

## **SIMULASI PEREDAMAN GETARAN PADA PEGAS KATUP (*VALVE SPRING*) SISTEM HIDROLIK DENGAN METODE PID MEMANFAATKAN SIMULINK MATLAB**

***Keszya Wabang, Ali Warsito, Andreas Christian Louk***

*Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Jln. Adisucipto-Penfui, Kupang, 85228, Indonesia*

*Email: ali.warsito@staf.undana.ac.id*

### **Abstrak**

*Telah dilakukan simulasi peredaman getaran pada pegas katup sistem hidrolik. Penelitian ini merupakan studi simulasi yang bertujuan untuk mengontrol getaran berlebih pada pegas katup sistem hidrolik sebagai akibat dari gaya eksitasi yang dipengaruhi oleh perubahan tekanan secara periodik, sehingga menghasilkan suatu sistem yang stabil. Simulasi dilakukan menggunakan simulink Matlab dengan menerapkan metode PID (P, PD, PI dan PID) dan memperhatikan variasi – variasi nilai konstanta proporsional ( $K_p$ ), konstanta integral ( $K_i$ ) dan konstanta derivatif ( $K_d$ ). Hasil simulasi yang diperoleh menunjukkan bahwa dengan mengkombinasikan ketiga konstanta  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  dapat meredam getaran dengan lebih baik. Untuk gaya eksitasi total, dengan menggunakan nilai  $K_p=10^6$ ,  $K_i=7 \times 10^6$  dan  $K_d=6 \times 10^4$  dapat memberikan respon sistem peredaman getaran pada pegas katup dengan rise time 1,2119 s, settling time 1,2792 s, stabil pada setpoint 1, error steady state 0% dan maximum overshoot yang kecil 0,3309. Hasil ini merupakan hasil respon sistem yang stabil dan paling baik bila dibandingkan dengan kombinasi nilai – nilai konstanta yang lain.*

***Kata kunci*** : getaran, peredam, pegas katup, sistem hidrolik, metode PID.

### **Abstract**

*A simulation of damping vibration on valve spring hydraulic system has been done. This research is a study of the simulation that aims to control excess vibration on valve spring hydraulic system as a result of excitation force that is affected by the changes of pressure periodically, to produce a stable system. The simulation performed by using Matlab simulink with applying a PID method (P, PD, PI and PID) and noticed to variations of proportional constant ( $K_p$ ), integral constant ( $K_i$ ) and the derivative constant ( $K_d$ ). The simulation results obtained show that by combining these three constants  $K_i$ ,  $K_p$  and  $K_d$  can dampen the vibration better. For the total excitation force, using the value of  $K_p = 10^6$ ,  $K_i = 7 \times 10^6$  and  $K_d = 6 \times 10^4$  can provide damping vibration system response on valve spring with a rise time of 1.2119 s, settling time of 1.2792 s, stable at setpoint 1, error steady state 0% and a small maximum overshoot of 0.3309. This is the result of a stable system response and best compared to the other combinations of the constant values.*

***Keywords*** : vibration, damper, valve spring, hydraulic system, PID method.

### **PENDAHULUAN**

Dalam era globalisasi ini, proses industrialisasi memungkinkan manusia memanfaatkan berbagai piranti atau mesin sehingga dapat lebih mudah melakukan berbagai aktivitasnya. Piranti atau mesin sebagai aplikasi sistem mekanik sering kali menimbulkan suatu permasalahan yang sulit dihindari dalam melakukan kerjanya, yakni getaran yang berlebihan. Getaran ini apabila tidak diantisipasi maka akan mengalami

kegagalan fungsi pada mesin, perasaan tidak nyaman pada pengguna, dan suara yang mengganggu yang timbul dari mesin tersebut [1]. Getaran yang berlebih terjadi karena adanya gaya eksitasi (pengganggu) baik yang berasal dari dalam maupun luar sistem [2]. Hal inilah yang terjadi pada teknologi terapan suatu sistem hidrolik mesin 4 langkah, dimana getaran yang berlebih disebabkan oleh suatu gaya eksitasi (pengganggu) yang dipengaruhi

oleh perubahan tekanan secara periodik terhadap waktu.

Mesin 4 langkah menggunakan beberapa komponen tambahan yang memiliki fungsi penting, seperti katup dan pegas katup. Umumnya terdapat dua jenis katup, yaitu katup hisap yang mengatur masuknya campuran bahan bakar dan katup buang yang berukuran lebih kecil yang mengatur keluarnya gas sisa pembakaran. Untuk menjaga agar katup menutup dengan rapat sempurna dan mampu bekerja pada putaran tinggi maka pegas katup dibuat cukup keras. Akan tetapi, konstanta pegas yang besar yang digunakan menimbulkan getaran pada pegas dan katup akibat frekuensi alamiah yang dimilikinya. Selain itu, terdapat beberapa getaran kecil akibat frekuensi harmoniknya sehingga saat katup menyentuh dudukannya, pegas katup dan katup bergetar sesaat baru kemudian katup menutup sempurna. Akibatnya timbul getaran berlebih yang mengganggu, suara mesin yang bising dan terjadi kebocoran gas yang selanjutnya menyebabkan tenaga mesin menurun [3].

Berdasarkan hal-hal tersebut diketahui bahwa sistem yang ada memiliki kestabilan yang kurang baik sehingga perlu dikontrol. Dalam menerapkan metode kontrol, perlu dilakukan pemodelan sistem sehingga dapat diketahui karakteristiknya. Salah satu metode pengontrolan yang banyak diterapkan adalah metode PID (*Proportional, Integral dan Derivatif*) dimana kombinasi variasi PID dapat dirancang dan disimulasikan dengan Simulink Matlab dari *Mathworks Inc.*

Kause (2013) telah melakukan penelitian mengenai simulasi peredaman osilasi getaran sistem pegas damper dengan metode PID[4], dan Takene (2014) telah melakukan penelitian mengenai simulasi peredaman getaran pada mesin rotasi dengan metode PID[5]. Namun kedua penelitian ini menerapkan metode PID pada gaya eksitasi (pengganggu) yang konstan. Sedangkan penelitian ini menerapkan metode PID pada gaya eksitasi (pengganggu) yang berubah, khususnya akibat perubahan tekanan secara periodik dalam suatu sistem hidrolik belum pernah dilakukan.

## **LANDASAN TEORI Pegas Katup Sistem Hidrolik**

Pada sistem hidrolik mesin 4 langkah, terdapat katup-katup yang berfungsi untuk mengatur masuknya gas baru dan keluarnya gas buang sisa pembakaran dalam silinder. Apabila terdapat kebocoran atau gangguan sedikit saja pada katup maka akan mengakibatkan tenaga mesin menjadi menurun. Katup-katup yang terpasang pada dudukannya, tertahan oleh sebuah pegas yang disebut pegas katup (*valve spring*). Posisi katup untuk membuka dan menutup diatur oleh pegas katup, sehingga keelastisitas pegas katup harus diperhatikan dengan baik. Untuk menjaga agar katup menutup dengan rapat sempurna dan mampu bekerja pada putaran tinggi maka pegas katup dibuat cukup keras. Akan tetapi, konstanta pegas yang besar yang digunakan menimbulkan getaran pada pegas dan katup akibat frekuensi alamiah yang dimilikinya. Selain itu, terdapat beberapa getaran kecil akibat frekuensi harmoniknya, sehingga saat katup menyentuh dudukannya, pegas katup dan katup bergetar sesaat, baru kemudian katup menutup sempurna. Akibatnya terjadi kebocoran gas, selanjutnya tenaga mesin menurun. Agar getaran tersebut segera mengecil dan katup menutup dengan rapat, maka diberilah sebuah damper yang bekerja berlawanan dengan arah getaran katup yang diharapkan dapat membuat kebocoran gas semakin kecil dan meningkatkan tenaga mesin[3]. Bila keelastisitas pegas katup terlalu kuat maka akan mengakibatkan keausan pada penggerak katup seperti tuas katup dan jika dibiarkan terus menerus tuas katup (*rocker-arm*) akan patah [6].

Pada sistem, sebuah massa ( $M$ ) digantung pada sebuah pegas dengan konstanta pegas ( $k$ ) tertentu dan peredam dengan konstanta redaman tertentu ( $c$ ). Gaya eksitasi (pengganggu) yang bekerja berdasarkan perubahan tekanan terhadap waktu ( $p(t)$ ) dalam silinder akan mempengaruhi gerakan naik turunnya massa sehingga menyebabkan perubahan panjang terhadap waktu ( $x(t)$ ). Gaya-gaya yang bekerja pada sistem tersebut, dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\sum F = F_M + F_S + F_D \quad (1)$$

$$\sum F = Ma + kx + cv \quad (2)$$

dimana,

$\sum F$  = total gaya yang bekerja pada sistem (N);

$F_M$  = gaya inersia pada benda bermassa (N);

$F_S$  = gaya pegas (N);

$F_D$  = gaya redaman (N);  
 $a$  = percepatan yang dialami benda ( $m/s^2$ );  
 $v$  = kecepatan yang dialami benda ( $m/s$ );

Diperoleh persamaan gerak dari sistem yang bergetar, yaitu sebagai berikut :

$$F(t) = M \frac{d^2}{dt^2} x(t) + c \frac{d}{dt} x(t) + kx(t) \quad (3)$$

Persamaan gerak dari sistem yang bergetar pada persamaan (3) dipengaruhi oleh gaya eksitasi  $F(t)$  yang bekerja berdasarkan perubahan tekanan yang terjadi secara periodik dalam silinder. Dengan menggunakan deret Fourier, akan diperoleh persamaan gaya eksitasi sebagai berikut :

$$F(t) = \frac{a_0}{2} + a_1 \cos(\omega t) + a_2 \cos(2\omega t) + a_3 \cos(3\omega t) + \dots + a_n \cos(n\omega t) \quad (4)$$

### Kontroler PID

PID merupakan metode pengontrol dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tersebut yang terdiri dari tiga jenis, yaitu proporsional, integratif dan derivatif. Ketiganya dapat dipakai secara bersamaan maupun sendiri-sendiri tergantung dari respon sistem yang kita inginkan terhadap suatu plant. Tujuan dari penggabungan ketiga macam pengendali tersebut adalah untuk memperbaiki kinerja sistem dimana masing-masing pengendali saling melengkapi dan menutupi kelemahan dan kelebihan. Persamaan umum pengendali PID diberikan oleh [5] :

$$m(t) = K_p \left( e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (5)$$

$$m(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (6)$$

Fungsi transfer menggunakan transformasi Laplace adalah :

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (7)$$

Berikut akan dijelaskan jenis-jenis metode kontrol PID.

### Kontroler Proporsional (P)

Kontroler Proporsional memiliki pengaruh pada sistem sebagai berikut :

- Menambah atau mengurangi kestabilan.
- Dapat memperbaiki respon transien khususnya: *rise time*, *settling time*.
- Mengurangi (bukan menghilangkan) *error steady state* (*Ess*).

Untuk menghilangkan *Ess*, dibutuhkan  $K_p$  besar yang akan membuat sistem lebih tidak stabil. Semakin besar error, semakin

besar sinyal kendali yang dihasilkan kontroler. Persamaan umum sinyal keluaran pengendali proporsional adalah :

$$m(t) = K_p e(t) \quad (8)$$

Dengan  $e(t)$  adalah sinyal kesalahan penggerak. Sedangkan fungsi transfernya adalah :

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \quad (9)$$

Pada keadaan tunak, keluaran sistem dengan pengendali proporsional masih terdapat *offset*, artinya keluaran yang dihasilkan tidak sama dengan referensinya.

### Kontroler Integral

Kontroler integral memiliki pengaruh pada sistem sebagai berikut:

- Menghilangkan *error steady state*
- Respon lebih lambat (dibandingkan dengan P)
- Dapat menambah ketidakstabilan (karena menambah orde pada sistem).

Perubahan sinyal kontrol sebanding dengan perubahan error. Semakin besar error, semakin cepat sinyal kontrol berubah. Pengendali integral digunakan untuk menghilangkan *offset* pada keadaan tunak. *Offset* biasanya terjadi pada plant yang tidak memiliki faktor integrasi ( $1/s$ ). Sifat dari pengendali integral adalah dapat menghasilkan keluaran pada saat masukan sama dengan nol. Pada pengendali integral harga keluaran kontroler  $m(t)$  diubah dengan laju yang sebanding dengan sinyal kesalahan penggerak  $e(t)$ , sehingga :

$$\frac{dm(t)}{dt} = K_i e(t) \quad (10)$$

$$\text{atau } m(t) = K_i \int_0^t e(t) dt \quad (11)$$

Fungsi transfer pengendali integral adalah :

$$\frac{M(s)}{E(s)} = \frac{K_i}{s} \quad (12)$$

Pengendali integral dapat menghilangkan *offset* pada keadaan tunak.

### Kontroler Derivatif

Kontroler derivatif memiliki pengaruh pada sistem:

- Memberikan efek redaman pada sistem yang berosilasi sehingga bisa memperbesar pemberian nilai  $K_d$ .
- Memperbaiki respon transien, karena memberikan aksi saat ada perubahan error.
- Kontrol derivatif hanya berubah saat ada perubahan error, sehingga saat ada error statis kontrol derivatif tidak beraksi.

Sehingga kontrol derivatif tidak boleh digunakan sendiri.

Besarnya sinyal kontrol sebanding dengan perubahan error ( $e$ ). Semakin cepat error berubah, semakin besar aksi kontrol yang ditimbulkan. Pengendali turunan memberikan respon terhadap laju perubahan sinyal error dan dapat menghasilkan koreksi signifikan, sebelum sinyal error menjadi terlalu besar. Jadi, pengendali turunan mendahului sinyal error, mengawali aksi koreksi dini dan cenderung memperbesar kestabilan sistem. Walaupun pengendali turunan tidak mempengaruhi kesalahan keadaan tunak secara langsung, akan tetapi menambah redaman sistem sehingga memungkinkan penggunaan harga  $K_d$  yang lebih besar sehingga akan memperbaiki ketelitian keadaan tunak. Persamaan keluaran untuk pengendali turunan adalah :

$$m(t) = K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (13)$$

Fungsi transfer untuk kontroler derivatif adalah :

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_d s \quad (14)$$

Dalam menganalisis suatu sistem, ada empat karakteristik utama dari respon sistem yaitu [5] : *Rise time*, yaitu waktu yang dibutuhkan untuk membangkitkan keluaran dari sistem yang dianalisis menjadi 90% keadaan yang diinginkan untuk pertama kalinya; *Overshoot*, yaitu berapa jumlah puncak-puncak yang lebih dari keadaan stabil; *Settling time*, yaitu besarnya waktu yang dibutuhkan oleh sistem untuk merespon sampai mencapai keadaan stabil; *Steady-state error*, yaitu perbedaan antara keluaran pada keadaan stabil dengan keadaan yang diinginkan. Tabel 1 menjelaskan respon sistem terhadap nilai  $K$ .

Untuk mendapatkan aksi kontrol yang baik diperlukan langkah coba-coba (*trial & error*) dengan kombinasi antara P, I, D sampai ditemukan nilai  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  seperti yang diinginkan[7]. Hubungan antara nilai  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  dengan empat karakteristik utama yang dapat dianalisis dari sebuah sistem adalah:

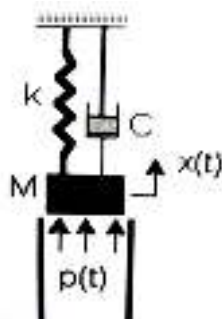
Tabel 1. Tanggapan sistem kontrol PID

<i>K Value</i>	<i>Rise Time</i>	<i>Overshoot</i>	<i>Settling Time</i>	<i>SS Error</i>
$K_p$	Menurun	Meningkat	Perubahan Kecil	Menurun
$K_i$	Menurun	Meningkat	Meningkat	Hilang
$K_d$	Perubahan Kecil	Menurun	Menurun	Perubahan Kecil

## METODE PENELITIAN

### Model Penelitian

Model sistem pegas katup pada sistem hidrolik yang dikaji, diilustrasikan sebagai berikut :



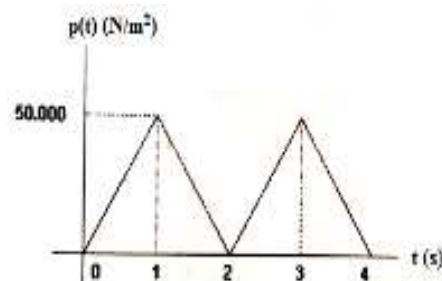
Gambar 1. Model sistem pegas katup pada sistem hidrolik (Susatio, 2006)

Data parameter-parameter dari komponen sistem di atas dapat ditunjukkan pada tabel 2. berikut ini.

Tabel 2. Data parameter sistem pegas katup [8]

Parameter	Simbol	Nilai
Diametersilinder	$d$	50 mm
Massa katup	$M$	0,25 kg
Konstanta pegas	$k$	2500 N/m
Konstanta redaman	$c$	10 Ns/m

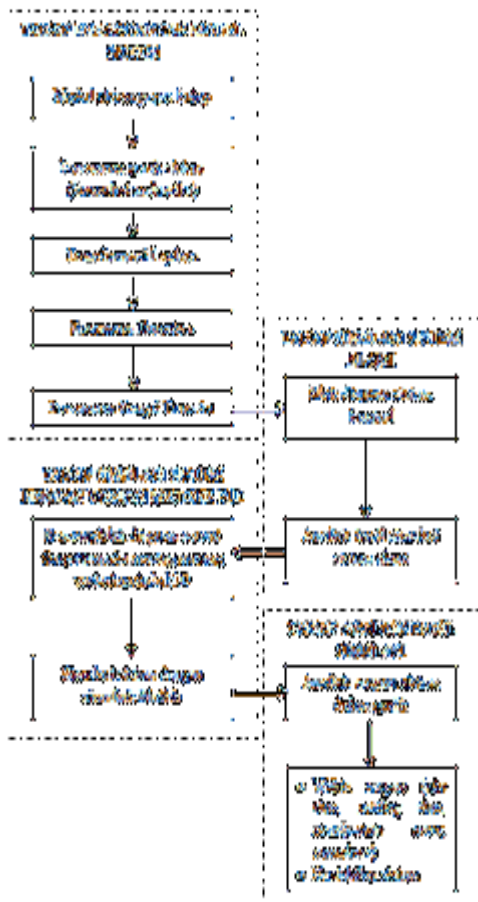
Perubahan tekanan  $p(t)$  terhadap waktu  $t$  secara periodik, diasumsikan gelombang segitiga, seperti gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Gelombang segitiga perubahan tekanan terhadap waktu secara periodik [8]

Dalam hal ini, gelombang segitiga digunakan dengan asumsi bahwa proses analisis gaya eksitasi berubah mengikuti perubahan tekanan secara periodik. Kompresi tekanan yang diberikan sebesar 50.000 N/m<sup>2</sup> atau 7,2 psi.

**Prosedur Penelitian**



Gambar 3. Diagram alir penelitian

**HASIL DAN PEMBAHASAN**  
**Sistem Kontrol Open Loop**

Persamaan (4.1), (4.2), dan (4.3) merupakan persamaan fungsi transfer yang digunakan untuk simulasi sistem alami atau sistem *open loop*.  $X(s)$  merupakan output

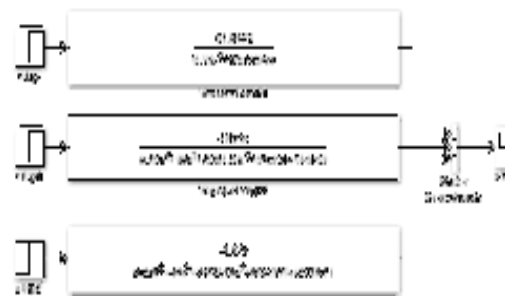
sistem dan gaya eksitasi  $F1(s)$ ,  $F2(s)$ , dan  $F4(s)$  merupakan input sistem. Output dan input harus sebanding atau sama dengan 1 agar sistem dapat dikatakan stabil. Simulasi yang ditampilkan berupa grafik 2 dimensi dengan sumbu-x mewakili parameter waktu dan sumbu-y mewakili parameter simpangan kestabilan sistem.

$$\frac{X(s)}{F1(s)} = \frac{49,0875}{0,25s^2+10s+2500} \tag{15}$$

$$\frac{X(s)}{F2(s)} = \frac{-39,8s}{0,25s^4+10s^3+2502,46s^2+98,596s+24649} \tag{16}$$

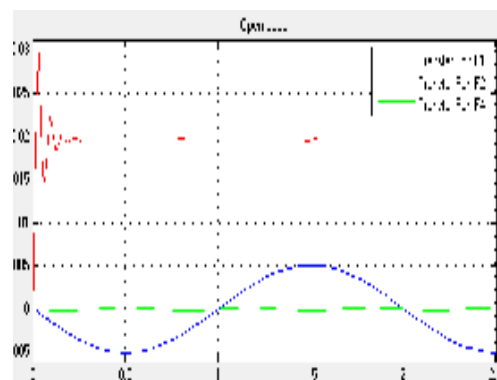
$$\frac{X(s)}{F4(s)} = \frac{-4,42s}{0,25s^4+10s^3+2522,18s^2+887,364s+221841} \tag{17}$$

Simulasi sistem *open loop* perlu dilakukan untuk mengetahui karakteristik alami pegas katup pada sistem hidrolik. Berikut adalah desain blok diagram sistem *open loop* pada Simulink Matlab.



Gambar 4. Blok diagram sistem *open loop* pegas katup sistem hidrolik pada simulink Matlab.

Blok diagram seperti gambar (4) akan memberikan grafik respon sistem seperti yang ditunjukkan pada gambar (5) di bawah ini.



Gambar 5. Grafik respon sistem *open loop* pegas katup sistem hidrolik

Berdasarkan grafik respon sistem *open loop* di atas, dapat dilihat bahwa sistem tersebut tidak stabil. Hal ini juga ditunjukkan

oleh data grafik yang diberikan Matlab. Pada setiap waktu yang diberikan, simpangan kestabilan ketiga grafik selalu berubah – ubah yang menandakan terus terjadinya osilasi dan tidak pernah mencapai keadaan mantap (*steady*). Pada grafik F1, osilasi kontinu terjadi di *setpoint* 0,0196. Namun, grafik F1 menunjukkan kecenderungan stabil meskipun jauh dari *setpoint* 1. Sedangkan grafik F2 dan F4 osilasi kontinu terjadi di sekitar *setpoint* 0 dan cenderung tidak stabil sama sekali. Oleh karena itu, analisis parameter – parameter kestabilan hanya dapat dilakukan untuk gaya eksitasi F1 seperti pada tabel 3. Parameter *error steady-state* tidak dapat dianalisis karena respon sistem tidak pernah mencapai keadaan mantap (*steady*).

Tabel 3. Hasil respon sistem *open loop* gaya eksitasi F1

<b>Rise time (s)</b>	0,2467
<b>Settling time (s)</b>	0,2604
<b>Setpoint</b>	0,0196(*)
<b>Maximum</b>	0,0101
<b>Overshoot</b>	

Ket: (\*) = masih terjadi osilasi (tidak *steady*)

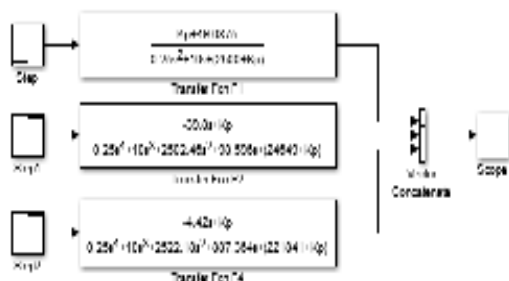
Dengan memperoleh karakteristik sistem alami yang tidak stabil, maka perlu diterapkan metode kontrol terhadap sistem sehingga dapat diperoleh hasil respon sistem yang stabil sesuai dengan yang diharapkan. Metode kontrol yang digunakan adalah metode kontrol PID. Sistem yang telah dikenai metode kontrol disebut sistem kontrol *closed loop*.

### Sistem Kontrol Closed Loop

Metode PID dibedakan menjadi 4 macam, yaitu metode variasi kontroler proporsional (P), metode variasi kontroler proporsional-derivatif (PD), metode variasi kontroler proporsional-integral (PI), dan metode variasi kontroler proporsional-integral-derivatif (PID) yang merupakan penggabungan dari tiga kontroler.

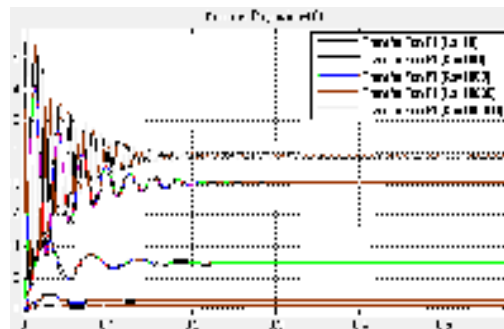
### Metode Variasi P

Blok diagram dengan simulink Matlab akan nampak seperti gambar 6 di bawah ini.



Gambar 6. Desain blok diagram fungsi transfer dengan kontroler proporsional

Telah dilakukan variasi – variasi nilai konstanta Kp untuk setiap gaya eksitasi (lihat lampiran I). Untuk gaya eksitasi F2 dan F4, semua variasi nilai Kp menghasilkan respon sistem yang tidak stabil. Osilasi terus berlangsung dan *overshoot* yang dihasilkan semakin meningkat ketika nilai Kp yang digunakan semakin besar. Hanya untuk gaya eksitasi F1, respon sistem menunjukkan kecenderungan stabil sehingga dapat dianalisis parameter – parameter kestabilannya.



Gambar 7. Respon sistem kontroler proporsional pada gaya F1

### Metode Variasi PD

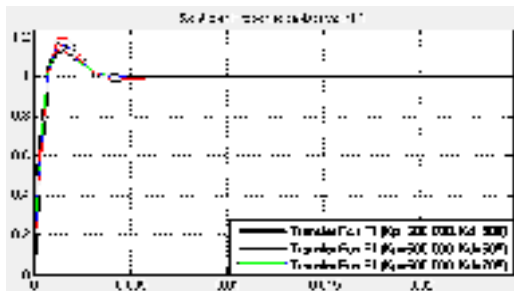
Blok diagram dengan simulink Matlab, akan nampak seperti gambar 8 di bawah ini.



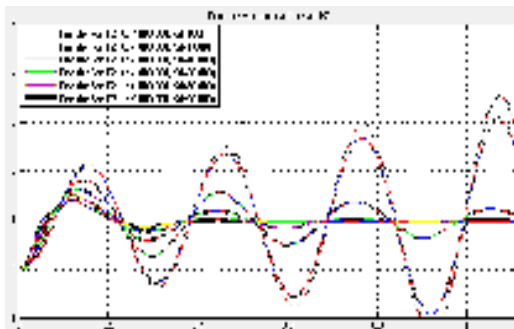
Gambar 8. Desain blok diagram fungsi transfer dengan kontroler proporsional-derivatif (PD)

Telah dilakukan variasi – variasi terhadap nilai Kp dan Kd untuk gaya eksitasi F1, F2, dan F4. Semakin besar nilai Kd yang

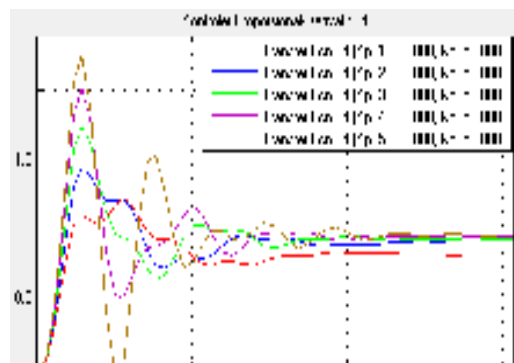
digunakan maka sistem akan memberikan respon dengan menurunnya *settling time* dan *overshoot*, serta perubahan kecil pada *rise time* dan *steady-state error*. Untuk gaya eksitasi F1, kombinasi konstanta  $K_p$  dan  $K_d$  yang memberikan respon sistem yang paling baik adalah  $K_p = 600.000$  dan  $K_d = 700$ . Lebih dari kombinasi nilai tersebut, Matlab menunjukkan respon sistem yang dimulai dari waktu 2,0355 detik sehingga respon sistem awal ( $t=0 - 2,0355$  detik) tidak muncul. Berdasarkan respon transien, setiap kombinasi nilai  $K_p$  dan  $K_d$  pada gaya eksitasi F2 dan F4 memiliki kekurangan pada parameter – parameter tertentu baik itu *rise time*, *settling time*, kestabilan, *overshoot* dan *steady-state error*. Beberapa grafik respon sistem untuk setiap gaya eksitasi dapat dilihat di bawah ini.



untuk gaya eksitasi F1



Gambar 10. Grafik respon sistem kontroler PD untuk gaya eksitasi F2



Gambar 11. Grafik respon sistem kontroler PD untk gaya eksitasi F4.

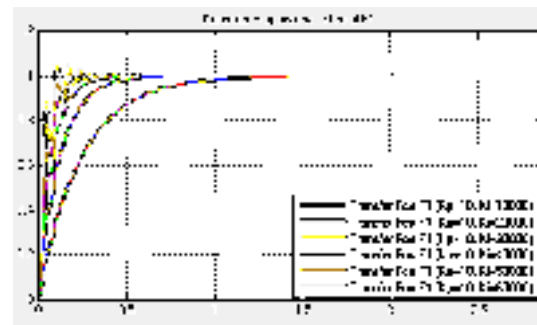
**Metode Variasi PI**

Blok diagram dengan simulink Matlab akan nampak seperti gambar 12 di bawah ini.



Gambar 12. Desain blok diagram fungsi transfer dengan kontroler proporsional-integral (PI) untuk pegas katup sistem hidrolik

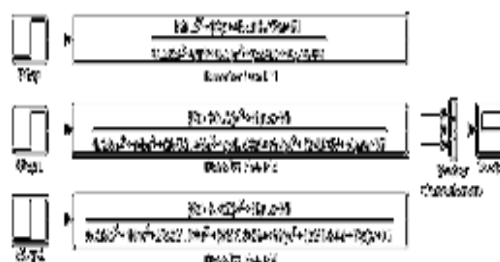
Telah dilakukan variasi – variasi terhadap nilai  $K_p$  dan  $K_i$  untuk gaya eksitasi F1, F2, dan F4. Analisis hanya dilakukan pada gaya eksitasi F1 karena respon sistem yang cenderung stabil hanya ditunjukkan pada gaya tersebut. Sedangkan untuk gaya eksitasi F2 dan F4, bagaimanapun variasi nilai konstanta  $K_p$  dan  $K_i$  tidak akan memberikan respon sistem yang stabil.



Gambar 13. Grafik respon sistem kontroler PI untuk gaya eksitasi F1

**Metode Variasi PID**

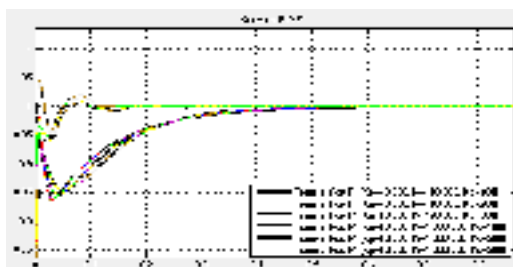
Blok diagram dengan simulink Matlab akan nampak seperti gambar 14 berikut.



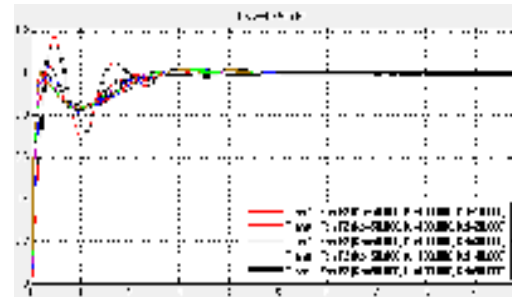
Gambar 14. Desain blok diagram fungsi transfer dengan kontroler proporsional-integral-derivatif (PID)

Telah dilakukan variasi – variasi terhadap nilai  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  untuk gaya eksitasi F1, F2, dan F4. variasi nilai yang memberikan respon sistem terbaik untuk gaya eksitasi F1 adalah dengan menggunakan nilai  $K_p = 10.000$ ,  $K_i = 10.000.000$ , dan  $K_d = 100$ . Meskipun terdapat *overshoot* 0,0484, namun dalam waktu yang cukup singkat respon sistem dapat mencapai *setpoint* 1. Untuk gaya eksitasi F2, variasi nilai yang memberikan respon sistem terbaik adalah  $K_p = 50.000$ ,  $K_i = 100.000$ ,  $K_d = 20.000$ . Dengan variasi ini, sistem mampu mencapai *setpoint* 1 dalam waktu sekitar 4 detik dengan *overshoot* yang tidak terlalu besar, yakni 0,0340. Untuk gaya eksitasi F4, respon terbaik diberikan dengan menggunakan nilai  $K_p = 1.000.000$ ,  $K_i = 10.000.000$  dan  $K_d = 60.000$ . Dengan variasi ini, sistem mampu mencapai *setpoint* 1 dalam waktu sekitar 1,4 detik dengan *overshoot* 0,3824. Nilai *overshoot* ini lebih besar jika dibandingkan dengan menggunakan  $K_p = 1.000.000$ ,  $K_i = 1.000.000$ , dan  $K_d = 50.000$  dan 60.000. Namun, *rise time* dan *settling time* untuk nilai variasi tersebut cukup besar sehingga tidak dipilih sebagai variasi yang memberikan respon sistem terbaik.

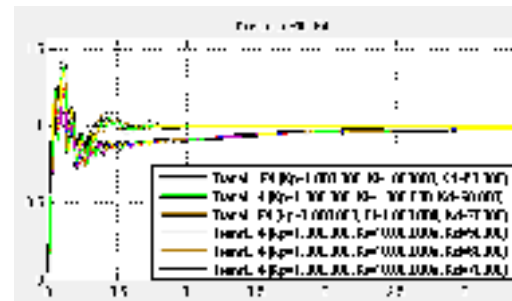
Penggunaan nilai  $K_p$  yang semakin besar akan membuat *overshoot* semakin meningkat, penggunaan nilai  $K_i$  yang semakin besar akan mempengaruhi *rise time* dan *settling time* sehingga menjadi lebih singkat dan menghilangkan *SS error*.



Gambar 15. Grafik respon sistem kontroler PID untuk gaya eksitasi F1



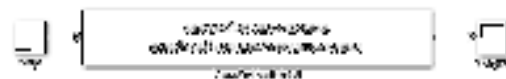
Gambar 16. Grafik respon sistem kontroler PID untuk gaya eksitasi F2



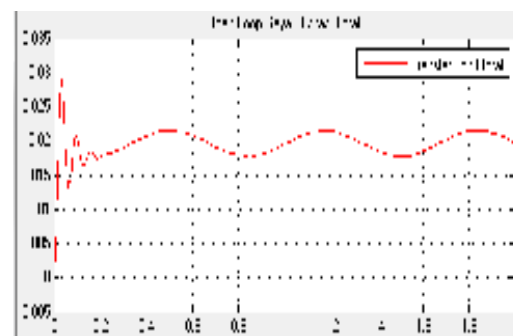
Gambar 17. Grafik respon sistem kontroler PID untuk gaya eksitasi F4

### Gaya Eksitasi Total

Bentuk blok diagram *open loop* gaya eksitasi total nampak seperti gambar 18 dan memberikan respon sistem seperti gambar 19 berikut.



Gambar 18. Blok diagram sistem alami (*open loop*) untuk gaya eksitasi total



Gambar 19. Respon sistem *open loop* untuk gaya eksitasi total



Dengan respon sistem seperti gambar (19) yang menunjukkan kecenderungan stabil, maka dapat dianalisis parameter – parameter kestabilan sistem yang ditunjukkan oleh tabel (4) di bawah ini.

Tabel 4. Hasil analisa respon sistem *open loop* gaya eksitasi total

<b>Rise time (s)</b>	0,2876
<b>Settling time (s)</b>	0,3035
<b>SS Error (%)</b>	-
<b>Setpoint</b>	0,019(*)
<b>Maximum Overshoot</b>	0,0102

Ket: (\*) = masih berosilasi (tidak *steady*)

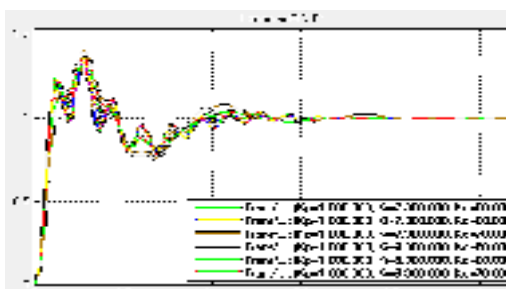
Tabel (4) memberikan hasil analisis respon sistem yang jauh dari respon sistem stabil. Oleh karena itu, pada gaya eksitasi total diterapkan metode kontrol untuk menghasilkan sistem yang stabil. Karena telah diketahui bahwa kontroler yang cocok diterapkan untuk pegas katup sistem hidrolik berdasarkan analisa terhadap masing – masing gaya eksitasi sebelumnya, maka kontroler yang diterapkan pada gaya eksitasi total hanyalah kontroler PID.

Gaya eksitasi total yang dikenai kontroler PID memiliki fungsi transfer seperti persamaan (4.4).

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{49,0875s^3 + (Kd - 44,5782)s^2 + (Kp + 4355,848)s + Ki}{0,25s^4 + 10s^3 + 2522,18s^2 + (887,364 + Kd)s + (221841 + Kp)s + Ki} \quad (18)$$

Persamaan (18) dibuat dalam blok diagram simulink Matlab dengan mensubstitusikan variasi kontanta Kp, Ki, dan Kd yang diperoleh dengan cara *trial and error*.

Kombinasi Kp, Ki, dan Kd untuk gaya eksitasi total yang memberikan respon sistem terbaik adalah nilai Kp = 1.000.000, Ki = 7.000.000, dan Kd = 60.000. Secara keseluruhan, *rise time* dan *settling time* yang dihasilkan cukup singkat, kestabilan mencapai *setpoint* 1 dengan tidak adanya *SS Error*, serta sedikit *overshoot* yang dihasilkan dengan *maximum overshoot* yang rendah, yaitu 0,3309. Grafik respon sistem dapat dilihat pada gambar 20.



Gambar 20. Respon sistem kontroler PID untuk gaya eksitasi total

Pada gambar (20) secara fisis menunjukkan bahwa *overshoot* dan *undershoot* yang terjadi sebagai bentuk respon sistem kontroler PID untuk gaya eksitasi total, pada waktu 0 - 0,6 detik dikarenakan pola tekanan yang dimiliki adalah model gelombang segitiga secara periodik. Sampai pada waktu lebih dari 0,6 detik getaran sudah mulai dapat dikontrol untuk stabil pada *setpoint* 1.

Dari hasil – hasil ini, maka dapat diketahui bahwa jenis kontroler yang memberikan respon sistem yang paling baik adalah kontroler PID yang mengkombinasikan ketiga jenis konstanta, yaitu konstanta proporsional (Kp), konstanta integral (Ki), dan konstanta derivatif (Kd). Meskipun *rise time* dan *settling time* yang dihasilkan tidak sesingkat kontroler PD. Namun, kestabilan yang dihasilkan kontroler PID dengan kombinasi konstanta yang tepat mampu mencapai *setpoint* 1 dan *overshoot* yang dihasilkan cukup kecil, tanpa adanya osilasi berkelanjutan, serta menghilangkan *SS error*. Dengan perolehan ini, maka kontroler yang paling cocok diterapkan pada pegas katup sistem hidrolik adalah kontroler PID.

## PENUTUP

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan hal – hal sebagai berikut.

Model fisis sistem peredaman getaran pada pegas katup sistem hidrolik terdiri dari sebuah massa yang digantung pada sebuah pegas dan peredam, dimana memiliki persamaan gerak sistem telah ditransformasikan dan diubah menjadi fungsi transfer:.

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{49,0875s^3 - 44,5782s^2 + 4355,848s}{0,25s^4 + 10s^3 + 2522,18s^2 + 887,364s + 221841}$$

Hasil simulasi respon sistem gaya eksitasi total sebelum dikontrol menunjukkan sistem yang tidak stabil, yaitu dengan *rise time* 0,2876 s, *settling time* 0,3035 s, *maximum overshoot* 0,0102, dan hanya mencapai kestabilan 0,019

dengan masih beresilasi. Hasil simulasi sistem yang telah dikontrol dengan metode PID memberikan respon sistem yang stabil. Diperoleh *rise time* 1,2119 s, *settling time* 1,2792 s, tidak terdapat *error steady state* ( $e = 0\%$ ) karena mencapai *setpoint* 1 tanpa ada osilasi berkelanjutan dan hanya memiliki *maximum overshoot* yang kecil, yaitu 0,3309.

Variasi metode PID yang memberikan respon sistem yang paling baik untuk meredam getaran pegas katup sistem hidrolik adalah dengan mengkombinasikan ketiga konstantanya, yakni konstanta proporsional ( $K_p$ ) sebesar  $10^6$ , konstanta integral ( $K_i$ ) sebesar  $7 \times 10^6$  dan konstanta derivatif ( $K_d$ ) sebesar  $6 \times 10^4$ .

### Saran

Berdasarkan hasil penelitian, maka penulis menyampaikan beberapa saran sebagai berikut.

Setelah diperoleh nilai  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  yang memberikan respon sistem yang cukup stabil, maka dapat dicoba lagi dengan nilai – nilai yang lebih kecil dalam interval tersebut. Sehingga dapat diperoleh respon sistem yang lebih baik.

Kasus ini dapat diselesaikan dengan metode kontrol lain, seperti metode *fuzzy logic* dan metode DVA (*Dynamic Vibration Damper*) untuk memperoleh perbandingan hasil metode yang lebih tepat digunakan sebagai pendalaman kasus ini.

### DAFTAR PUSTAKA

1. Effendi N., dkk., 2008, Peredaman Osilasi Getaran pada Suatu Sistem dengan Pemodelan Pegas-Damper Menggunakan Kendali Logika Fuzzy, <http://jurnal.upnyk.ac.id/>, diakses pada 24 November 2015.
2. Lubis, A., Hasymi Z., 2011, Studi Numerik dan Eksperimental Karakteristik Dinamik Model Sistem Suspensi, Jurnal Teknik Ilmiah Mesin, Vol.5, No.1, Lampung
3. Fadilla, Iwan, 2015, Aplikasi Valve Spring (Per Klep) Ganda, <http://motogokil.com/>, diakses pada 24 November 2015.
4. Kause, Y.A.P., 2013, Simulasi Peredaman Osilasi Getaran pada Sistem Pegas Damper dengan Variasi Metode PID menggunakan Simulink Matlab, Skripsi, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang.
5. Takene YD. 2014, Simulasi Sistem Peredaman Getaran pada Mesin Rotasi dengan Variasi Metode PID (Proportional, Integral, dan Derivatif) Memanfaatkan Simulink Matlab, Skripsi, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang.
6. Thoyib. 2012. Fungsi Klep/Katup/Valve dan Kelengkapannya, <http://www.laskar-suzuki.com/>, diakses pada 03 Oktober 2015.
7. Ali M. 2004. Pembelajaran Perancangan Sistem Kontrol PID dengan Software Matlab. Jurnal edukasi@elektro.1(1) : 1-8. Yogyakarta.
8. Susatio Y. 2006. MathCAD: Solusi Problematika Matematika dan Fisika, Penerbit Andi, Yogyakarta.