

ESTIMASI PARAMETER SERVOMOTOR DC MENGGUNAKAN PROSES OPTIMASI

Arjoni Amir

Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir (PRPN) – BATAN
Email : arjoniamir@batan.go.id

ABSTRAK

ESTIMASI PARAMETER SERVOMOTOR DC MENGGUNAKAN PROSES OPTIMASI. Telah dilakukan pemodelan dan simulasi parameter servomotor DC dengan menggunakan proses optimasi dengan perangkat lunak Simulink Matlab. Tujuan estimasi parameter servomotor DC adalah untuk mendapatkan nilai parameter servomotor DC (B , L_a , R_a , K_m , J) yang signifikan sehingga nilai parameter ini bisa dipakai dalam rangkaian sistem pengendalian yang berfungsi sebagai aktuator. Dalam analisis sistem pengendalian servomotor DC dinyatakan dalam persamaan fungsi transfer sehingga mudah dianalisis sebagai komponen aktuator. Untuk mendapatkan model data parameter dan kondisi awal servomotor DC tersebut maka dilakukan proses pemodelan dan simulasi dimana servomotor DC digabung dengan komponen lain. Untuk mendapatkan data awal parameter servomotor DC bisa diperoleh dari nilai estimasi sementara pabrik servomotor DC tersebut. Data awal parameter servomotor DC tersebut kemudian dilakukan proses optimasi menggunakan algoritma nonlinear least square dan mengecilkan nilai cost function sehingga diperoleh nilai parameter servomotor DC yang signifikan. Hasil proses optimasi diperoleh nilai parameter servomotor DC yaitu dengan $B = 0.039881$, $J = 1.2608e-007$, $K_m = 0.069648$, $L_a = 2.3242e-006$ dan $R_a = 1.8837$.

Keyword : elektromekanik, servomotor DC, estimasi parameter, Simulink, nonlinear least square

ABSTRACT

A PARAMETER ESTIMATION FOR DC SERVOMOTOR BY USING OPTIMIZATION PROCESS. Modeling and simulation parameters of DC servomotor using Matlab Simulink software have been done. The objective to define the DC servomotor parameter estimation is to get DC servomotor parameter values (B , L_a , R_a , K_m , J) which are significant value that can be used for actuation process of control systems. In the analysis of control systems DC the servomotor expressed by transfer function equation to make faster to be analyzed as a component of the actuator. To obtain the data model parameters and initial conditions of the DC servomotors is then carried out the process of modeling and simulation in which the DC servomotor combined with other components. To obtain preliminary data of the DC servomotor parameters as estimated value, it is obtained from the data factory of the DC servomotor. The initial data parameters of the DC servomotor are applied for the optimization process by using nonlinear least square algorithm and minimize the cost function value so that the DC servomotors parameter values are obtained significantly. The result of the optimization process of the DC servomotor parameter values are $B = 0.039881$, $J = 1.2608e-007$, $K_m = 0.069648$, $L_a = 2.3242e-006$ and $R_a = 1.8837$.

Keyword : electromechanics, DC servomotor, parameter estimation, Simulink, nonlinear least square

1. PENDAHULUAN

Komponen elektromekanik seperti servomotor DC banyak dipakai dalam peralatan sistem pengendalian yang berfungsi sebagai aktuator [1][2]. Dalam

sistem analisis pemodelan dan simulasi servomotor DC ini harus dimodelkan sebagai persamaan fungsi transfer agar bisa diperoleh hasil pemodelan yang benar [3]. Servomotor DC terdiri atas bagian rangkaian elektro dan mekanik dimana nilai parameter (B , L_a , R_a , K_m , J)

yang menyusun komponen ini diberikan oleh pabrik pembuatnya. Nilai parameter yang diberikan ini belum tentu cocok bila digabung dengan sistem rangkaian lainnya, sehingga perlu melakukan estimasi ulang parameter-parameter tersebut. Untuk melakukan estimasi parameter servomotor DC tersebut maka dilakukan pembuatan model data parameter estimasi dengan melakukan eksperimen simulasi menggunakan Simulink Matlab [4] yaitu menggabungkan servomotor DC dengan rangkaian lainnya kemudian dioperasikan sehingga diperoleh data parameter servomotor DC yang diukur dan yang disimulasikan dengan kondisi awal. Setelah dilakukan proses optimasi dengan menggunakan algoritma nonlinear least square dan mengecilkan nilai cost function sehingga diperoleh hasil yang cukup signifikan untuk parameter servomotor DC tersebut (B, La, Ra, Km, J).

2. TEORI

2.1. SERVOMOTOR DC

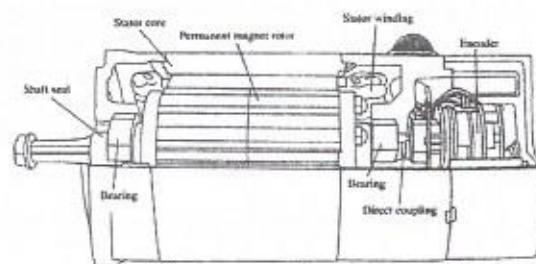
Servomotor umumnya tersedia sebagai motor AC atau motor DC. Awalnya servomotor adalah motor DC karena hanya jenis ini yang bisa memberikan kontrol untuk arus listrik besar dengan menggunakan SCR. Kemudian muncul servomotor AC yang sering digunakan karena servomotor AC menggunakan komponen transistor yang mampu mengendalikan arus listrik yang lebih besar pada frekuensi yang lebih tinggi.

Beberapa perubahan yang harus dilakukan pada setiap motor servomotor adalah kemampuan beroperasi pada berbagai variasi kecepatan tanpa terlalu panas, kemampuan untuk beroperasi pada kecepatan nol dan mempertahankan torsi yang cukup untuk menahan beban pada posisi tertentu, dan kemampuan untuk beroperasi pada kecepatan yang sangat rendah untuk jangka waktu yang lama tanpa terlalu panas.

Tipe lama servomotor memiliki kipas pendingin yang terhubung langsung ke poros motor, ketika motor berjalan

pada kecepatan lambat, udara tidak cukup untuk mendinginkan motor. Pada servomotor yang baru memiliki kipas yang terpisah sehingga diperoleh pendinginan yang optimal. Kipas ini didukung oleh sumber tegangan konstan sehingga perubahan pada RPM maksimum bisa setiap saat tanpa dipengaruhi oleh kecepatan servomotor tersebut.

Salah satu jenis motor yang dapat digunakan pada sistem servo adalah tipe motor magnet permanen (PM). Tegangan pada gulungan medan dari motor jenis magnet permanen ini dapat berupa tegangan AC atau tegangan DC. Jenis motor PM juga memiliki encoder atau resolver yang dibangun ke dalam rumah motor, berfungsi untuk menentukan posisi atau kecepatan poros motor, Gambar 1.



Gambar 1. Typical servomotors PM. (Courtesy of Pacific Scientific).

Servomotor dibedakan antara brushed motorservo (servomotor menggunakan sikat) dan brushless servomotor (servomotor tanpa menggunakan sikat). Perbedaan ini terdapat pada mekanisme yang digunakan untuk pergantian atau commutation. motorservo memindahkan atau membuat torsi berdasarkan pada kekuatan magnet yang berada didepannya. Pada umumnya terdapat sebuah magnet tetap dan magnet berputar. Magnet berputar (rotor) bergerak dengan cara mengubah polaritas melalui proses bolak balik arah arus melalui magnet. Proses memodifikasi arah arus didalam gulungan disebut commutation (pergantian).

Servomotor brushed terdiri atas bagian kuas mekanik yang digunakan untuk pergantian arus dalam gulungan motor. Arus listrik masuk karena disikat oleh kuas mekanik dimana arus listrik yang digunakan arus DC (direct current)

sehingga dikenal dengan servomotor DC (DC servometer). Bagian lain dari servomotor adalah *stator* yang berisi medan magnet dan *rotor* yang dibungkus kumparan kawat dalam slot sebuah inti besi dan terhubung ke sebuah komutator. Kuas terhubung dengan komutator dan membawa arus ke kumparan. Selama pemakaian beberapa waktu kuas ini menjadi haus dan menimbulkan gesekan ke dalam sistem, hal ini tidak terjadi pada servomotor brushless.

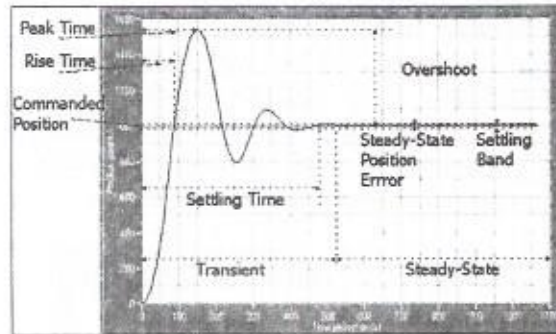
Persamaan fungsi transfer servomotor DC dimana pada bagian elektrik diasumsikan arus armatur konstan, tegangan input motor DC yang digunakan bervariasi, sedangkan untuk bagian mekaniknya shaft dianggap *massless*, *rigid*, *undamped* dan torsi beban diabaikan dinyatakan dengan persamaan [2],

$$\frac{\Theta(s)}{V(s)} = \frac{K / J L_a}{s \left[s^2 + \frac{B L_a + J R_a}{J L_a} s + \frac{B R_a}{J L_a} \right]} \quad (1)$$

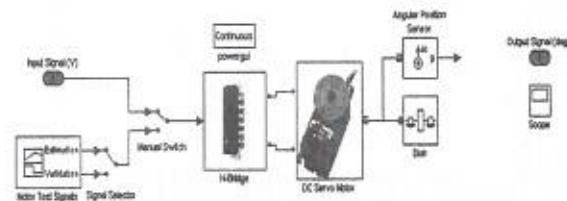
Dimana parameter B (koefisien torsi shaft), J (momen inersi), K_m (konstanta), L_a (induktansi armatur) dan R_a (resistansi armatur), $\Theta(s)$ (output posisi sudut putar), $V(s)$ (tegangan input).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

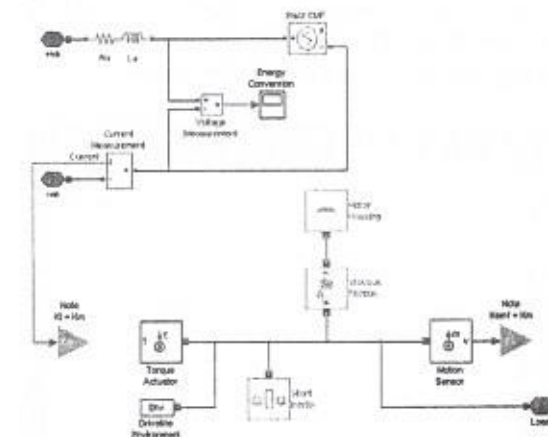
Estimasi model parameter dan kondisi awal servomotor DC dengan single atau multi input-output dapat dilihat pada data transient (Gambar 4). Dinamik sistem servomotor DC dinyatakan dalam bentuk data transient yang dapat diukur pada saat sistem tidak dalam keadaan *steady state*. Tipe data tersebut bisa dalam bentuk data *time-domain* seperti data dengan single/multi variabel input dan single/multi variabel output. Bentuk berikutnya adalah data *time series* seperti data yang tersimpan dalam sebuah objek dan yang terakhir adalah data *complex-valued* yaitu data dengan bilangan kompleks (data real dan data imaginary).



Gambar 4. Grafik dinamika sistem *step response* untuk servomotor DC



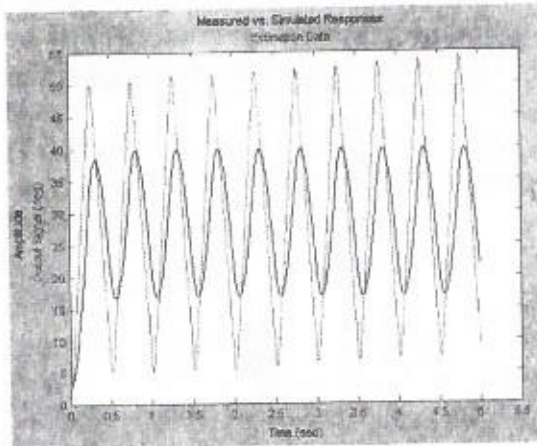
Gambar 5. Servomotor DC dalam rangkaian sistem estimasi parameter



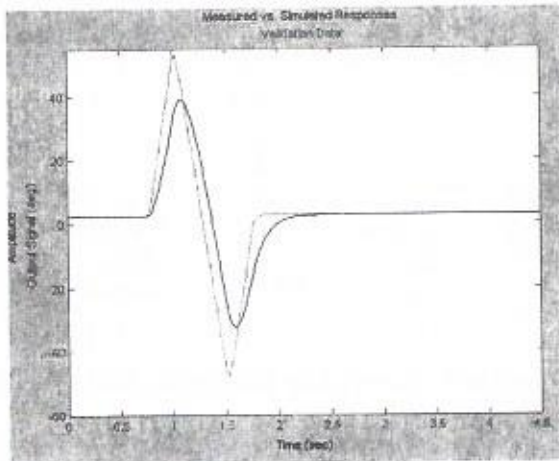
Gambar 6. Rangkaian pengganti Servo motor DC

Gambar 5 dan Gambar 6 dibuat menggunakan Simulink dari perangkat lunak Matlab dimana data transient servomotor DC diperoleh dari hasil operasi rangkaian model Simulink yang ditunjukkan oleh Gambar 5, dimana didalam rangkaian tersebut terdapat servomotor DC. Rangkaian servomotor DC (Gambar 6) memiliki lima parameter yaitu B (koefisien torsi shaft), J (momen inersi), K_m (konstanta), L_a (induktansi armatur) dan R_a (resistansi armatur). Dengan menggunakan tehnik optimasi dilakukan estimasi parameter tersebut dan

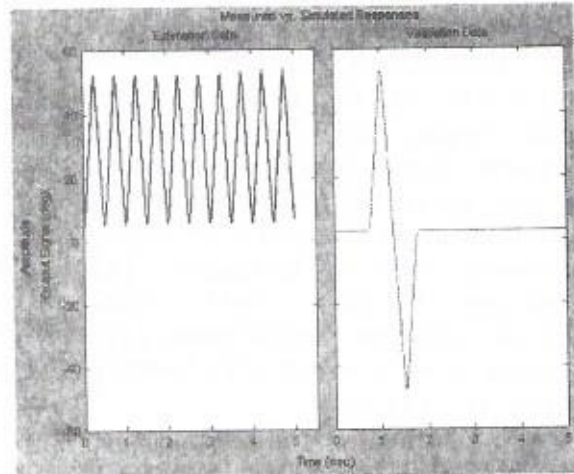
memberikan nilai kondisi awal disertai dengan proses minimalisasi persamaan *cost function* yang ditunjukkan oleh Tabel 2. Secara tipikal *cost function* menghitung least-square error (LSE) antara data yang diukur dan data yang disimulasikan.



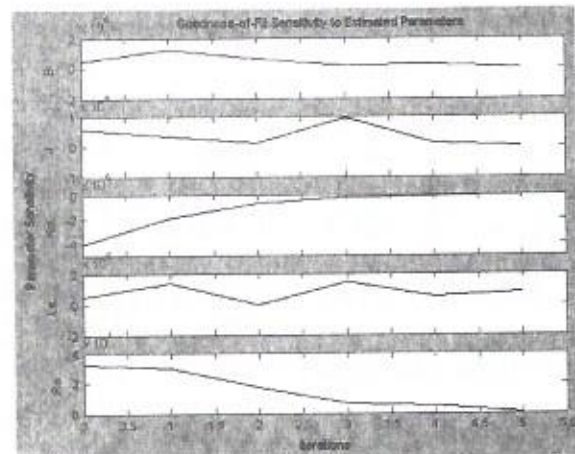
Gambar 7. Bentuk data estimasi yang diberikan melalui sinyal respon yang diukur dan sinyal respon yang disimulasikan dari servomotor DC dengan menggunakan nilai parameter awal



Gambar 8. Bentuk data validasi yang diberikan melalui sinyal respon yang diukur dan sinyal respon yang disimulasikan dari servomotor DC dengan menggunakan nilai parameter awal



Gambar 9. Bentuk grafik data estimasi dan validasi yang diberikan melalui sinyal respon yang diukur dan sinyal respon yang disimulasikan dari servomotor DC setelah proses estimasi



Gambar 10. Bentuk grafik data parameter (B, J, La, Ra, Km) setelah melalui proses optimasi

Tabel 1. Data parameter dari sinyal respon yang diukur dan sinyal respon yang disimulasikan dari servomotor DC dengan menggunakan nilai parameter awal

Parameter	Value	Estimate	Initial Guess	Minimum	Maximum	Typical Value
B	0.008	<input checked="" type="checkbox"/>	0.009	0	+Inf	B
J	5.7e-007	<input checked="" type="checkbox"/>	5.8e-006	0	+Inf	J
Km	0.0134	<input checked="" type="checkbox"/>	0.0141	0	+Inf	Km
La	6.5e-005	<input checked="" type="checkbox"/>	6.6e-005	0	+Inf	La
Ra	1.9	<input checked="" type="checkbox"/>	1.8	0	+Inf	Ra

Tabel 2. Data parameter servomotor DC setelah proses estimasi

Name	Value	Estimate	Initial Guess	Minimum	Maximum	Typical Value
B	0.039881	<input checked="" type="checkbox"/>	0.059	0	+Inf	B
J	1.2609e-007	<input checked="" type="checkbox"/>	5.8e-006	0	+Inf	J
Km	0.065648	<input checked="" type="checkbox"/>	0.0141	0	+Inf	Km
La	2.3242e-006	<input checked="" type="checkbox"/>	6.6e-005	0	+Inf	La
Ra	1.8337	<input checked="" type="checkbox"/>	1.8	0	+Inf	Ra

Tabel 3. Data parameter servomotor DC setelah proses estimasi

Iteration	Function Count	Cost Function	Step Size	Procedure
0	1	92224	1	
1	2	29343	0.090937	
2	3	8793.5	0.061839	
3	4	3018.5	0.045034	
4	5	1779	0.038411	
5	6	1606	0.01032	

Bila diberikan tegangan masukan pada model servomotor DC maka poros motor berputar memberikan respon. Jika model parameter (B, J, La, Ra, Km) tidak cocok dengan nilai sistem fisik motor maka model respon servomotor DC tidak cocok dengan sistem aktual yang sebenarnya. Gambar 7, Gambar 8 dan menunjukkan respon saat model servomotor DC menggunakan nilai parameter awal, dimana dibutuhkan estimasi parameter. Sebelum melakukan proses estimasi parameter servomotor DC maka dilakukan beberapa prosedur seperti mengumpulkan data dari servomotor DC, menentukan parameter servomotor DC (La, Ra, Km, B, J) untuk diestimasi (nilai awal, batas parameter, dll), membentuk konfigurasi estimasi dan menjalankan algoritma estimasi yang sesuai dan membuat validasi hasil tes terhadap dataset lain dan ulangi langkah diatas jika diperlukan.

Gambar 9 dan Gambar 10 menunjukkan hasil setelah dilakukan proses estimasi dan diikuti dengan proses optimasi. Pada gambar ini terlihat garis respon data parameter terukur dan respon data parameter yang disimulasikan menjadi satu, artinya data parameter servomotor DC memberikan nilai yang

sangat signifikan, begitu juga garis data validasi.

Tabel 1, 2 dan Tabel 3 memberikan hasil dari proses estimasi dan optimasi sehingga diperoleh data parameter servomotor DC seperti yang ditunjukkan dalam tabel tersebut.

4. KESIMPULAN

Parameter yang terdapat pada setiap komponen elektrikal maupun mekanikal (elektromekanik) selalu menjadi perhatian bagi kegiatan analisis dinamik sistem, termasuk kegiatan melakukan pemodelan dan simulasi seperti estimasi parameter servomotor DC (B, J, Km, Ra, La). Salah satu hasil model estimasi terhadap data parameter servomotor DC dilakukan menggunakan tehnik optimasi menggunakan algoritma nonlinear least square dan memberikan cost function yang seminimum mungkin. Hasil estimasi ini diperoleh data parameter servomotor DC yang optimal yang selanjutnya bisa dipakai dalam persamaan blok fungsi transfer pada kegiatan identifikasi sistem.

Untuk kegiatan selanjutnya akan dicoba menggunakan tehnik optimasi menggunakan algoritma lain.

5. PUSTAKA

1. THOMAS E. KISSELL., Industrial Electronics: Applications for Programmable Controllers, Instrumentation and Process Control, and Electrical Machines and Motor Controls, 3/E , Prentice-Hall, 2003.
2. KATSUKO OGATA. 1997. "Modern Control Engineering" Prentice Hall Int, 3 rd Edition, USA.
3. HUNG V.VU; RAMIN S. ESFANDIARI., "Dynamic Systems Modeling and Analysis". McGraw-Hill International Edition, 1998.
4. ANONYMOUS., "Simulink Design Optimization™ Getting Started Guide". Available : www.matworks.com, September 2009.
5. JACK GOLTEN AND ANDY VERWER. 1992. "Control System Design and Simulation", McGraw Hill Int. Ed, Singapore.