp+Ki) + s(3+Kp+Ki) + Ki + 1} \quad (3)$$

Nilai $Kp = 1000$ dan $Ki = 0.1$ diperoleh grafik hasil respon sistem seperti pada gambar berikut:



Gambar 5. Hasil respon sistem kontrol proporsional-integral

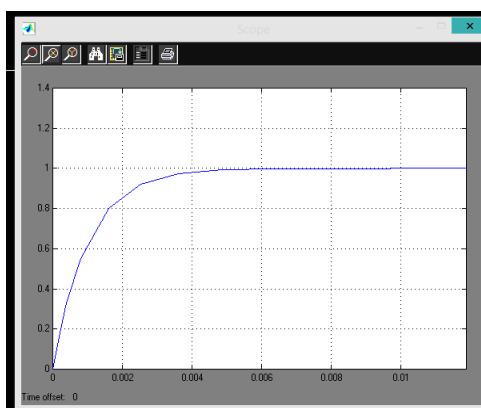
Dari hasil simulasi pada Gambar (5), maka dapat disimpulkan bahwa kontroler PI tidak dapat diterapkan pada sistem pegas ganda dikarenakan terjadi osilasi terus – menerus pada sistem.

3.2.3 Aksi kontroler proporsional-intergral - derivatif (PID)

Suatu sistem yang dikontrol menggunakan kontroler PID akan memiliki persamaan fungsi transfer berikut:

$$G(S) = \frac{L(S)}{1+L(S)} = \frac{Kds^4 + (Kp+Kd)s^3 + (Kp+Ki+Kd)s^2 + (Kp+Ki)s + Ki}{s^5 + (2+Kd)s^4 + (4+Kp+Kd)s^3 + (3+Kp+Ki+Kd)s^2 + (Kp+Ki)s + Ki} \quad (4)$$

Nilai konstanta yang paling cocok digunakan adalah seperti pada Gambar (6) dimana nilai konstanta $Kp = 1000$, $Kd = 1000$, $Ki = 0.01$.



Gambar 6. Respon kontrol PID

Hasil respon sistem menunjukkan $rise\ time = 0.004\ s$, $settling\ time = 0.005\ s$. Sistem tersebut sangat stabil dan mencapai nilai $setpoint$ dalam waktu 0.01 s, dan tidak ada $overshoot$ dan error yang dihasilkan setelah waktu tersebut.

4. Kesimpulan

- Berdasarkan hasil penelitian yang telah diuraikan pada pembahasan maka dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:
- Hasil simulasi sistem sebelum dikontrol memiliki *steady-state error* 2%, *rise time* 5.27 s, *settling time* 6.27 s, terjadi beberapa kali *overshoot* sebelum mencapai *settling time* dan setelah mencapai kestabilan masih terjadi osilasi. Hasil analisa respon sistem kontrol PID yang diterapkan pada sistem mekanik pegas ganda menghasilkan suatu sistem yang stabil dimana kontroler yang cocok diterapkan yaitu metode kontroler PD dan PID. Konstanta kontroler PD yang paling cocok adalah $K_p = 10^4$ dan $K_d = 10^3$ dengan *rise time* = 0.005 s, *settling time* = 0.007 s dan tidak ada error keadaan tunak. Sedangkan konstanta kontroler PID yang paling cocok adalah $K_p = 10^3$, $K_i = 10^{-2}$ dan $K_d = 10^3$ dengan *rise time* = 0.004 s, *settling time* = 0.005 s, dan tidak ada error keadaan tunak (0%).
 - Metode kontrol PD dan PID dapat diterapkan pada sistem mekanik pegas ganda, tetapi berdasarkan perbandingan hasil respon keduanya maka kontrol yang paling baik dan cocok untuk diterapkan yaitu kontroler PID walaupun hanya terdapat sedikit perbedaan.

Daftar Pustaka

- [1] A. Sutanto and H. Tanudjaja, "Penerapan Kontroler Pid Pada Sistem Pengatur Ketinggian Air Berbasis Labview," *J. Elektro*, vol. 10, no. 2, pp. 1-12, 2017.
- [2] P. Siagian and I. Pendahuluan, "ST, M.Eng," *J. Process.*, vol. 6, no. 1, pp. 51-60, 2011.
- [3] M. S. Suspensi, "Studi Numerik dan Eksperimental Karakteristik Dinamik Model Sistem Suspensi," *J. Energi dan Manufaktur*, vol. 5, no. 1, pp. 1-6, 2012.
- [4] D. Firdaus, O. Penangsang, N. K. Aryani, and N. K. Aryani, "Simulasi dan Analisis Stabilitas Transien dan Pelepasan Beban pada Sistem Kelistrikan PT. Semen Indonesia Pabrik Aceh," *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, pp. 468-472, 2017, doi: 10.12962/j23373539.v5i2.16152.
- [5] F. Logic, F. L. Controller, and F. L. Controller, "SIMULASI DAN ANALISIS RESPON FUZZY LOGIC CONTROLLER Jurusan Fisika , Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang, Semarang , Indonesia Abstrak," no. 1, 2012.
- [6] Mutiar, "Analisa Perubahan Parameter Sistem Pengendalian Pid Aplikasi Matlab Mutiar , St ., Mt," *J. Tek. elektro*, pp. 45-53, 2017.
- [7] W. WALUYO, A. FITRIANSYAH, and S. SYAHRIAL, "Analisis Penalaan Kontrol PID pada Simulasi Kendali Kecepatan Putaran Motor DC Berbeban menggunakan Metode Heuristik," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 1, no. 2, p. 79, 2013, doi: 10.26760/elkomika.v1i2.79.
- [8] B. Anto, "Pemodelan dan Simulasi Gerakan Rotor Motor Stepper Jenis Variable Reluctance 3-Fasa Berbasis MATLAB/Simulink," *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 10, no. 1, pp. 17-24, 2012, doi: 10.17529/jre.v10i1.178.
- [9] C. O. Demand and D. Oxygen, "Aplikasi Transformasi Laplace Pada Persamaan Konsentrasi Oksigen Terlarut," *J. Mat Stat*, vol. 8, no. 1, pp. 1-14, 2008.
- [10] K. Wabang, A. Warsito, and A. C. Louk, "Simulasi Peredaman Getaran Pada Pegas Katup (Valve Spring) Sistem Hidrolik Dengan Metode Pid Memanfaatkan Simulink Matlab," *J. Fisika Sains dan Aplikasinya.*, vol. 5, no. 1, pp. 2657-1900, 2020.