

## PERANCANGAN SISTEM KENDALI GERAKAN HOIST CRANE MENGUNAKAN MODEL REFERENCE FUZZY ADAPTIVE

Iskandar Z<sup>#1</sup>, Birowo<sup>#2</sup>, Beni, Darjat

Program Studi Teknik Komputer, STMIK Triguna Dharma Medan

Jalan A.H. Nasution, 73F Johor Medan

e-mail: <sup>#1</sup>[iskandar.z.tgd@gmail.com](mailto:iskandar.z.tgd@gmail.com)

### Abstrak

Jurnal ini memaparkan tentang perancangan sistem kendali gerakan Hoist Crane menggunakan model reference Fuzzy Adaptive (*model reference adaptive fuzzy control*) untuk kendalian gerakan tak linier. Kendalian gerakan tak linier pada hoist crane yang dipilih untuk menguji efektifitas aturan kendali fuzzy adaptive melalui simulasi adalah model gerakan hoist crane tak linier yang pada dasarnya adalah tidak stabil. Aturan kendali fuzzy adaptive diturunkan menggunakan teori Lyapunov berdasarkan model linierisasi dari gerakan hoist crane. Model acuan yang dipilih adalah model linier yang telah distabilisasi. Kemudian dilakukan simulasi untuk mengamati kinerja MRAFC terhadap model tak linier. Jadi model tak linier dikendalikan menggunakan aturan kendali fuzzy adaptive yang diturunkan dari model linier. Kendali umpan-balik status (*full state feedback control*) melalui simulasi telah dibuktikan tak mampu menstabilkan gerakan hoist crane. MRAFC mampu melakukan dengan baik, bahkan untuk kasus dimana model parametrik kendali tidak diketahui secara pasti (*uncertainty*) atau berubah seiring waktu (*time-varying*). Hal yang perlu diperhatikan dalam perancangan adalah bagaimana memilih model acuan sebijaksana mungkin, karena hal ini mempengaruhi tingkat kestabilan sistem kendali.

**Kata Kunci:** Sistem Kendali Fuzzy Adaptive, Kendali Fuzzy Adaptive, Sistem Kendali Tak Linier, Linierisasi Model, Gerakan Hoist Crane.

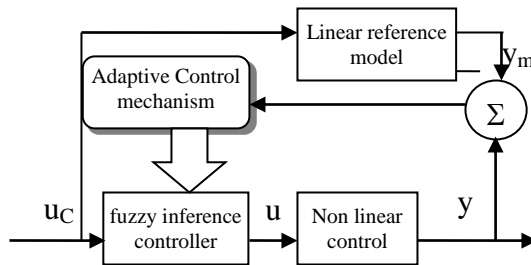
### Abstract

This journal describes control system designing of Hoist Crane movement using Adaptive Fuzzy Reference Model (Adaptive Fuzzy Control Reference Model) for non-linear movement controlling. Non linear movement controlling in hoist crane selected to test adaptive fuzzy control rule effectiveness through simulation is non linear hoist crane movement model which basically is unstable. Adaptive Fuzzy Control rule is derived using Lyapunov theory based on linearization model from hoist crane movement. Reference model selected was stabilized linear model. Then simulation was performed to observe MRAFC performance on non linear model. Full state feedback control through simulation has been shown not able to stabilize hoist crane movement. MRAFC is able to perform better, even for cases where controlling parametric model was uncertain or changing over time (*time-varying*). Point to note in the designing was how to select reference model as wise as possible because it affect control system stability level.

**Keywords:** Adaptive Fuzzy Control System, Adaptive Fuzzy Control, Non Linear Control, Model Linearization, Hoist Crane Movement.

## PENDAHULUAN

Kendali gerakan tak linier pada hoist crane yang dipilih untuk menguji efektifitas aturan kendali fuzzy adaptive melalui simulasi adalah model gerakan hoist crane tak linier yang pada dasarnya adalah tidak stabil. Aturan kendali fuzzy adaptive diturunkan menggunakan teori Lyapunov berdasarkan model linierisasi dari gerakan hoist crane. Model acuan yang dipilih adalah model linier yang telah distabilkan. Kemudian dilakukan simulasi untuk mengamati kinerja hoist crane terhadap model tak linier. Jadi model tak linier dikendalikan menggunakan aturan kendali fuzzy adaptive yang diturunkan dari model linier. Kendali umpan-balik status (*full state feedback control*) melalui simulasi telah dibuktikan tak mampu menstabilkan gerakan hoist crane. Itulah sebabnya penelitian ini dilakukan untuk menstabilkan gerakan hoist crane menggunakan metode fuzzy logic adaptive.



Gambar 1. Blok diagram model referene adaptif kontrol fuzzy dengan pengendalian non linear

Adaptive Fuzzy Control System adalah sistem kontrol dengan kemampuan untuk beradaptasi dengan perubahan lingkungan eksternal dan internal untuk mempertahankan stabilitas kinerja sistem. Secara umum sistem kontrol fuzzy logic adaptif terdiri dari berbagai jenis termasuk model referene control adaptif fuzzy, self

tuning control adaptif, gain scheduling adaptif dan dual control adaptif [1]. Untuk alasan apapun, adaptif tipe kontrol dipilih dalam penelitian ini adalah Reference Model Adaptive Control System (RMACS).

Reference Model Adaptive Control System dengan berbagai parameter beradaptasi sesuai dengan mekanisme kontrol adaptif bermodus tetap. Mekanisme ini berjalan secara paralel dengan cara mengarahkan kontrol dengan performance buruk (atau bahkan tidak stabil) untuk mengikuti perilaku kontrol dengan performane yang lebih baik (stabil) [ 2 ].

Merancang kontrol interferene yang baik adalah dengan mengurangi kontrol dengan bentuk non linier menjadi linier. Menggunakan model berikutnya yaitu sliding mode ke dalam bentuk persamaan ruang. Kontrol Aturan diuji melalui simulasi pengembalian model non linear.

## MODEL GERAKAN HOIST CRANE

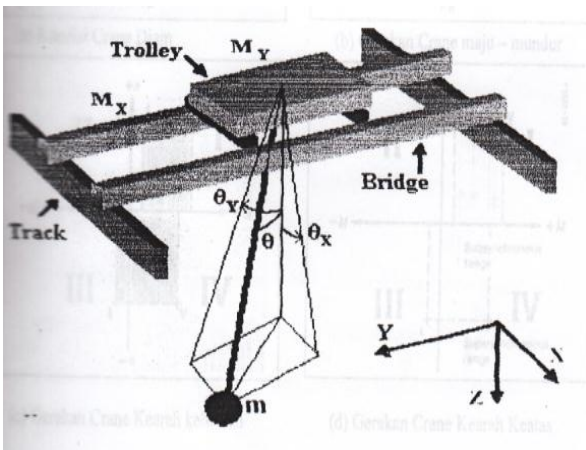
Secara fisik, gerakan Hoist Crane ditunjukkan pada Gambar 2. Gaya F dipengaruhi oleh hoist gerakan derek di pesawat horizontal dan juga mempengaruhi hoist derek ke atas posisi sudut gerakan pada sumbu vertikal. Persamaan [1] menunjukkan model persamaan tidak linear dari hoist gerakan derek [3]. Variabel state dari persamaan adalah :

$M_y$  = posisi sling di hoist di bidang horisontal =  $y$  ( m )  
 $\theta \times 2$  = hoist derek sudut gerakan vertikal pesawat =  $x_3$  = kecepatan gerakan hoist crane yang di bidang horisontal ( m / detik )  
 $x_4$  = kecepatan gerakan hoist derek sudut ( rad / sec )

Tabel 1. Variabel dalam hoist gerakan derek sling

Simbol	Penjelasan	satuan
$\ell$	Panjang sling hoist derek meter	Meter
F	Daya yang mempengaruhi pergerakan posisi sling	Newton
$\theta$	Besar sudut sling	Radian
M	Massa hoist crane	Kilogram
m	Massa sling	Kilogram
y	Posisi hoist crane	Meter

Dengan catatan, g = gaya gravitasi bumi = 9,8 m/sec<sup>2</sup>.



Gambar-2. Model Fisik Dari Hoist Gerakan Dereks

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_3 \\ \dot{x}_2 &= x_4 \\ \dot{x}_3 &= \frac{u - \frac{1}{2}mg \sin 2x_2 + m\ell x_4 \sin x_2}{M + m \sin^2 x_2} \\ \dot{x}_4 &= \frac{-u \cos x_2 + \frac{1}{2}mg \sin 2x_2 \cos x_2 - \frac{1}{2}m\ell x_4 \sin 2x_2 + Mg \sin x_2 + mg \sin^3 x_2}{M\ell + m\ell \sin^2 x_2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_3 \\ \dot{x}_2 &= x_4 \\ \dot{x}_3 &= \frac{u - \frac{1}{2}mg \sin 2x_2 + m\ell x_4 \sin x_2}{M + m \sin^2 x_2} \\ \dot{x}_4 &= \frac{-u \cos x_2 + \frac{1}{2}mg \sin 2x_2 \cos x_2 - \frac{1}{2}m\ell x_4 \sin 2x_2 + Mg \sin x_2 + mg \sin^3 x_2}{M\ell + m\ell \sin^2 x_2} \end{aligned}$$

**MODEL KONTROL ADAPTIF FUZZY**

Catatan berikut adalah model persamaan ruang:

$$\frac{dx}{dt} = Ax + Bu \quad (2a)$$

Hal ini diharapkan untuk merancang aturan model kontrol agar proses selanjutnya berperilaku mengikuti model referensi:

$$\frac{dx_m}{dt} = A_m x_m + B_m u_c \quad (2b)$$

Bentuk umum kontrol linear adalah:

$$u = Mu_c - Lx$$

$$M = [\theta_1 \theta_2 \dots \theta_m]^T, L = [\theta_{m+1} \theta_{m+2} \dots \theta_{\ell+m}]^T \quad (3)$$

Dalam hal ini, m = jumlah variabel input dan = jumlah variabel state. Persamaan error dan persamaan error derivasi berikutnya ditulis sebagai berikut:

$$\begin{aligned} e &= x - x_m \\ \frac{de}{dt} &= \frac{dx}{dt} - \frac{dx_m}{dt} = Ax + Bu - A_m x_m + B_m u_c \quad (4) \end{aligned}$$

Dengan menambahkan dan mengurangi dengan AMX di sisi kanan persamaan (4) berikut dapat diperoleh:

$$\frac{de}{dt} = A_m e + (A - A_m - BL)x + (BM - B_m)u_c$$

$$\begin{aligned}
 &= A_m e + (A_c(\theta) - A_m)x + (B_c(\theta) - BM)u_c \quad (5) \\
 &= A_m e + \psi(\theta - \theta^\circ)
 \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan persamaan yang setara maka kondisi proses model kesamaan mutlak dan model referensi telah terpenuhi. Untuk mengurangi parameter aturan adaptasi, fungsi Lyapunov dapat diterapkan :

$$V(e, \theta) = \frac{1}{2}(\gamma e^T P e + (\theta - \theta^\circ)^T (\theta - \theta^\circ)) \quad (6)$$

Matrix P adalah matriks definit positif. Fungsi V adalah fungsi definit positif. Untuk bukti apakah fungsi V di (6) adalah Lyapunov maka kita dapat menghitung derivatif total V pada waktu.

$$\begin{aligned}
 \frac{dV}{dt} &= -\frac{\gamma}{2} e^T Q e + \gamma(\theta - \theta^\circ) \psi^T P e + (\theta - \theta^\circ)^T \frac{d\theta}{dt} \\
 &= -\frac{\gamma}{2} e^T Q e + (\theta - \theta^\circ) \left( \frac{d\theta}{dt} + \psi^T P e \right) \quad (7)
 \end{aligned}$$

Matrix Q adalah definit positif sehingga hubungan berikut ini jadi berlaku.

$$A_m P + P A_m = -Q \quad (8)$$

Dengan teorema Lyapunov, matriks definit positif P dan Q akan selalu ditemukan jika matriks Am adalah matriks yang menggambarkan sistem yang stabil. Selama aturan adaptasi parameter kendali dipilih, maka:

$$\frac{d\theta}{dt} = -\gamma \psi^T P e \quad (9)$$

Dimana  $\theta$  adalah vektor dengan komponen  $(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n, \theta_{n+})$ , maka berikut ini didapat (Catatan:  $n^{\text{th}}$  urutan sytem akan memiliki  $n + \ell$  parameter adaptasi kontrol  $\theta$ )

$$\frac{dV}{dt} = -\frac{\gamma}{2} e^T Q e \quad (10)$$

Persamaan (10) menunjukkan bahwa turunan fungsi Lyapunov adalah turunan semi pasti dan tidak definit negatif. Berdasarkan teori Lyapunov, itu berarti bahwa untuk kondisi awal, nilai parameter adaptif fuzzy  $(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n, \theta_{n+})$  perlu dibatasi, di mana batas tersebut memastikan bahwa  $V(\theta, t) < V(e, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n, \theta_{n+}, t)$  untuk setiap  $t > 0$ , atau fungsi Lyapunov V adalah definit positif.

### ATURAN KONTROL ADAPTIF FUZZY

Hoist gerakan derek kontrol non linear akan dikendalikan oleh model referensi adaptif kontrol fuzzy yang berasal dari model linier. Oleh karena itu sistem model non linear akan dilinierisasi ke dalam model linear. Dan model referensi yang dipilih juga model referensi linier yang stabil dengan kinerja model yang baik.

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -\frac{mg}{M} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{(M+m)g}{M\ell} & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{M} \\ -\frac{1}{M\ell} \end{bmatrix} \quad (11a)$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (11a)$$

model persamaan ruang di atas adalah non stabil. Dengan mengambil nilai gain kontroler K

$$K = [k_1 \quad k_2 \quad k_3 \quad k_4] \quad (11b)$$

Model referensi yang dipilih adalah:

$$A_m = A - BK \quad (12)$$

$$= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -\frac{k_1}{M} & -\frac{mg}{M} - \frac{k_2}{M} & -\frac{k_3}{M} & -\frac{k_4}{M} \\ \frac{M}{M\ell} & \frac{(M+m)g}{M\ell} + \frac{k_2}{M\ell} & \frac{k_3}{M\ell} & \frac{k_4}{M\ell} \end{bmatrix}$$

$$BK = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{M}k_1 & \frac{1}{M}k_2 & \frac{1}{M}k_3 & \frac{1}{M}k_4 \\ -\frac{1}{M\ell}k_1 & -\frac{1}{M\ell}k_2 & -\frac{1}{M\ell}k_3 & -\frac{1}{M\ell}k_4 \end{bmatrix}$$

Model referensi yang diperoleh dari kontrol model linier stabil dengan teknik penempatan pola (vektor K diambil dari teknik penempatan pola). Sinyal dan parameter kontrol fuzzy adaptif sama seperti persamaan (3) diatas. Oleh karena itu:

$$BL = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{M} \\ -\frac{1}{M\ell} \end{bmatrix} [\theta_2 \quad \theta_3 \quad \theta_4 \quad \theta_5] \quad (13)$$

$$= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{M}\theta_2 & \frac{1}{M}\theta_3 & \frac{1}{M}\theta_4 & \frac{1}{M}\theta_5 \\ -\frac{1}{M\ell}\theta_2 & -\frac{1}{M\ell}\theta_3 & -\frac{1}{M\ell}\theta_4 & -\frac{1}{M\ell}\theta_5 \end{bmatrix}$$

$$A - BL = (A_c(\theta)) \quad (14)$$

$$= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -\frac{\theta_2}{M} & -\frac{mg}{M} - \frac{\theta_3}{M} & -\frac{\theta_4}{M} & -\frac{\theta_5}{M} \\ \frac{\theta_2}{M\ell} & \frac{(M+m)g}{M\ell} + \frac{\theta_3}{M\ell} & \frac{\theta_4}{M\ell} & \frac{\theta_5}{M\ell} \end{bmatrix}$$

Selanjutnya, diperoleh bahwa:

$$A_c(\theta) - A_m = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{k_1 - \theta_2}{M} & \frac{k_2 - \theta_3}{M} & \frac{k_3 - \theta_4}{M} & \frac{k_4 - \theta_5}{M} \\ -\frac{k_1 + \theta_2}{M\ell} & -\frac{k_2 + \theta_3}{M\ell} & -\frac{k_3 + \theta_4}{M\ell} & -\frac{k_4 + \theta_5}{M\ell} \end{bmatrix} \quad (15a)$$

$$BM - B_m = B_c(\theta) - B_m \quad (15b)$$

$$= \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{M}{\theta_1} \\ -\frac{1}{M\ell} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{M} \\ -\frac{1}{M\ell} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{\theta_1 - 1}{M} \\ -\frac{\theta_1 - 1}{M\ell} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{u_c \theta_1 - u_c}{M} & \frac{x_1 k_1 - x_1 \theta_2}{M} & \frac{x_2 k_2 - x_2 \theta_3}{M} & \frac{x_3 k_3 - x_3 \theta_4}{M} & \frac{x_4 k_4 - x_4 \theta_5}{M} \\ -\frac{u_c \theta_1 + u_c}{M\ell} & -\frac{x_1 k_1 + x_1 \theta_2}{M\ell} & -\frac{x_2 k_2 + x_2 \theta_3}{M\ell} & -\frac{x_3 k_3 + x_3 \theta_4}{M\ell} & -\frac{x_4 k_4 + x_4 \theta_5}{M\ell} \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ u_c & -x_1 & -x_2 & -x_3 & -x_4 \\ -u_c & x_1 & x_2 & x_3 & x_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_1 - \theta_1 \\ \theta_2 - \theta_2 \\ \theta_3 - \theta_3 \\ \theta_4 - \theta_4 \\ \theta_5 - \theta_5 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{-u_c}{M} & \frac{x_1 k_1}{M} & \frac{x_2 k_2}{M} & \frac{x_3 k_3}{M} & \frac{x_4 k_4}{M} \\ \frac{u_c}{M\ell} & \frac{-x_1 k_1}{M\ell} & \frac{-x_2 k_2}{M\ell} & \frac{-x_3 k_3}{M\ell} & \frac{-x_4 k_4}{M\ell} \end{bmatrix} \quad (17)$$

Dengan menambahkan kedua persamaan di atas, maka diperolehlah persamaan (16). Dengan memecah persamaan di atas dan mengubah vektor  $\theta$  dengan vektor  $(\theta - \theta_0)$ , dimana  $\theta_0$  adalah nilai yang konvergen dari  $\theta$  maka diperolehlah persamaan (17). Atau disimpulkan bentuk :

$$\Psi(\theta - \theta_0) + \Psi_a \quad (18)$$

Selain itu error persamaan turunan dari (5) telah dimodifikasi menjadi :

$$\frac{de}{dt} = A_m e + \Psi(\theta - \theta_0) + \Psi_a \quad (19)$$

Dan dengan menerapkan fungsi Lyapunov kandidat (6) dan derivatif (7), kemudian dari aturan parameter persamaan adaptif kontrol (9), persamaan (20) yang diperoleh maka Nilai disisi kanan dari persamaan (17) akan dihilangkan karena tidak mengandung parameter kontrol.

Matrix P adalah matriks definit positif yang diperoleh seperti pada (8). Aturan adaptif fuzzy dalam parameter kontrol ditunjukkan pada persamaan (21). Dimana disana telah digambarkan bahwa dalam persamaan (21) tidak ada lagi kontrol parameter. Jadi aturan kontrol tidak lagi tergantung pada parameter kontrol.

$$\frac{d\theta}{dt} = -\gamma \Psi^T P e = -\gamma \begin{bmatrix} 0 & 0 & u_c & -u_c \\ 0 & 0 & -x_1 & x_1 \\ 0 & 0 & -x_2 & x_2 \\ 0 & 0 & -x_3 & x_3 \\ 0 & 0 & -x_4 & x_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_1 & p_5 & p_8 & p_{10} \\ p_5 & p_2 & p_6 & p_9 \\ p_8 & p_6 & p_3 & p_7 \\ p_{10} & p_9 & p_7 & p_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \\ e_4 \end{bmatrix} \quad (20)$$

$$\frac{d\theta}{dt} = -\gamma \begin{bmatrix} u_c(p_8 - p_{10}) & u_c(p_6 - p_9) & u_c(p_3 - p_7) & u_c(p_7 - p_4) \\ -x_1(p_8 - p_{10}) & -x_1(p_6 - p_9) & -x_1(p_3 - p_7) & -x_1(p_7 - p_4) \\ -x_2(p_8 - p_{10}) & -x_2(p_6 - p_9) & -x_2(p_3 - p_7) & -x_2(p_7 - p_4) \\ -x_3(p_8 - p_{10}) & -x_3(p_6 - p_9) & -x_3(p_3 - p_7) & -x_3(p_7 - p_4) \\ -x_4(p_8 - p_{10}) & -x_4(p_6 - p_9) & -x_4(p_3 - p_7) & -x_4(p_7 - p_4) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \\ e_4 \end{bmatrix} \quad (21)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -\frac{mg}{M} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{(M+m)g}{M\ell} & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{M} \\ -\frac{1}{M\ell} \end{bmatrix} M u_c - \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{M} \\ -\frac{1}{M\ell} \end{bmatrix} L \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} \quad (21a)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -\frac{mg}{M} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{(M+m)g}{M\ell} & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{M} \\ -\frac{1}{M\ell} \end{bmatrix} \theta_1 u_c - \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{M} \\ -\frac{1}{M\ell} \end{bmatrix} [\theta_2 \quad \theta_3 \quad \theta_4 \quad \theta_5] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} \quad (21b)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -\frac{mg}{M} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{(M+m)g}{M\ell} & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{M} \theta_1 u_c \\ -\frac{1}{M\ell} \theta_1 u_c \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{M} (\theta_2 x_1 + \theta_3 x_2 + \theta_4 x_3 + \theta_5 x_4) \\ -\frac{1}{M\ell} (\theta_2 x_1 + \theta_3 x_2 + \theta_4 x_3 + \theta_5 x_4) \end{bmatrix}$$

## MODEL VARIABLE STATE TERPADU DAN PARAMETER KONTROL

Dari hasil di atas, maka jika kita fokus pada sistem kontrol secara umum dan khusus pada model linear, maka pada dasarnya ada tiga blok utama dari sistem yang mengandung variabel yang dapat dianggap sebagai variabel state. Pertama adalah model blok dari model referensi sebagaimana dinyatakan dalam persamaan (2b). Kedua, blok kontrol linear seperti yang ditunjukkan dalam persamaan (2a) di mana u dalam (2a) diganti dengan u dalam persamaan (3), maka persamaan (21a, b, c) diperoleh bahwa persamaan adalah persamaan state non linier dengan asumsi bahwa parameter  $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4,$  dan  $\theta_5$  adalah variabel state.

Dengan asumsi parameter kontrol  $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4,$  dan  $\theta_5$  adalah variabel state, maka persamaan (20) dapat disimpulkan adalah persamaan non linear dimana  $e = x - x_m$ . Oleh karena itu dengan mengintegrasikan model linier sekitar titik awal (kecuali untuk poin  $x_1^0 = d$ , and  $x_{m1}^0 = d_m$ ) dan titik  $\theta_1^0 = q_1, \theta_2^0 = q_2, \theta_3^0 = q_3, \theta_4^0 = q_4,$  dan  $\theta_5^0 = q_5$  dari persamaan (2b), (20) dan (21c), maka model persamaan linear state terpadu diperoleh dari semua sistem kontrol seperti yang ditunjukkan pada persamaan (22a - b).

Point  $x_1^0 = d$ , and  $x_{m1}^0 = d_m$  yang terpilih adalah pengecualian di luar titik awal karena pada dasarnya pendulum bisa stabil sepanjang gerakan pergeseran posisi hoist derek. Sedangkan untuk parameter kontrol, pada dasarnya parameter tidak selalu bergerak menuju titik 0 dalam kondisi mapan tetapi dapat bergerak ke arah nilai-nilai tertentu.

Persamaan model ruang (22a) adalah model yang sangat unik. Dalam matriks ada parameter perubahan yang titik-titik ekuilibrium dari  $d_1, d_{m1}, q_1, q_2, q_3, q_4,$  dan  $q_5$

yang dapat diubah. Namun, jika sistem telah berfungsi, maka nilai-nilai ekuilibrium memiliki nilai terbatas sepanjang mampu menstabilkan sistem. Ini adalah keunikan dari matriks. Pergeseran stabilitas sistem mode kontrol fuzzy tergantung pada nilai titik ekuilibrium, dan nilai-nilai keseimbangan akan di dibatasi sepanjang sistem kontrol yang stabil.

Bagian lain yang mempengaruhi fuzzy sliding geser stabilitas sistem mode kontrol adalah elemen K vektor (  $k_1$  ,  $k_2$  ,  $k_3$  dan  $k_4$  ) dan elemen matriks P (  $p_3$  ,  $p_4$  ,  $p_6$  ,  $p_7$  ,  $p_8$  ,  $p_9$  dan  $p_{10}$  ). P elemen matriks yang tergantung pada elemen K vektor , dan vektor K adalah parameter terbentuk dari upaya untuk menstabilkan model non linear stabil dari hoist crane yang mengontrol gerakan dengan teknik penempatan pole. Dan ini bentuk pengaruh vektor dari model referensi yang dipilih. Jadi dengan kata lain mengendalikan stabilitas sistem sangat tergantung pada model referensi yang akan dipilih. Dalam penelitian ini berbagai model referensi telah dicoba dan tidak semua bentuk model referensi dapat menjamin stabilitas sistem kontrol inferensi fuzzy.

Analisis stabilitas berdasarkan model persamaan ( 22 ) tidak dibahas secara rinci dalam penelitian ini . Di sini kita memiliki lebih banyak fokus pada model referensi kabur desain aturan kontrol inferensi dan kontrol efektifitas strategi yang telah dirancang adalah sownn melalui simulasi seperti yang dibahas dalam bab berikut.

## HASIL SIMULASI

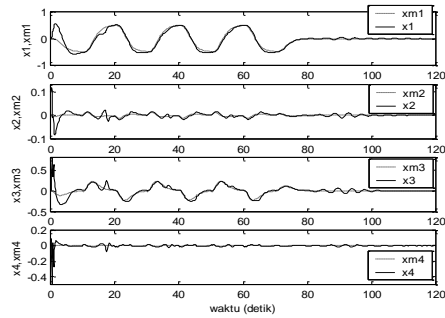
Hasil perancangan sistem kontrol Fuzzy Adaptive Model referensi didasarkan pada teori Lyapunov ditunjukkan pada Gambar 3 sampai 9. Hasil simulasi menunjukkan

efektivitas RMAFC untuk mengontrol gerakan hoist crane yang non linear kontroler. Simulasi dilakukan dengan menerapkan sinyal perintah periodik dalam sistem kontrol masukan bagian. Fungsi sinyal periodik perintah untuk membangkitkan parameter kontrol untuk bergerak di poin optimal.

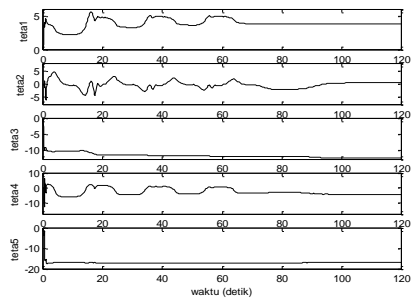
Gambar 3 dan 4 adalah hasil simulasi untuk variabel dan kontrol parameter untuk kasus-kasus di mana nilai parameter  $M = 1$  kg,  $m = 0,1$  kg ,  $g = 9,8$  m/s<sup>2</sup> and  $l = 1$  m. Simulasi dilakukan dengan memilih  $\gamma = 6$  dan sudut sling nilai awal  $x_2(0) = 0,1$  rad. Dalam simulasi itu jelas bahwa semua variabel kontrol dapat bergerak menuju titik ekuilibrium stabil. Hal ini menunjukkan bahwa pada gambar 3 semua variabel bergerak menuju titik awal. Sedangkan pada gambar 4 , semua parameter sistem kontrol bergerak di daerah yang terbatas. Hal ini secara paralel dengan seperti yang dibahas dalam bab V sebelumnya. Kontrol Adaptif Fuzzy masih dapat mengontrol linear non kontroler baik untuk kasus-kasus di mana nilai-nilai parameter yang berubah :  $M = 1$ kg,  $m = 0,3$  kg,  $g = 9,8$  m/sec<sup>2</sup>, and  $l = 0,5$  m. = 4 dan hoist derek sudut gerakan pendulum nilai awal  $x_2 ( 0 ) = 0,1$  rad.  $\gamma$  Simulasi dilakukan dengan memilih konstanta Gambar 5 dan 6 menunjukkan hasil simulasi untuk variabel dan parameter kontrol. Sekali lagi variabel dapat pindah ke titik awal dan parameter kontrol bergerak pada bidang dibatasi dan akhirnya menuju kondisi mapan tertentu.

Gambar 7, 8 dan 9 adalah hasil simulasi selain nilai parameter hoist derek  $M = 1$  kg,  $m = 0,3$  kg,  $g = 9,8$  m/sec<sup>2</sup> dan  $l = 1,2$  m. Simulasi ini juga menyediakan hasil yang memuaskan. Periode sinyal perintah dalam simulasi ini adalah diminimalkan (gambar 9 di atas ). Gambar 9 di bagian bawah adalah sinyal kontrol yang dihasilkan oleh kontroler Fuzzy.

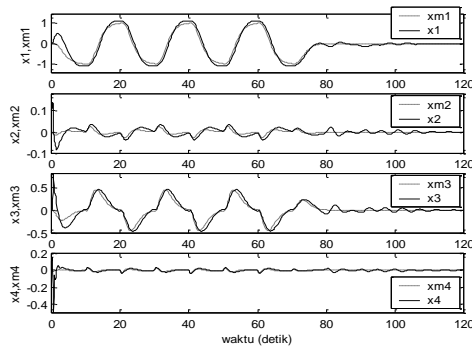
Jelas bahwa sinyal kontrol bekerja dengan amplitudo dan frekuensi yang lebih besar dalam pekerjaan pertama dari sistem kontrol.



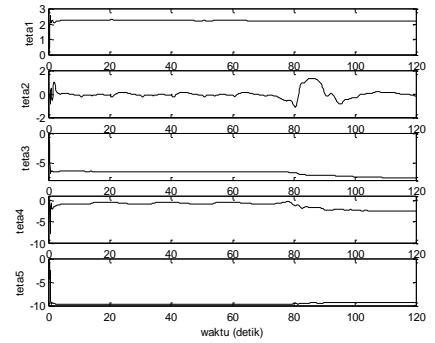
Gambar-3, Kondisi Variabel  $M = 1\text{kg}$ ,  $m = 0.1\text{kg}$ ,  $g = 9.8 \text{ m/sec}^2$ ,  $\ell = 1\text{m}$ .  $\gamma = 6$ .  $x_2(0) = 0.1\text{rad}$



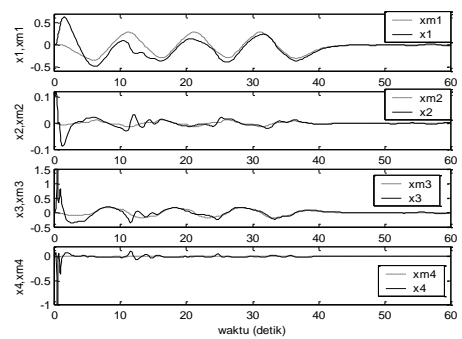
Gambar-4, Kontrol parametre untuk  $M = 1\text{kg}$ ,  $m = 0.1\text{kg}$ ,  $g = 9.8 \text{ m/sec}^2$ ,  $\ell = 1\text{m}$ .  $\gamma = 6$ .  $x_2(0) = 0.1\text{rad}$ .



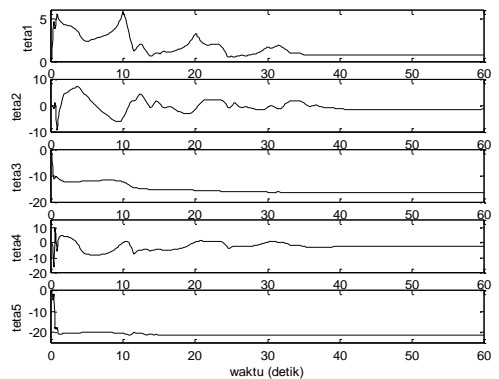
Gambar-5, Kondisi Variabel  $M = 1\text{kg}$ ,  $m = 0.3\text{kg}$ ,  $g = 9.8 \text{ m/sec}^2$ ,  $\ell = 0.5 \text{ m}$ .  $\gamma = 4$ .  $x_2(0) = 0.1\text{rad}$



Gambar-6, Kondisi Variabel  $M = 1\text{kg}$ ,  $m = 0.3\text{kg}$ ,  $g = 9.8 \text{ m/sec}^2$ ,  $\ell = 0.5\text{m}$ .  $\gamma = 4$ .  $x_2(0) = 0.1\text{rad}$ .

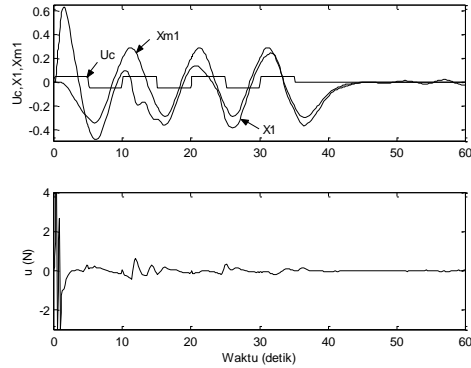


Gambar-7, Kondisi Variabel  $M = 1\text{kg}$ ,  $m = 0.3\text{kg}$ ,  $g = 9.8 \text{ m/sec}^2$ ,  $\ell = 1.2\text{m}$ .  $\gamma = 6$ .  $x_2(0) = 0.1\text{rad}$ .



Gambar-8, Pengendalian parametre untuk  $M = 1\text{kg}$ ,  $m = 0.3\text{kg}$ ,  $g = 9.8 \text{ m/sec}^2$ ,  $\ell = 1.2\text{m}$ .  $\gamma = 6$ .  $x_2(0) = 0.1\text{rad}$ .





Gambar-9, Menuju Signal UC, x1 dan XM1 (Atas), dan sinyal kontrol u (rendah) ke M = 1kg, m = 0.3kg, g=9.8m/sec<sup>2</sup>, l=1.2m.  $\gamma=6$ .  $x_2(0)=0.1$ rad

## SIMPULAN

Model referensi adaptif sistem kontrol fuzzy dirancang menggunakan teori Lyapunov berdasarkan kontrol Linearisasi mampu menstabilkan hoist gerakan derek kontrol non linear dengan cara yang lebih baik bahkan untuk kasus di mana nilai-nilai parameter kontrol pasti ( ketidakpastian parameter ) atau perubahan dari waktu ke waktu. Kecepatan konvergensi dari algoritma kontrol Fuzzy Adaptif tergantung pada konstanta kecepatan fuzzy adaptif. Nilai konstanta terbesar  $\gamma$  adalah Sistem kontrol yang lebih cepat ke titik ekuilibrium stabil. Semakin besar nilai Namun pemilihan nilai  $\gamma$  harus sebijaksana mungkin karena lebih besar cenderung mengurangi model referensi sistem kontrol fuzzy adaptif.

Kontribusi utama dari makalah ini adalah menyediakan jalur pendekatan baru untuk merancang model referensi adaptif sistem kontrol fuzzy untuk kontrol non linear. Pendekatan yang digunakan adalah memilih model referensi linier dari hasil non model linier Linearisasi dan menstabilkan dengan teknik penempatan pole jika model linier tidak stabil. Langkah selanjutnya strategi

pengendalian ini dirancang menggunakan teori Lyapunov.

## Penelitian lebih lanjut

Penelitian ini dapat dikembangkan untuk mendapatkan informasi lebih lanjut mengenai analitik dengan batas stabilitas sistem kontrol. Selain itu, penelitian lebih lanjut yang mencapai realisasi aturan kontrol inferensi fuzzy yang diperoleh ke dalam alat-alat elektronik dan menerapkannya di pabrik nyata adalah pekerjaan yang sangat menarik untuk dilakukan.

Implementasi sistem kontrol inferensi fuzzy ke FSMM chip telah dilakukan. FPGA adalah chip yang terdiri dari puluhan hingga ratusan ribu gerbang logika yang dapat diprogram ke dalam aplikasi tertentu menggunakan hardware description language ( HDL ).

Merancang dilakukan oleh hardware-software pendekatan co-desain. Itu adalah hardware controller dirancang dengan HDL, sedangkan algoritma kontrol ditulis dalam bahasa Assembly atau bahasa C. Seri pengendali terdiri dari blok utama controller ( CSP - prosesor sistem kontrol ) dan kontrol parameter adaptasi algoritma. Hasil penelitian selektif akan diadili dalam sistem maglev-levitasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- B. Friedland. 1987. "Control System Design: An Introduction to State-Space Methods". McGraw-Hill.
- Dario L. Sancho-Pradel, Roger M. Goodall. 2003. "System-on-Chip (SoC) Design for Embedded Real-Time Control

- Applications". Electronic Systems and Control Division Research, Department of Electronic and Electrical Engineering, Loughborough University, LE11 3TU, UK.
- K. J. Astrom, B. Wittenmark. 1995. "Adaptive Control". 2<sup>nd</sup> ed. Addison Wesley.
- K. Nam, A. Arapostathis. 1988. "A Model Reference Adaptive Control Scheme for Pure-Feedback Nonlinear Systems". IEEE Transaction on Automatic Control, Vol.33, No.9.
- M. Bodson, J. E. Groszkiewicz. March 1997. "Multivariabel Adaptive Algorithms for Reconfigurable Flight Control". IEEE Trans. On Control Systems Technology, Vol. 5, No. 2.
- Manfred Glesner, Thomas Hollstein, Ralf Ludewig, Clemens Schlachta. "Advanced Embedded System-on-Chip Design for Applications in Mechatronics—Trends and Perspectives". Institute of Microelectronic Systems, Darmstadt University of Technology, Germany.
- P. J. Gawthrop. 1986. "Self-Tuning PID Controllers: Algorithms and Implementation". IEEE Trans. On Automatic Control, Vol. AC-31, No. 3, March.
- R. Isermann, K.-H. Lachman, D. Matko. 1992. "Adaptive Control Systems". Prentice-Hall.
- S.-M. Guo, L.-S. Shieh. C.-F. Lin, J. Chandra. 2001. "Adaptive Control for Nonlinear Stochastic Hybrid Systems with Input Saturation". Electronic paper from IEEE.