

ANALISA DINAMIK PADA KONTROL JOINT SIMULATOR KENDALI TURRET

Munadi¹⁾ dan Mohammad Tauviqirrahman²⁾

Abstract

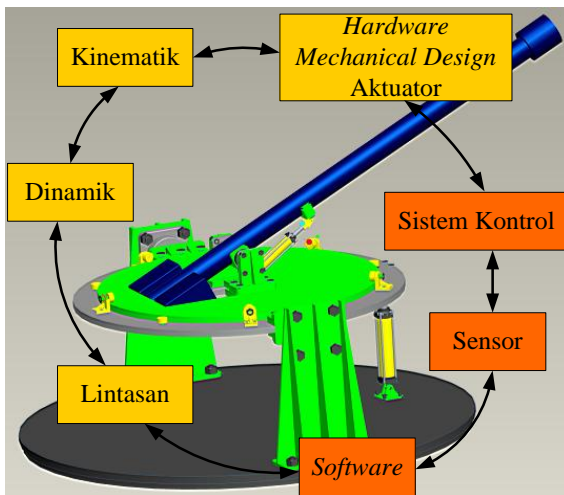
Secara garis besar dinamik simulator sebagai aplikasi robot berkaitan dengan torsi aktuator yang hasil geraknya adalah perubahan sudut, kecepatan sudut dan percepatan sudut. Dalam konteks dinamik, output perubahan ini dapat dinyatakan sebagai percepatan anguler. Hal tersebut, selanjutnya dapat dikembangkan analisa dinamiknya sebagai konsep tentang kontrol dinamik.

Simulator mempunyai dua link utama yaitu link tiga dan link empat. Torsi yang diberikan aktuator pada link tiga dan link empat pada dasarnya harus seimbang dengan torsi yang dihasilkan oleh komponen-komponen dinamik struktur simulator dalam pergerakan, yaitu torsi yang dihasilkan dari pergerakan (torsi vs kecepatan anguler).

Keywords : Simulator, Persamaan Dinamik, Newton-Euler, Torsi Joint, Kontrol Dinamik

PENDAHULUAN

Turret sebagai sebuah simulator merupakan suatu sistem yang terdiri atas gabungan beberapa komponen antara lain sistem kontrol, elektronik (sensor, software), mekanik dan lainnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Sistem pada simulator Turret

Simulator secara fisik merupakan benda yang memiliki struktur tertentu dengan massa tertentu yang dalam pergerakannya mengikuti hukum-hukum alam yang berkaitan dengan gravitasi dan massa yang berpengaruh pada kualitas gerakan. Dalam konteks ini dikatakan bahwa model dinamik simulator berhubungan dengan struktur dan massa. Setiap struktur dan massa akan memberikan efek *inersia* yang berbeda sehingga penanganan dalam pemberian torsi pada setiap *joint* simulator akan berbeda.

MODEL DINAMIK SIMULATOR

Pada paper^[4], perhitungan persamaan dinamik simulator kendali *turret* diekspresikan dalam bentuk torsi dinamik sebagai berikut :

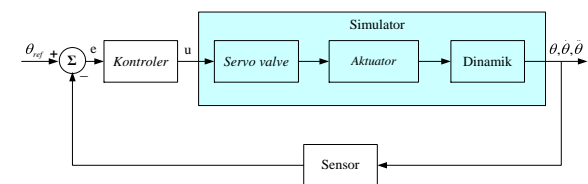
$$\tau = M \ddot{\theta} + V(\theta, \dot{\theta}) + G \quad (1)$$

$$= M \ddot{\theta} + B \begin{bmatrix} \dot{\theta} \dot{\theta} \end{bmatrix} + C \begin{bmatrix} \dot{\theta}^2 \end{bmatrix} + G$$

dan besarnya torsi joint keempat joint adalah sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \\ \tau_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_1 & k_2 & k_3 & k_4 \\ k_5 & k_6 & k_7 & k_8 \\ k_9 & k_{10} & k_{11} & k_{12} \\ k_{13} & k_{14} & k_{15} & k_{16} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\theta}_1 \\ \ddot{\theta}_2 \\ \ddot{\theta}_3 \\ \ddot{\theta}_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_{17} \\ k_{18} \\ k_{19} \\ k_{20} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_{21} \\ k_{22} \\ k_{23} \\ k_{24} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_{25} \\ k_{26} \\ k_{27} \\ k_{28} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Pada Gambar 2 ditunjukkan skema kontrol simulator berorientasi dinamik yang menggambarkan torsi yang dihasilkan oleh aktuator. Torsi pada *joint* akan menghasilkan gerakan sehingga output dinamik simulator dinyatakan dalam tiga komponen yang menyatu dalam fenomena gerak rotasi tiap *joint link* yaitu sudut *joint* (θ), kecepatan sudut ($\dot{\theta}$) dan percepatan sudut ($\ddot{\theta}$).



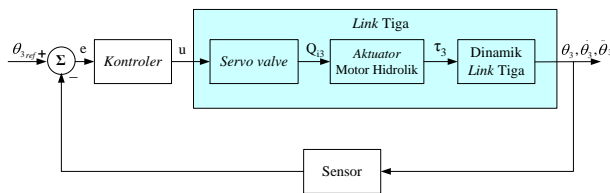
Gambar 2. Diagram blok kontrol simulator

^{1) & 2)} Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin FT-UNDIP

Torsi yang diberikan oleh aktuator pada dasarnya harus seimbang dengan torsi yang dihasilkan oleh komponen-komponen dinamik struktur simulator dalam pergerakan seperti efek massa, efek gaya *sentrifugal*, efek gaya *Coriolis* dan *inersia* yang disebabkan faktor pembebanan dan gravitasi bumi.

MODEL DINAMIK LINK TIGA

Pada paper ini difokuskan pada *link* tiga dan *link* empat. *Link* tiga digerakkan oleh aktuator motor hidrolik. Gambar 3 menunjukkan diagram blok kontrol dinamik *link* tiga.



Gambar 3. Diagram blok kontrol *link* tiga

Dinamik *Link* Tiga

Dari persamaan dinamik simulator, besarnya torsi *joint* empat adalah :

$$\tau_3 = k_9 \ddot{\theta}_1 + k_{10} \ddot{\theta}_2 + k_{11} \ddot{\theta}_3 + k_{12} \ddot{\theta}_4 + k_{19} + k_{23} + k_{27} \quad (3)$$

Dan turunan persamaan torsi *joint* empat terhadap percepatan sudut adalah sebagai berikut :

$$\ddot{\theta}_3 = k_{11}^{-1} \left[\tau_3 - \left(k_9 \ddot{\theta}_1 + k_{10} \ddot{\theta}_2 + k_{12} \ddot{\theta}_4 + k_{19} + k_{23} + k_{27} \right) \right] \quad (4)$$

Dengan memberi kondisi batas :

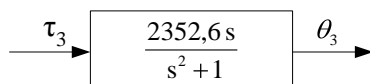
- $\theta_1 = 0$
- $\theta_2 = 0$
- $\theta_4 = 0$

maka dengan bantuan piranti lunak matematik *Maple* diperoleh nilai $\tau_3 = 2352,6 \cos \theta_3$.

Dari perhitungan τ_3 , maka model dinamik *link* tiga dapat dinyatakan sebagai fungsi transfer berikut ini :

$$\frac{\theta_3}{\tau_3} = \frac{2352,6s}{s^2 + 1} \quad (5)$$

dan diagram hubungan antara τ_3 terhadap θ_3 sebagai berikut :



Gambar 4. Diagram dinamik *link* tiga

Motor Hidrolik

Motor hidrolik sebagai aktuator menggunakan fluida bertekanan. Tenaga fluida (*fluid power*) yang bertekanan dinyatakan dengan :

$$Fluid\ Power = Q_{i3} \Delta P \quad (6)$$

dimana :

$$Q_{i3} = \text{flow servo valvelink tiga}$$

$$\Delta P = \text{pressure drop}$$

Sedangkan tenaga yang keluar dari poros motor hidrolik (*shaft power*) dinyatakan dengan :

$$Shaft\ Power = 2\pi N \tau_3 \quad (7)$$

dimana : $N = rpm$

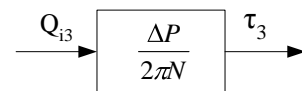
Dari hubungan tenaga yang dihasilkan oleh fluida dan tenaga yang dihasilkan oleh poros motor hidrolik, maka hubungan persamaan (6) dan (7) dapat dinyatakan sebagai berikut ini :

$$Fluid\ Power = shaft\ Power$$

$$\Rightarrow Q_{i3} \Delta P = 2\pi N \tau_3$$

$$\Rightarrow \tau_3 = \left(\frac{Q_{i3}}{N} \right) \frac{\Delta P}{2\pi} \quad (8)$$

Diagram hubungan antara motor hidrolik dengan τ_3 adalah sebagai berikut ini :



Gambar 5. Diagram hubungan motor hidrolik dengan τ_3

Servo Valve

Servo valve merupakan alat yang kompleks yang mempunyai karakteristik nonlinier. Berikut ini persamaan yang digunakan untuk menggambarkan aliran (*flow*) *orifice servo valve* :

$$Q = C_d A \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta P} \quad (9)$$

dimana :

$$C_d = \text{koefisienflow dischardorifice}$$

$$\rho = \text{massa jenis fluida}$$

Servo valve yang digunakan untuk *turret (tank turret positioning)* biasanya mempunyai frekuensi lebih dari 20 hz dan rasio damping sekitar 0,4^[15]. *Servo valve* yang digunakan pada simulator adalah jenis kontrol aliran (*flow control servo valves*) dan fungsi

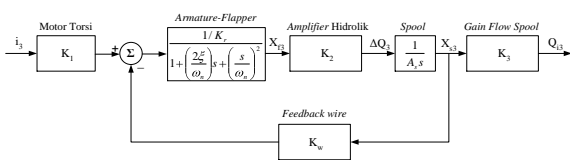
transfer dinyatakan dengan sistem orde dua sebagai berikut^[14] :

$$\frac{Q_i}{i} = K \left[\frac{1}{1 + \left(\frac{2\xi}{\omega_n} \right) s + \left(\frac{s}{\omega_n} \right)^2} \right] \quad (10)$$

dimana :

- Q_i = flow servo valve
- i = arus yang diberikan ke servo valve
- K = sensitivitas servo valve
- ω_n = frekuensi alami
- ξ = rasio damping

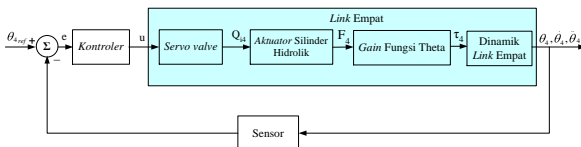
Berikut ini menunjukkan diagram blok servo valve :



Gambar 6. Diagram blok servo valve

MODEL DINAMIK LINK EMPAT

Link empat atau barrel merupakan link utama yang berkaitan dengan end-effector yang dikontrol selain link tiga. Link ini digerakkan oleh aktuator silinder hidrolik seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Diagram blok kontrol link empat

Dinamik Link Empat

Dari persamaan dinamik simulator, besarnya torsi joint empat adalah :

$$\tau_4 = k_{13} \ddot{\theta}_1 + k_{14} \ddot{\theta}_2 + k_{15} \ddot{\theta}_3 + k_{16} \ddot{\theta}_4 + k_{20} + k_{24} + k_{28} \quad (11)$$

Turunan persamaan torsi joint empat terhadap percepatan sudut dinyatakan sebagai berikut ini:

$$\ddot{\theta}_4 = k_{16}^{-1} \left[\tau_4 - \left(k_{13} \ddot{\theta}_1 + k_{14} \ddot{\theta}_2 + k_{15} \ddot{\theta}_3 + k_{20} + k_{24} + k_{28} \right) \right] \quad (12)$$

Dengan memberi kondisi batas pada awal yaitu :

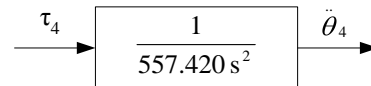
- $\theta_1 = 0$
- $\theta_2 = 0$
- $\theta_3 = 0$

maka diperoleh nilai $\tau_4 = 557,420 \ddot{\theta}_4$ Nm.

Model dinamik link empat dapat dinyatakan fungsi transfer sebagai berikut :

$$\frac{\ddot{\theta}_4}{\tau_4} = \frac{1}{557,420 s^2} \quad (13)$$

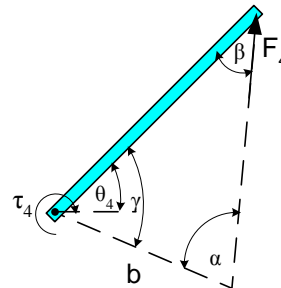
Diagram hubungan τ_4 dan $\ddot{\theta}_4$ ditunjukkan pada Gambar 8. berikut ini :



Gambar 8. Diagram dinamik barrel

Silinder Hidrolik

Karena letak silinder hidrolik terhadap joint empat tidak satu sumbu, maka hubungan yang terjadi antara torsi empat dengan gaya silinder hidrolik (F_4) dapat ditunjukkan dengan diagram benda bebas pada Gambar 9.

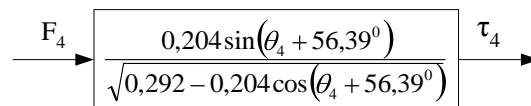


Gambar 9. Diagram benda bebas link empat dan silinder hidrolik

Dari diagram benda bebas maka diperoleh nilai konstanta gaya hidrolik :

$$\tau_4 = F_4 \sin \beta = \frac{0,204 F_4 \sin (\theta_4 + 56,39^0)}{\sqrt{0,292 - 0,204 \cos (\theta_4 + 56,39^0)}} \quad (14)$$

Berikut ini diagram hubungan antara F_4 dengan τ_4 :



Gambar 10. Diagram konstanta gaya hidrolik

Dalam silinder hidrolik terdapat hubungan antara fluida yang dialirkan, tekanan, luas silinder dan kecepatan silinder yang dinyatakan sebagai berikut :

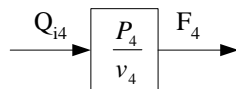
$$A_4 = \frac{F_4}{P_4} \quad (15)$$

$$Q_{i4} = A_4 v_4 \quad (16)$$

dimana :

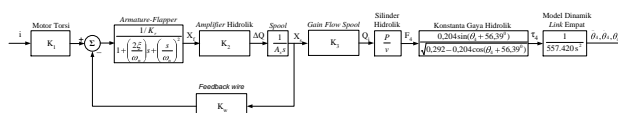
Q_{i4} = flow servo valve link empat

Diagram hubungan antara Q_{i4} dengan F_4 ditunjukkan sebagai berikut ini :

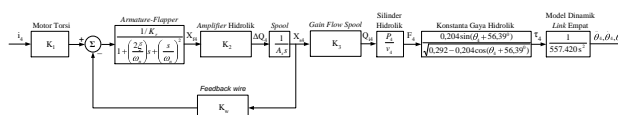


Gambar 11. Diagram hubungan aliran dengan gaya silinder hidrolik

Gambar 12 dan Gambar 13 menunjukkan diagram blok kontrol pada simulator kendali turret khususnya pada link tiga dan link empat yang menjadi fokus penelitian.



Gambar 12. Diagram blok kontrol link tiga lengkap



Gambar 13. Diagram blok kontrol link empat lengkap

KESIMPULAN

Analisa dinamik link tiga dan link empat simulator berisi tentang hubungan antara torsi yang dihasilkan oleh masing-masing aktuator sebagai referensi torsi terhadap kecepatan anguler sebagai outputnya. Sehingga analisa dinamik dapat dikatakan sebagai dinamik invers karena merubah torsi menjadi percepatan.

Besarnya nilai $\tau_3 = 2352,6 \cos \theta_3$ Nm dan nilai

$\tau_4 = 557,420 \ddot{\theta}_4$ Nm. Dengan hasil perhitungan ini berhubungan dengan perhitungan aktuator pada simulator. Yang kesemuanya digunakan digunakan untuk merancang skema kontrol dinamik pada simulator khususnya pada link tiga dan link empat.

DAFTAR PUSTAKA

1. Craig, John J., *Introduction to Robotics: Mechanics and Control*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., California, 1989.
2. Fu, Gonzales, Lee, *Robotics: Control, Sensing, Vision, and Intelligence*, International Edition, McGraw-Hill, New York, 1987.
3. Machined Press Ball Transfers. Website: www.balltransfer.com
4. Munadi, *Konfigurasi Kinematik dan Dinamik Simulator Kendali Turret*, Rotasi, Volume 8 Nomor 3, Juli 2006.
5. Munadi, *Perancangan Simulator Kendali Turret*, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2007.
6. Hand Book, Bearing Units Handbooks, NTN Corporation.
7. Patria Haggblunds, *AMOS (Advanced Mortar System)*, Finland. Website: www.patriahaggblunds.fi
8. Pippenger, Tyler, *Industrial Hydraulics*, Third Edition, International Edition, McGraw-Hill, Aucland, 1980.
9. Pitowarno, Endro, *Robotika: Desain, Kontrol, dan Kecerdasan Buatan*, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2006.
10. Rexroth Bosch Group, *Hydraulic Cylinder NFPA Industrial Type Model CDT4*, Bosch Rexroth Corporation, Bethlehem, USA.
11. Thayer, W.J., *Transfer Function For Moog Servovalves*, *Technical Bulletin 103*, Moog Inc., New York, 1965.
12. Thayer, W.J., Maskrey, *A Brief History of Electrohydraulics Servomechanisms*, *Technical Bulletin 141*, Moog Inc., New York, 1978.
13. The Oilgear Company, *Servo valves*. <http://www.oilgear.com/components/valves/servo.php>