

# PEMODELAN , IDENTIFIKASI PARAMETER DAN PERANCANGAN SISTEM KENDALI AKTUATOR SOLENOID

Indrawanto dan Vani Virdyawan

Program Studi Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara  
Institut Teknologi Bandung  
Jl. Ganesa 10 Bandung

Tlp : 022-2504243, Fax : 022-2534099 Email: indrawanto@tekprod.ms.itb.ac.id

## Abstrak

Perangkat mekatronika saat ini telah berkembang begitu pesat. Salah satu komponen utama perangkat mekatronika adalah perangkat penggerak atau aktuator. Solenoid merupakan aktuator linier elektro mekanik yang saat ini penggunaannya masih terbatas pada aplikasi sederhana yakni tanpa kemampuan kendali posisi. Solenoid merupakan perangkat gerak sederhana, tangguh dan murah. Tanpa sistem kendali posisi solenoid tidak dapat dimanfaatkan pada perangkat mekatronik yang memerlukan gerak linier terkendali. Makalah ini menyajikan tentang pemodelan karakteristik dinamik solenoid dan perancangan sistem kendali posisi linier untuk solenoid. Model dinamik solenoid diperlukan untuk merancang sistem kendali posisi. Parameter-parameter model dinamik diperoleh dengan pengujian. Parameter model dinamik solenoid diperoleh dengan menggunakan metoda least-square. Model yang didapat yang berupa model state space linier, selanjutnya disimulasikan menggunakan piranti lunak. Hasil simulasi model kemudian dibandingkan dengan hasil pengujian untuk mendapat validasi model. Untuk perancangan sistem kendali digunakan metode pole placement. Hasil simulasi sistem kendali posisi solenoid menunjukkan bahawa sistem kendali yang dirancang mampu mengendalikan posisi solenoid dengan baik.

*Kata kunci: Aktuator, model state-space, metoda least-square, Pole Placement*

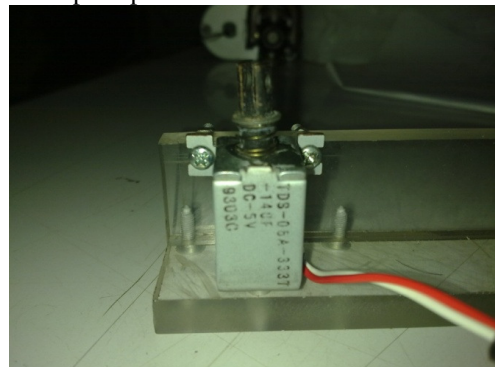
## 1. Pengantar

Sistem optik pada kendaraan tempur memiliki sensitivitas yang sangat tinggi terhadap gangguan angular. Nilai eror dari sistem ini mencapai satu meter tiap kilometer tiap perubahan satu miliradian dari sudut pitch, sehingga diperlukan suatu isolasi untuk mengurangi gangguan tersebut. Salah satu cara untuk mengurangi gangguan adalah dengan menggunakan sistem aktif (sistem stability platform), dimana diberikan energi dari luar untuk mengurangi gangguan getaran [1].

Sistem stability platform yang digunakan menggunakan aktuator berupa solenoid dan massa pegas. Solenoid merupakan jenis aktuator yang banyak digunakan dalam industri, namun penggunaannya hanya sebatas untuk membuka/menutup katup saja. Pemilihan solenoid sebagai aktuator dikarenakan karena kelebihanannya yaitu konstruksinya yang sederhana, memiliki reliabilitas yang tinggi, dan harganya yang relatif murah. Solenoid memiliki kekurangan yaitu sifat medan magnetnya tidak linier sehingga jarang digunakan sebagai aktuator proporsional [2].

Dalam sistem kendali, pemodelan merupakan hal yang sangat penting, dengan adanya model yang baik dapat diperoleh sistem kendali yang baik pula. Oleh

karena itu diperlukan pemodelan dari solenoid yang akan digunakan sebagai aktuator pada sistem stability platform. Pemodelan yang dilakukan kemudian dibandingkan dengan hasil pengujian, dan dilakukan proses linierisasi untuk perancangan sistem kendali. Gambar 1.1 menunjukkan perangkat solenoid yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 1. 1 Sistem solenoid dan massa pegas yang digunakan

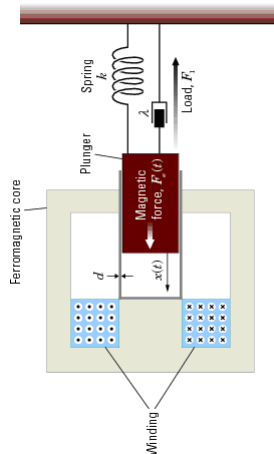
## 2. Teori Dasar

Solenoid adalah komponen elektronik yang berupa

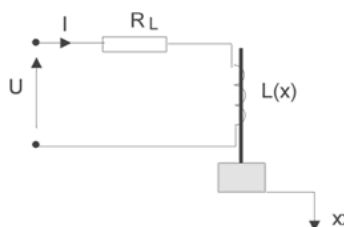


lilitan kawat dengan inti tertentu. Pada rangkaian elektronik, solenoid berfungsi seperti induktor, yaitu memiliki tahanan apabila terjadi perubahan arus, sehingga persamaan-persamaan yang berlaku pada induktor juga berlaku pada solenoid sehingga solenoid dapat dimodelkan sebagai sebuah induktor [3].

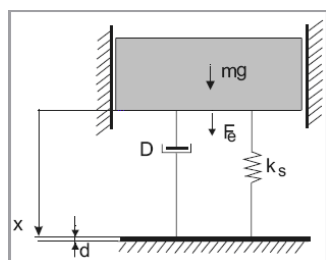
Pemodelan dari sistem solenoid dan massa pegas dapat dibuat menjadi dua buah sistem, yaitu sistem mekanik dan sistem elektrik. Sistem mekanik terdiri dari massa, pegas, dan damper sedangkan sistem elektrik terdiri dari resistor dan induktor. Gambar 2.1 menunjukkan model sistem solenoid.



Gambar 2.1 Sistem solenoid dengan massa, pegas dan damper (dari *mathworks guide*)



Gambar 2.2 Pemodelan sistem elektrik [4]



Gambar 2.3 Pemodelan sistem mekanik [4]

Dari kedua sistem tersebut berlaku persamaan sebagai berikut [4]

$$u = i \frac{dL(x)}{dx} \frac{dx}{dt} + L(x) \frac{di}{dt} + Ri \quad (1)$$

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + D \frac{dx}{dt} + Kx = F_{mag} \quad (2)$$

$$F_{mag} = \frac{1}{2} i^2 \frac{dL(x)}{dx} \quad (3)$$

dengan

$m$  = massa dari inti besi (Kg)

$x$  = posisi inti besi (meter)

$D$  = koefisien dari damping pada sistem mekanik (Newton detik/meter)

$K$  = kekakuan pegas (Newton/meter)

$i$  = arus listrik yang mengalir pada solenoid (Ampere)

$L$  = induktansi pada solenoid (Henry)

$F_{mag}$  = gaya magnet yang ditimbulkan akibat adanya arus listrik di solenoid (Newton)

Dari Pers.(1) dan Pers. (3) terlihat bahwa sistem solenoid adalah tak-linier. Dalam sistem ini akan diterapkan kontrol linier, untuk itu perlu dilakukan linierisasi model. Parameter model sistem yang dilinierisasi diestimasi dengan metode *least square*. Data-data dari pengujian selanjutnya didekati dengan suatu persamaan linear yang ditunjukkan pada Pers. (4)

$$y = p_1 x + p_2 \quad (4)$$

besarnya jumlah kesalahan kuadrat antara keluaran sistem dan model diberikan oleh Pers. (5)

$$e = \sum_{i=1}^n (y_i - (p_1 x_i + p_2))^2 \quad (5)$$

dengan

$e$  = jumlah kesalahan

$y_i$  = data hasil pengujian ke- $i$

$x_i$  = nilai input data ke- $i$

$p_1$  dan  $p_2$  adalah konstanta model linier yang dicari

### 3. Pemodelan dan Pengujian

Dari persamaan (1), (2), dan (3) dapat dilakukan simulasi perilaku dinamik dengan menggunakan software MATLAB®. Dari pengujian sistem solenoid diperoleh nilai massa pegas adalah 4 gram dan damping ratio 0,62. Nilai induktansi  $L(x)$  terhadap jarak dari solenoid didekati dengan persamaan orde 3 seperti ditunjukkan pada Pers. (6) di bawah ini

$$L(x) = 57708x^3 - 300,8x^2 + 0,888x + 0,004H \quad (6)$$

Gambar 3.1 menunjukkan keluaran solenoid dan keluaran model terhadap input tegangan. Perbandingan hasil pemodelan dengan hasil pengujian menunjukkan bahwa model yang didapat mendekati perilaku system



sebenarnya, dengan kesalahan maksimum sebesar 9% pada tegangan input 5V.

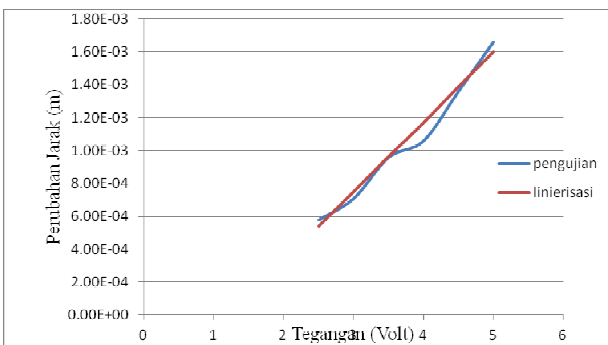


Gambar 3. 1 Perbandingan antara hasil pengujian dengan pemodelan

Dari proses linierisasi diperoleh konstanta sebagai berikut:

- Hasil kali antara pengali arus dengan turunan induktansi = 0,68
- $L(x) = 0,00523$
- Nilai konstanta  $p_2 = -0,000523$

Pemodelan dengan linierisasi menunjukkan hasil yang cukup baik untuk jangkauan tegangan input 2,5V hingga 5V yaitu dengan kesalahan 10% seperti ditunjukkan pada Gambar 3.2 di bawah ini



Gambar 3. 2 Perbandingan antara hasil pengujian dengan proses linierisasi

Dari nilai-nilai konstanta yang diperoleh dapat diturunkan persamaan *state space* sistem solenoid yang dilinierisasi ditunjukkan pada Pers. (7)

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -50000 & -350 & 85 \\ 0 & -130 & -765 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 191,2 \end{bmatrix}$$

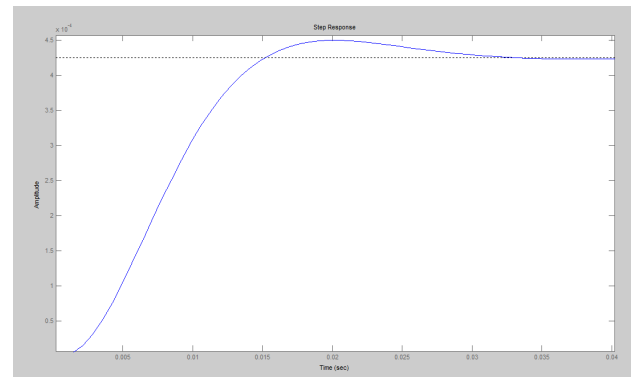
$$C = [1 \quad 0 \quad 0] \quad D = 0 \quad (7)$$

Dari model *state space* Pers. (7) di atas selanjutnya dengan menggunakan metode *pole placement* [5] untuk

menghitung gain umpan balik sehingga letak titik pole sistem jerat tertutupnya dapat diletakkan pada:

- $pole_1 = -150 + 170i$
- $pole_2 = -150 - 170i$
- $pole_3 = -750$

Hasil simulasi model sistem jerat tertutup, diperoleh nilai settling time, dan overshoot yang cukup baik, yaitu settling time sebesar 0,035 detik dan overshoot sebesar 6%, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Hasil pemodelan sistem jerat tertutup terhadap input berupa step

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil pemodelan, pengujian dan simulasi pada system solenoid maka dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

- Solenoid dapat dimodelkan sebagai proporsional aktuator.
- Pemodelan solenoid berhasil dilakukan, dengan kesalahan maksimum sebesar 9% yaitu pada tegangan yang diberikan sebesar 5 volt
- Linierisasi sistem dapat digunakan pada tegangan antara 2,5 Volt hingga 5 Volt, dengan kesalahan maksimum 10,4%.
- Perancangan sistem kendali jerat tertutup dilakukan dengan metode *pole placement*. settling time untuk sistem jerat tertutup adalah 0,035 s dan persen overshotnya 6%.

Dari penelitian ini menunjukkan bahwa solenoid dapat dimanfaatkan sebagai aktuator linier.

#### Daftar Pustaka

[1] C. R. Bester, M. C. Van Schoor, *Line-of-sight Stabilization of an Optical Instrument Using Gained Magnetostrictive Actuators*, Journal of Intelligent Material Systems and Structures, 15:2004

[2] M. F. Rahman, N. C. Cheung, and K. W. Lim, *Modelling of a Nonlinear Solenoid Towards Development of a Proportional Actuator*, Int. Conf.



- Modeling and Simulation of Electrical Machines, Convertors and Systems, 2: 695-670,1996.
- [3] Raymond A. Serway, John W. Jewett, *Physics for Scientists and Engineers*, Thomson Brooks/Cole, USA, 2004.
- [4] Janusz Zieba, *Simulation of a Solenoid Actuator for a Device for Investigating Dynamic Air Permeability Through Flat Textile Product*, FIBRES AND TEXTILE in Eastern Europe, 11(2): 85-87, 2003.
- [5] Gene F. Franklin, J. David Powell, Abbas Emami Naeni, *Feedback Control of Dynamics Systems*,4th Edition, Prentice Hall, New Jersey, 2002.

