

Implementasi Kendali Logika Fuzzy pada Pendulum Terbalik Rotasional

Thiang, Hendrik Thiehun

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Kristen Petra
Jl. Siwalankerto 121 – 131 Surabaya
Telp: (031) 8439040, 8494830-31 ext. 1354, 1361 Fax: (031) 8436418
Email: thiang@petra.ac.id

Abstrak

Pendulum terbalik rotasional merupakan sistem yang non linier. Sistem ini tidak mudah dikendalikan dengan menggunakan sistem kendali konvensional karena model matematika sistem tidak mudah didapatkan. Mempertimbangkan permasalahan tersebut maka dalam paper ini disajikan implementasi kendali logika fuzzy pada pendulum terbalik rotasional yang tidak membutuhkan model matematika sistem.

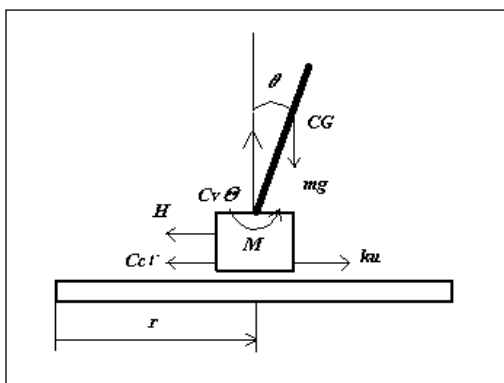
Kendali logika fuzzy diimplementasikan pada mikrokontroler 89C51. Di sini digunakan 2 input yaitu *angle* dan *delta_angle* dan output kecepatan motor beserta arah putarannya. Jumlah rule yang digunakan bervariasi dan diekstrak menggunakan logika pakar. Strategi min-max diterapkan pada proses fuzzy reasoning dan hasilnya dikembalikan dalam bentuk crisp dengan metode defuzzifikasi *center of area (COA)*.

Sejumlah pengujian telah dilakukan dengan variasi beban yang diberikan pada pendulum, variasi jumlah rule yang digunakan dan pemberian gangguan pada pendulum. Dari hasil percobaan didapatkan bahwa sistem kendali logika fuzzy mampu untuk mempertahankan pendulum pada posisi tegak.

KATA KUNCI: Pendulum terbalik rotasional, kendali logika fuzzy, mikrokontroler MCS51

1. Pendahuluan

Secara umum, suatu pendulum selalu bergerak kembali ke posisi kesetimbangannya. Waktu yang diperlukan untuk mencapai posisi kesetimbangannya bergantung pada jarak antara titik tumpu dan titik beratnya. Pendulum terbalik adalah sistem pendulum yang titik beratnya berada di atas titik tumpunya sehingga kesetimbangan yang dapat dicapai merupakan kesetimbangan labil. Kesetimbangan ini tidak mudah dicapai. Gambar 1 menunjukkan suatu sistem pendulum terbalik.



Gambar 1. Sistem Pendulum Terbalik

Persamaan untuk sistem pendulum adalah sebagai berikut [2]:

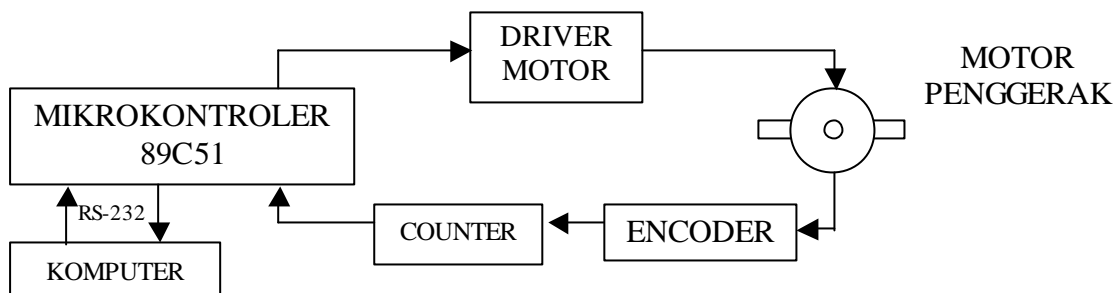
$$\begin{bmatrix} M + m & ml \cos q \\ ml \cos q & J + ml^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{r} \\ \ddot{q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -Fr + ml \sin q \\ -C\dot{q} + mgl \sin q \end{bmatrix} \quad (1)$$

Dari persamaan di atas, terlihat bahwa sistem pendulum terbalik merupakan sistem yang non linier yang tidak mudah dikendalikan dengan sistem kendali konvensional. Karena itu dalam makalah ini disajikan penerapan kendali logika fuzzy untuk mengendalikan sistem non linier. Keuntungan dari kendali logika fuzzy adalah sistem ini tidak membutuhkan model persamaan matematika dari sistem.

Pada bab 2 dari makalah ini, dijelaskan tentang sistem perangkat keras dari pendulum terbalik rotasional yang telah didesain sedangkan desain sistem kendali logika fuzzy dijelaskan pada bab 3. Hasil-hasil pengujian yang telah dilakukan, dijabarkan pada bab 4 dan terakhir merupakan kesimpulan dari hasil pengujian.

2. Perangkat Keras

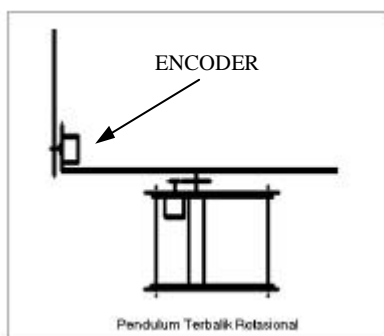
Kendali logika fuzzy diimplementasikan pada mikrokontroler 89C51 yang merupakan mikrokontroler keluarga MCS51.



Gambar 2. Blok Diagram Perangkat Keras

Dalam mikrokontroler ini dilakukan proses fuzzy inference meliputi fuzzifikasi, evaluasi rule dan defuzzifikasi. Proses fuzzy inference ini dilakukan dengan bantuan fuzzy kernel dari sistem PetraFuz. Program fuzzy kernel ini dibuat dalam bahasa assembly mikrokontroler MCS51. Pada proses defuzzifikasi diterapkan metode center of area (COA).

Sebagai sensor dari posisi pendulum digunakan encoder. Alasan pemilihan encoder sebagai sensor posisi pendulum adalah untuk mengurangi gaya gesekan yang terjadi pada poros titik tumpu pendulum. Encoder yang digunakan mempunyai resolusi 600 pulsa per putaran, sehingga 1 pulsa menunjukkan gerakan sebesar 0,6°. Output dari encoder akan dibaca oleh suatu rangkaian 9 bit up-down counter dimana angka yang ditunjukkan oleh counter merupakan posisi dari pendulum. Pada posisi tegak pendulum, angka counter di-set pada angka 255 yang merupakan nilai tengah dari range counter. Karena ketelitian encoder 0,6° per pulsa maka counter ini hanya dapat menghitung sudut sebesar 306°.



Gambar 3. Sistem Mekanik Pendulum Terbalik Rotasional

Rangkaian driver motor mempunyai dua input yaitu arah putaran motor dan kecepatan motor. Pengaturan kecepatan motor dilakukan dengan menggunakan metode Pulse Width Modulation (PWM). Dalam sistem ini, digunakan sebuah

personal komputer (PC) untuk akuisisi data dan ditampilkan dalam mode grafik. PC juga digunakan untuk mendesain membership function dan rule dari sistem dengan bantuan program PetraFuz51. Program di PC dibuat dengan menggunakan program Delphi versi 3.0. Berikut pada gambar 3 menunjukkan gambar mekanik dari sistem pendulum terbalik rotasional yang telah didisain.

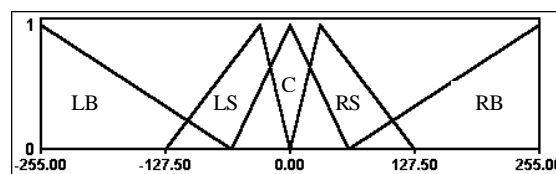
3. Disain Sistem Kendali Logika Fuzzy

Dalam sistem kendali logika fuzzy yang didisain, digunakan 2 crisp input yaitu *angle* dan *delta_angle* serta crisp output berupa kecepatan motor dan arah putarannya. Input *angle* menyatakan jarak posisi sudut pendulum terhadap posisi tegak pendulum dan *delta_angle* menyatakan selisih posisi sudut sekarang dan posisi sudut sebelumnya. Kedua crisp input dihitung dengan perumusan berikut:

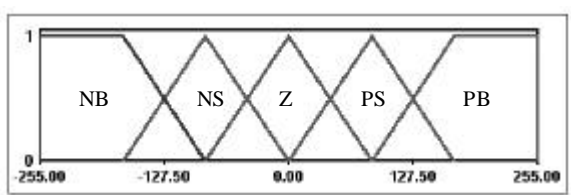
$$Angle = Present Value - 255 \quad (2)$$

$$Delta_angle = Angle(n) - Angle(n-1) \quad (3)$$

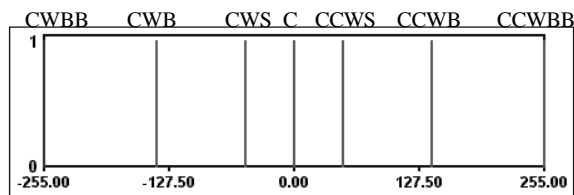
Crisp input dan crisp output membership function (MF) dapat dilihat pada gambar 4, 5 dan 6. Input *angle* membership function mempunyai 5 label yaitu left big (LB), left small (LS), center (C), right small (RS) dan right big (RB) sedangkan Input *delta_angle* membership function mempunyai 5 label yaitu negative big (NB), negative small (NS), zero (Z), positive small (PS) dan positive big (PB).



Gambar 4. Input Angle MF



Gambar 5. Input Delta_Angle MF



Gambar 6. Output Arah dan Kecepatan Motor MF

Tabel 1. Matrik Rule Pendulum Terbalik Rotasional

		ANGLE				
		LB	LS	C	RS	RB
DELTA-ANGLE	NB	CWBB	CWBB	CWB	CWS	Z
	NS	CWBB	CWB	CWS	Z	CCWS
	Z	CWB	CWS	Z	CCWS	CCWB
	PS	CWS	Z	CCWS	CCWB	CCWBB
	PB	Z	CCWS	CCWB	CCWBB	CCWBB

Output arah dan kecepatan motor membership function mempunyai 7 label yaitu clock wise double big (CWBB), clock wise big (CWB), clock wise small (CWS), center (C), counter clock wise small (CCWS), counter clock wise Big (CCWB) dan counter clock wise double big (CWBB). Pemilihan membership function untuk output berbentuk singleton, untuk mempermudah perhitungan pada proses defuzzifikasi karena program dibuat dalam bahasa assembly.

Karena masing-masing crisp input menggunakan 5 label maka jumlah rule maksimum yang digunakan adalah 25 rule. Rule-rule ini diekstrak dari kemampuan logika manusia dalam usaha untuk menegakkan pendulum pada posisi kesetimbangannya. Rule-rule yang digunakan dapat dilihat pada tabel 1.

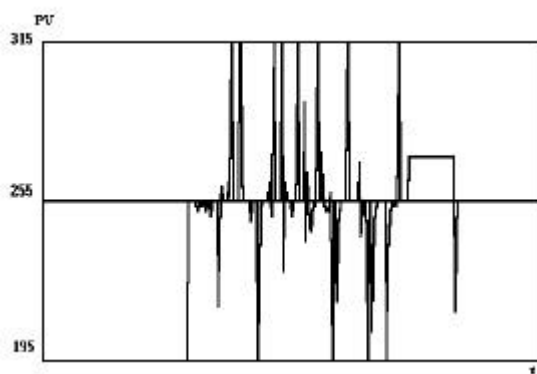
4. Hasil Pengujian

Secara umum pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

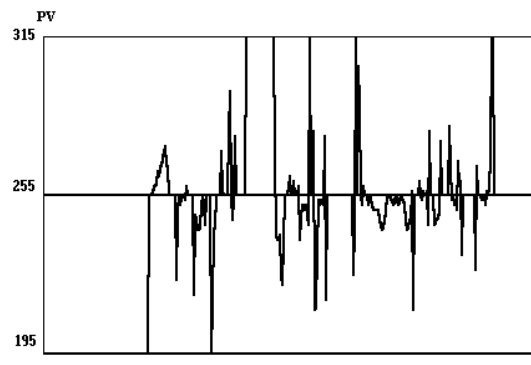
1. Pengujian dengan variasi jumlah rule
2. Pengujian dengan variasi beban
3. Pengujian dengan pemberian gangguan

4.1 Pengujian dengan variasi jumlah rule

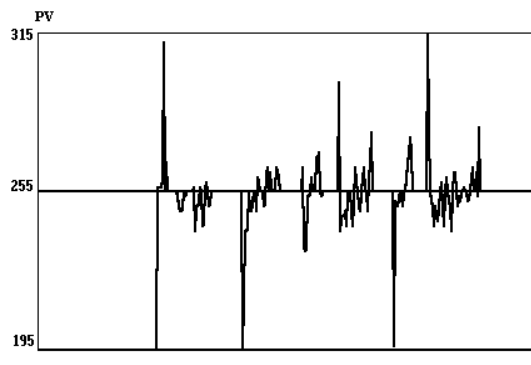
Pada pengujian ini, jumlah rule yang digunakan bervariasi yaitu 9 rule, 19 rule dan 25 rule. Pengujian dilakukan tanpa memberikan beban pada sistem. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 7, 8 dan 9. Dari grafik respon sistem terlihat bahwa sistem yang menggunakan 25 rule mempunyai respon terbaik.



Gambar 7. Respon Sistem 9 Rule



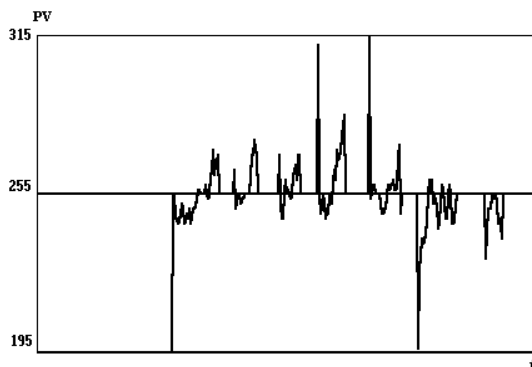
Gambar 8. Respon Sistem 19 Rule



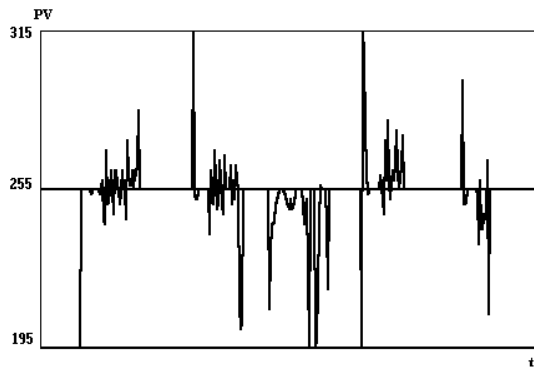
Gambar 9. Respon Sistem 25 Rule

4.2 Pengujian dengan Variasi Beban

Pada pengujian ini, pendulum diberi beban sekitar 10 gram dan 20 gram pada ujung atasnya. Berat pendulum itu sendiri sekitar 15 gram (pendulum terbuat dari bahan aluminium). Maksud dari pemberian beban ini, agar titik berat pendulum berubah, tidak pada titik tengah pendulum. Dalam pengujian ini digunakan 25 rule. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 10 dan 11. Dari grafik respon terlihat bahwa sistem masih mampu membuat pendulum setimbang pada posisi tegaknya.



Gambar 10. Respon Sistem 25 Rule dengan Beban 10 gram

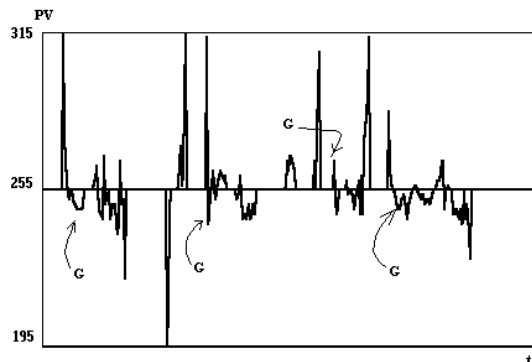


Gambar 11. Respon sistem 25 rule dengan Beban 20 gram

4.3 Pengujian dengan Pemberian Gangguan

Pada pengujian ini, gangguan diberikan dalam bentuk pemberian gaya pada pendulum yaitu pendulum didorong dengan tangan. Dengan melihat grafik respon yang ditunjukkan oleh gambar 12, sistem dapat dikatakan mampu mengatasi gangguan yang telah diberikan. Tentunya gangguan yang dapat diatasi berupa gaya yang kecil. Bila pendulum didorong dengan

kuat maka sistem tidak mampu menjaga pendulum tetap setimbang pada posisi tegaknya.



Gambar 12. Respon Sistem dengan Gangguan

5. Kesimpulan

Dari percobaan yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Kendali logika fuzzy dengan mudah diterapkan pada sistem yang non linier.
- Kendali logika fuzzy mampu mengendalikan pendulum sehingga pendulum dapat setimbang pada posisi tegaknya. Kendali logika fuzzy tetap mampu menyetimbangkan pendulum yang titik beratnya tidak di tengah. Kendali logika fuzzy juga mampu mengatasi gangguan yang diberikan pada pendulum.
- Respon yang terbaik diperoleh pada respon sistem yang menggunakan 25 rule yaitu jumlah rule maksimum yang dapat digunakan.

Daftar Pustaka

1. Klir, George J dan Yuan Bo. "Fuzzy Sets and Fuzzy Logics : Theory and Applications", New Jersey: Prentice-Hall Inc., 1995.
2. Ohyama, Yasuhiro, "Digital Control System for Inverted Pendulum", Tokyo Engineering University, Japan, 1999
3. Yurkovich, S. and Widjaja, M., "Fuzzy Controller Synthesis for an Inverted Pendulum System", to appear in *IFAC Control Engineering Practice, Vol. 4*, 1996.
4. Yen, John. Langari, Reza and Zadeh, Lotfi A., "Industrial Applications of Fuzzy Logic and Intelligent System", New York: IEEE Press, 1995
5. Kosko, Bart, "Fuzzy Engineering", Prentice Hall, 1997