

---

# KOMPARASI KESTABILAN POSISI PANEL SURYA MENGGUNAKAN PENGENDALI PID (PROPORTIONAL, INTEGRAL DAN DERIVATIVE) DENGAN FLC (FUZZY LOGIC CONTROL)

**Wayan Mahardika Prasetya Wiratama**

Fakultas Teknik dan Kejuruan, Program Studi Pendidikan Teknik Elektro  
Universitas Pendidikan Ganesha

Email: [mahardika.prasetya@undiksha.ac.id](mailto:mahardika.prasetya@undiksha.ac.id)

## ABSTRAK

Panel surya merupakan komponen utama sebagai alat pengkonversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Pengkonversi cahaya dapat efisien dan maksimal apabila posisi panel surya tegak lurus dengan cahaya matahari. Sehingga dibutuhkan suatu pengendali dan penjadwalan posisi panel surya agar sesuai dengan arah pergerakan matahari. Terdapat dua hal yang harus diperhitungkan yaitu sudut azimuth dan sudut elevasi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu simulasi sistem yang kendalinya menggunakan Simulink Matlab. Perbandingan pengontrol PID dan FLC menghasilkan sistem umpan balik motor DC dimana yang menggunakan FLC lebih baik daripada sistem kontroler PID dengan grafik hasil komparatif diketahui bahwa respon output PID masih terlihat overshoot.

**Kata kunci:** FLC, PID, panel surya, sudut azimuth, sudut elevasi

## ABSTRACT

*Solar panels are the main component as a tool to convert solar energy into electrical energy. Light converters can be efficient and maximized. Solar panels are perpendicular to the sunlight. The remainder required a controller and scheduling the position of the solar panels to match the path of the sun. There are two things to watch out for. The method used in this research is a system system that uses Simulink Matlab control. Control of DC motors when scheduling the solar panel position to match and perpendicular to the solar path is done by comparing PID controllers and FLC. The motor, which uses FLC is better than the PID controller system with the comparative outcome graph associated with the PID output response still seen overshooted.*

**Keywords:** FLC, PID, solar panels, azimuth angle, elevation angle

## 1. PENDAHULUAN

Radiasi yang dipancarkan matahari saat ini telah dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif sebagai pengganti bahan bakar fosil yang semakin menipis, sehingga pemanfaatan energi matahari merupakan cara yang tepat dalam mengatasi masalah tersebut. Selain itu, pemanfaatan radiasi matahari tidak menimbulkan kerusakan lingkungan maupun polusi ke atmosfer, dan berbeda dengan sumber energi lainnya, energi matahari dapat dijumpai di seluruh permukaan bumi.

Sistem aktif pelacakan matahari bertujuan menyesuaikan posisi panel surya untuk memposisikan ke arah matahari secara otomatis. Apabila matahari dengan radiasi yang diterima dapat dioptimalkan oleh panel surya, maka nantinya membuat peningkatan daya output terhadap panel surya yang mengikuti arah pergerakan matahari dibandingkan dengan panel surya yang

hanya diam atau berdiri tegak lurus menghadap ke atas. Oleh sebab itu, diperlukan suatu kendali yang bisa memberikan sebuah kendali terhadap pergerakan panel surya secara aktif sesuai pergerakan matahari. Pada tulisan ini, penulis akan membandingkan penggunaan controller PID dengan FLC guna memberikan kendali terhadap panel surya dimana posisinya sesuai dengan arah matahari secara maksimal didasarkan pada arah kerja sudut azimuth dan sudut elevasinya dengan bantuan simulink Matlab. Simulink Matlab merupakan bahasa tingkat tinggi dimana di dalamnya terdapat lingkungan yang interaktif yang digunakan sebagai perhitungan numerik, pemrograman dan visualisasi. Matlab mampu memanipulasi matrix, fungsi, implementasi algoritma dan pembuatan antarmuka. Oleh karena itu dalam mencapai tujuan di atas, perlu menambahkan sistem pelacak matahari pada panel surya.

Penelitian lain yang terkait dari Usta, M.A. (2011) tentang *Design and Performance of Solar Tracking System with Fuzzy Logic Controller*, menyimpulkan bahwa sistem pelacakan matahari dirancang pada Matlab/Simulink. Hasil FLC yang diperoleh selanjutnya dibandingkan dengan hasil yang diperoleh dengan menggunakan PI controller. Hasil dari simulasi menunjukkan kinerja yang baik dan dapat diterima untuk FLC. Telah diamati bahwa baik FLC dan PI memiliki waktu penyelesaian yang hampir sama namun FLC menunjukkan kurangnya overshoot yang dihasilkan. Penelitian kali ini akan membuktikan kebenaran penelitian terkait di atas. Dalam percobaan ini dilakukan untuk mengetahui berapa banyak kesalahan yang dihasilkan dan dari hasil yang diperoleh maka selanjutnya akan diterapkan Fuzzy Logic Control (FLC) dan dibandingkan dengan Proportional Integral Derivatives (PID). Dari hasil penelitian terkait, hasil simulasi menunjukkan kinerja yang baik dan dapat diterima untuk FLC.

Komponen yang terkait pada system aktif pelacakan matahari ini salah satunya adalah motor DC, dimana motor DC ini membutuhkan suplai di kumparan medan untuk dirubah menjadi energi mekanik. Komponen Motor DC dapat bekerja dengan memanfaatkan gaya elektromagnetik sehingga prinsip dari motor DC saat diberikan sebuah daya, maka arus akan langsung mengalir ke motor lalu mendapat output putaran torsi, dimana putaran torsi ini akan berbanding lurus dengan arus. Selain itu, sistem ini menggunakan power window pada motor DC. Gambar 1 menunjukkan bentuk dan model rangkaian Motor DC secara sederhana.

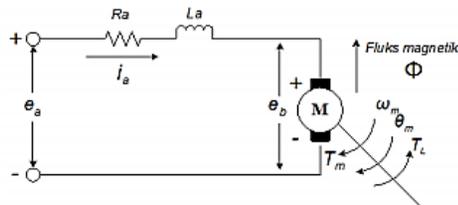
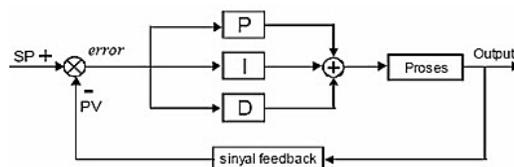


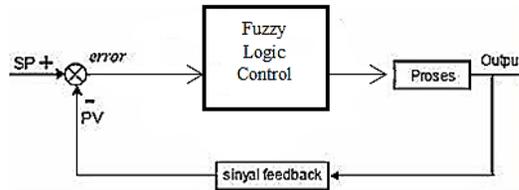
Figure 1 Gambar 1. Rangkaian Motor DC

Selanjutnya kendali PID, dimana ini merupakan sistem pengontrol untuk memberikan ketentuan pada presisi di sistem instrumentasi dimana ditandai dengan umpan balik yang terdapat pada sistem tersebut (*feedback*). Pada sistem pengontrol PID terdapat tiga buah mode di dalamnya yaitu Proportional, Derivative dan Integral atau yang lebih dikenal dengan PID. Pengendali PID ini banyak diterapkan di industri karena pengendalian ini dirasa sederhana dan mudah untuk dipahami dalam hal parameternya. Gambar 2 menunjukkan blok diagram dari sistem pengendali dengan *closed loop*.



Gambar 2. Blok diagram close loop PID

Logika Fuzzy rentang 0 (nol) sampai dengan rentang 1 (satu). Logika fuzzy biasanya diterapkan guna menjelaskan suatu besaran kedalam bahasa (linguistic), misalkan besaran kecepatan motor DC yang dijelaskan dengan bahasa lambat, sedikit cepat, cepat, dan sangat cepat. Logika fuzzy mampu memproses nilai yang tidak tentu berupa batasan, seperti sangat, sedikit dan kurang lebih. Blok diagram dari sistem pengendali FLC ditunjukkan Gambar 3.



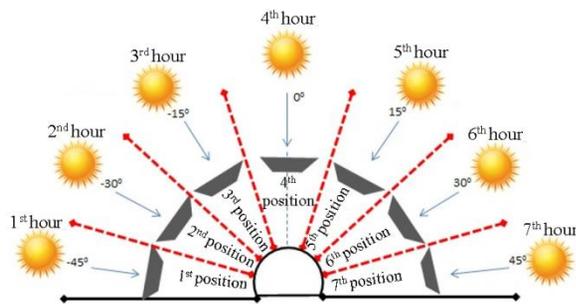
Gambar 3. Blok Diagram Close Loop

Sistem pelacakan aktif matahari adalah sistem penyesuaian posisi panel surya untuk memposisikan matahari secara otomatis. Jadi, untuk mencapai tujuan di atas, perlu menambahkan sistem pelacak matahari pada panel surya.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1 Sudut Elevasi

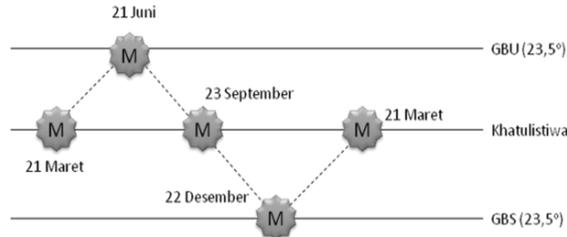
Elevasi merupakan sudut dengan rentangan garis horizontal dari bumi ke atas langit atau arahnya jika diaplikasikan yakni dari timur ke barat yang dimana pada pengaplikasian sistem pelacak matahari sudut maksimalnya adalah  $90^\circ$  dengan titik  $0^\circ$  menghadap ke sebelah timur dan diakhiri di titik  $90^\circ$  pada arah barat. Penerapan pada sistem pelacak matahari menempuh waktu dari jam 9 pagi sampai jam 9 sore. Pada sudut elevasi menggunakan sensor kemiringan. Penerapan sudut Elevasi terlihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. Sudut Elevasi

### 2.2 Sudut Azimuth

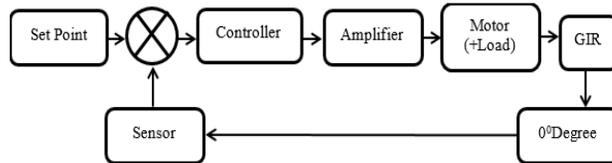
Azimuth merupakan besaran sudut diantara utara magnetis ( $0^\circ$ ) dengan titik yang kita akan tuju. Selain itu, Azimuth sering juga disebut dengan sudut perhitungan searah jarum jam atau sudut kompas. Sudut ini yakni sudut yang pengaplikasiannya dari utara menuju ke selatan dengan pengaplikasian pada solar tracking system akan mencapai sudut maksimum sebesar  $23^\circ$  ke arah utara dan  $23^\circ$  ke arah selatan dengan kurun waktu pergerakan masing-masing selama 3 bulan sesuai gerak revolusi bumi. Pada sudut azimuth menggunakan sensor kompas.



**Gambar 5. Sudut Azimuth**

### 2.3 PID

Kontrol PID ini digunakan lebih sering dikarenakan merupakan sistem kontrol tertutupnya kompatibel dan cukup sederhana dibandingkan dengan sistem kontrol lainnya seperti kontrol fuzzy. Fungsi transfer dari sistem kontrol PID adalah nilai yang bergantung pada nilai konstan sistem Proporsional, Integral dan Derivatif. Metode *trial and error* digunakan untuk perancangan sistem kontrol PID dengan kombinasi KP, KI dan KD sampai didapatkan nilai yang tepat untuk menghasilkan respon ouptput sesuai keinginan. Menganalisis gangguan didapat dengan memodelkan sistem motor DC, mengendalikan dan membuat simulasi dengan referensi dan interferensi pada Matlab/Simulink. Gambar di bawah ini menunjukkan Sistem Kontrol PID.



**Gambar 6. Sistem Kontrol PID**

Tiga cara pengaturan yang terdapat pada Sistem kontrol PID, yaitu kontrol KP, KI dan KD dimana masing-masing terdapat kelebihan serta kelemahan. Dalam pelaksanaannya masing-masing kontrol tersebut dapat bekerja sendiri dan bekerja dengan kombinasi keduanya. Dalam merancang pengontrolan ini yang perlu dilakukan adalah mengatur prameter KP, KI dan KD untuk merespon sinyal keluaran sistem ke input tertentu sesuai keinginan. Di bawah ini merupakan tabel yang menunjukkan respon sistem kontrol PID terhadap perubahan parameter KP, KI dan KD.

**Tabel 1. Respon dari kontrol sistem PID**

<i>Closed Loop Response</i>	<i>Time Rise</i>	<i>Overshoot</i>	<i>Down Time</i>	<i>Steady State Error</i>
<i>Proportional (KP)</i>	<i>Decrease</i>	<i>Increase</i>	<i>Small change</i>	<i>Decrease</i>
<i>Integral (KI)</i>	<i>Decrease</i>	<i>Increase</i>	<i>Increase</i>	<i>Eliminate</i>
<i>Derivative (KD)</i>	<i>Small change</i>	<i>Decrease</i>	<i>Decrease</i>	<i>Small change</i>

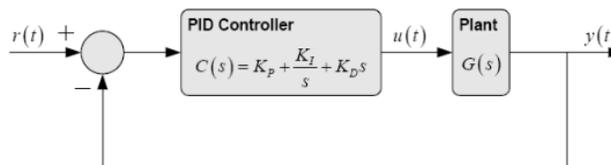
**Tabel 2. Pengukuran**

<i>Hour (WITA)</i>	<i>Degree</i>		<i>Error</i>
	<i>The Real Degree</i>	<i>Mesurement</i>	
09.00	- 45	- 47	-2
10.00	- 30	- 36	-6
11.00	-15	- 11	4
12.00	0	-1	-1
13.00	15	10	-5
14.00	30	27	3
15.00	45	41	-4

Dalam perancangan sistem kontrol terdapat permasalahan yang dihadapi, dimana untuk mendapatkan fungsi transfer sistem dengan pendekatan matematisnya dan kemudian menganalisa apakah sistem tersebut baik atau tidak dalam proses kerjanya. Dengan analisis proses Matlab/Simulink, fungsi transfer ini mempermudah proses serta cepat, sehingga merancang sistem control tentunya akan semakin mudah dan cepat juga. Hal berikutnya adalah melihat respon output sistem terhadap interupsi. Dalam pembahasan ini, PID digunakan sebagai pengontrol. Pengontrol PID terdapat tiga komponen di dalamnya yaitu proporsional, integral dan derivatif. Dalam kontroler PID, persamaan yaitu sebagai berikut.

$$C(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) = \frac{K_d s^2 + K_p s + K_i}{s} \quad (1)$$

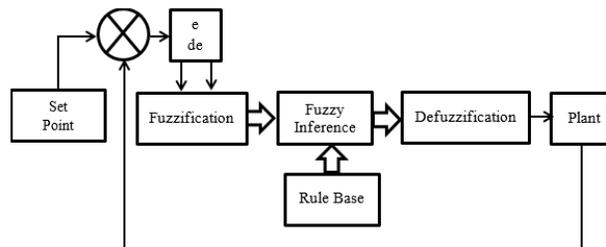
Dimana  $K_p$  merupakan parameter dari proporsional,  $K_i = \frac{K_p}{T_i}$  adalah parameter integral dan  $K_d = K_p \times T_d$  adalah parameter derivatif. Ketiga konstanta tersebut perlu dipilih untuk sistem loop tertutup dalam perancangan pengendali PID. Dimana hal ini untuk memberikan respon yang ingin dicapai. Respon yang diinginkan harus mempunyai waktu penyelesaian yang minim dengan overshoot yang rendah atau tidak terlalu tinggi dari respon langkah sistem loop tertutup.



Gambar 7. Close-loop System

## 2.4 FLC

Fuzzy Logic Controller merupakan bentuk intelligent control yang dimana dengan menggunakan kontrol logika fuzzy mampu memecahkan masalah sistem dengan perilaku kompleks. Struktur dasar control logika fuzzy dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 8. Sistem Kontrol FLC

Rancangan sistem kontrol logika fuzzy di dalamnya terdapat tiga proses yakni fuzzifikasi, rule evaluasi dan defuzzifikasi. Dimana kesemua proses tersebut nantinya akan mempengaruhi respon sistem yang terkendali. Fungsi implikasi yang digunakan dalam pengambilan keputusan menggunakan Mamdani Method. Error dan delta error masing-masing dibagi menjadi 3 fungsi keanggotaan sebagai berikut

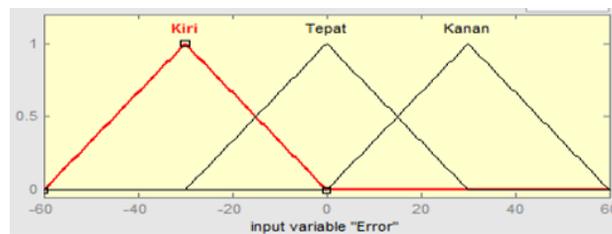
- Error: Kiri, Tepat, Kanan
- Δ Error: dKiri, dTepat, dKanan

➤ Output: PutarKiri, Berhenti, PutarKanan

**2.4.1 Keanggotaan fungsi input error [-60 60]**

**Tabel 3. Membership Function Error**

<i>Variable Fuzzy</i>	<i>MF USed</i>	<i>Crisp Input Range</i>
Kiri	Triangle MF	[-60 -30 0]
Tepat	Triangle MF	[-30 0 30]
Kanan	Triangle MF	[0 30 60]

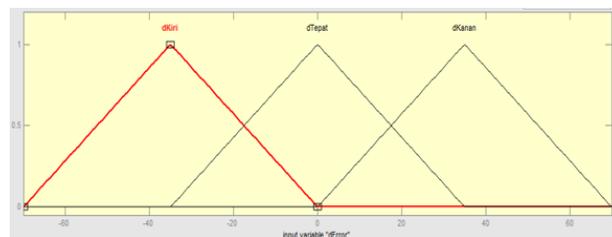


**Gambar 9. Error**

**2.4.2 Keanggotaan fungsi input dError [-70 70]**

**Tabel 4. Membership Function  $\Delta$ error**

<i>Variable Fuzzy</i>	<i>MF USed</i>	<i>Crisp Input Range</i>
dKiri	Triangle MF	[-70 -35 0]
dTepat	Triangle MF	[-35 0 35]
dKanan	Triangle MF	[0 35 70]

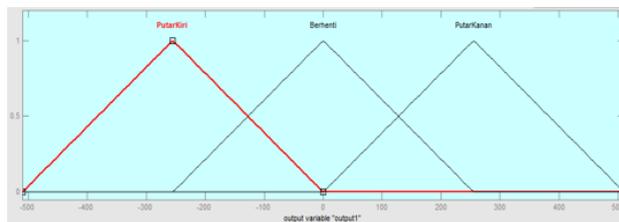


**Gambar 10.  $\Delta$ Error**

**2.4.3 Keanggotaan fungsi output [-510 510]**

**Table 5. Membership Function Output**

<i>Variable Fuzzy</i>	<i>MF Used</i>	<i>Crisp Input Range</i>
PutarKiri	Triangle MF	[-510 -225 0]
Berhenti	Triangle MF	[-225 0 225]
PutarKanan	Triangle MF	[0 225 510]



**Gambar 11. Output**

**2.4.4 Rule Matrix**

**Tabel 6. Rule Matrix**

<i>Error/dError</i>	<i>dKiri</i>	<i>dTepat</i>	<i>dKanan</i>
Kiri	PutarKiri	PutarKiri	PutarKiri
Tepat	PutarKiri	Berhenti	PutarKanan
Kanan	PutarKanan	PutarKanan	PutarKanan

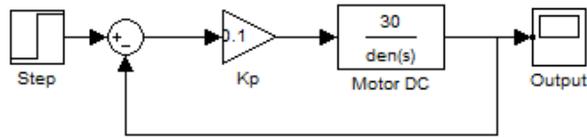
1. If (Error is Kiri) and (dError is dKiri) then (output1 is PutarKiri) (1)
2. If (Error is Kiri) and (dError is dTepat) then (output1 is PutarKiri) (1)
3. If (Error is Kiri) and (dError is dKanan) then (output1 is PutarKiri) (1)
4. If (Error is Tepat) and (dError is dKiri) then (output1 is PutarKiri) (1)
5. If (Error is Tepat) and (dError is dTepat) then (output1 is Berhenti) (1)
6. If (Error is Tepat) and (dError is dKanan) then (output1 is PutarKanan) (1)
7. If (Error is Kanan) and (dError is dKiri) then (output1 is PutarKanan) (1)
8. If (Error is Kanan) and (dError is dTepat) then (output1 is PutarKanan) (1)
9. If (Error is Kanan) and (dError is dKanan) then (output1 is PutarKanan) (1)

**Gambar 12. Rule Editor**

**3 HASIL DAN PEMBAHASAN**

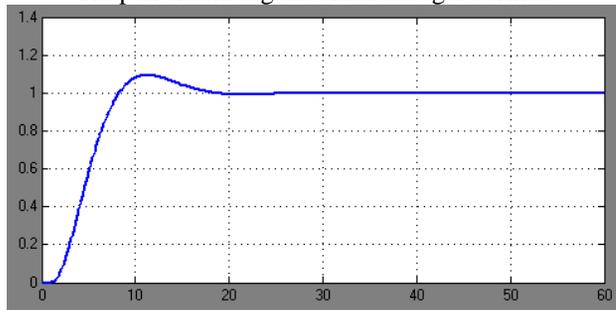
**3.1 PID**

Mengontrol sistem pelacak matahari dengan menggunakan kontroler PID menggunakan Matlab/Simulink sebagai simulasinya. Dengan diagram blok terbuka pada gambar berikut.

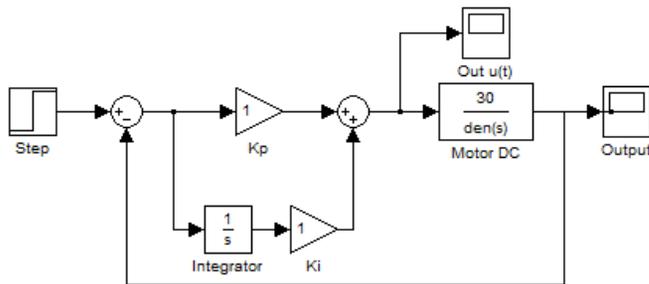


**Gambar 13. Diagram Block P Controller**

Respon sistem digambarkan sebagai berikut.

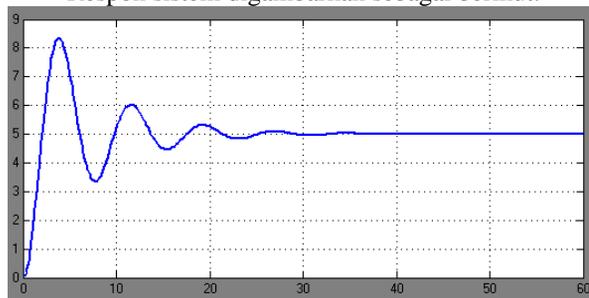


**Gambar 14. Output of P Controller**

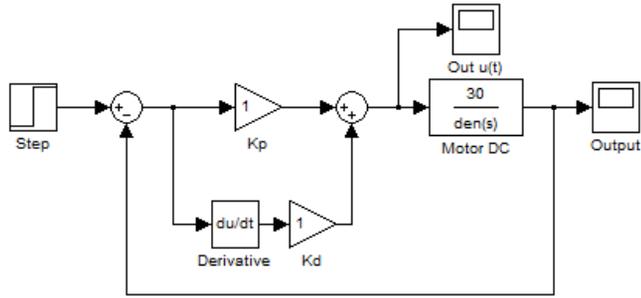


**Gambar 15. Diagram Block of PI Controller**

Respon sistem digambarkan sebagai berikut.

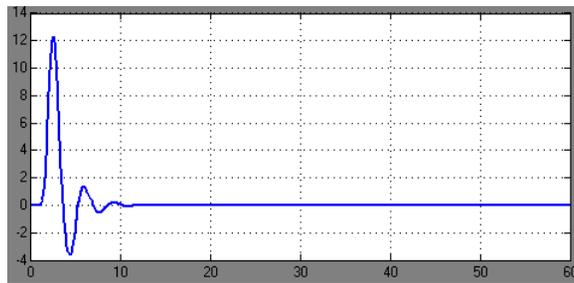


**Gambar 16. Output of I Controller**

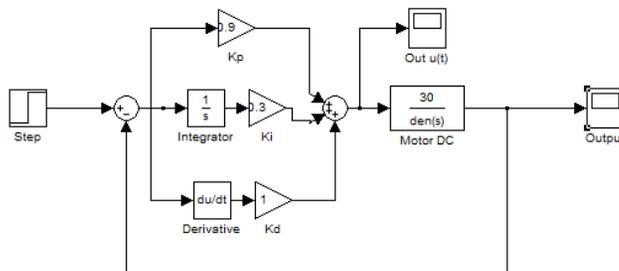


**Gambar 17. Diagram Block of D Controller**

Respon sistem digambarkan sebagai berikut.

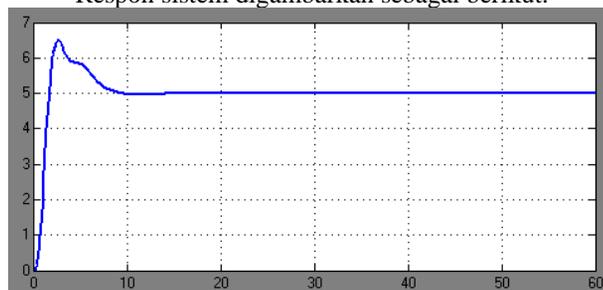


**Gambar 18. Output of D Controller**



**Gambar 19. Diagram Block of PID Controller**

Respon sistem digambarkan sebagai berikut.

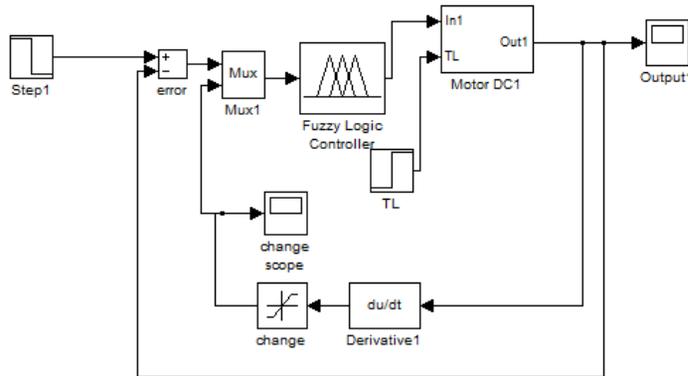


**Gambar20. Output of PID Controller**

Dalam PID Controller terdapat 3 jenis susunan yang saling digabungkan, yaitu P (Proporsional) Controller, D (Derivative) Controller, dan I (Integral) Controller. Dari ketiga jenis susunan tersebut masing-masing memiliki parameter tertentu yang harus diatur dimana nantinya pengaturan ini membuat pengoperasiannya menjadi benar, dimana nantinya ini disebut dengan konstanta. Setiap jenis, memiliki kelebihan dan kekurangan tersendiri.

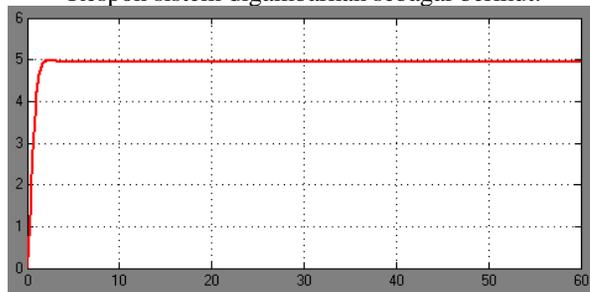
### 3.2 FLC

Mengontrol sistem pelacakan matahari menggunakan FLC dapat disimulasikan dengan menggunakan Simulink pada Matlab dengan diagram blok terbuka. Adapun semua yang telah dijelaskan di atas akan dimasukkan ke dalam diagram blok seperti di bawah ini.



Gambar21. Diagram Block of FLC

Respon sistem digambarkan sebagai berikut.

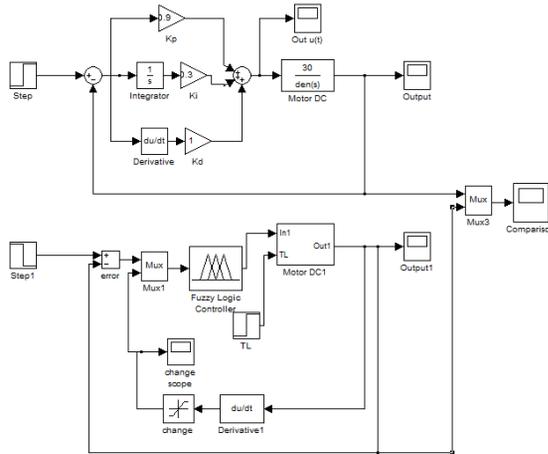


Gambar 22. Output of PID Controller

Dari pengujian logika fuzzy yang dilakukan pada Matlab/Simulink, hasilnya mendekati nilai yang diharapkan namun tidak sesuai dengan kisaran yang diharapkan, namun perbedaannya tidak terlalu signifikan. Ini karena tidak sempurna dalam aturan pencarian yang ditetapkan.

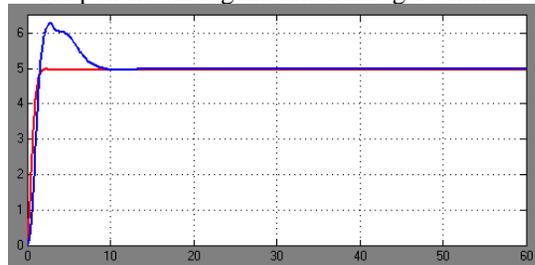
### 3.3 Mengkomparasi PID dan FLC

Pada pengujian keseluruhan sistem dilakukan dengan menggabungkan dua metode metode Fuzzy Logic dan metode kontrol PID. Mengontrol sistem pelacakan matahari menggunakan PID dan FLC dapat disimulasikan dengan menggunakan Simulink pada Matlab/Simulink dengan diagram blok terbuka. Adapun semua yang telah dijelaskan di atas akan dimasukkan ke dalam diagram blok seperti di bawah ini.



**Gambar 23. Diagram Block of PID dan FLC**

Respon sistem digambarkan sebagai berikut.



**Gambar 24. Output of PID dan FLC**

Dalam perancangan pengendali PID dilakukan menggunakan metode trial and error atau manual tuning. Keuntungan menggunakan metode ini adalah tidak perlu mengidentifikasi perencanaan, membuat matematis model, menentukan parameter dengan analitis atau grafis. Metode manual atau trial and error adalah metode dengan memasukkan nilai  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  pada formula PID sampai hasil yang diinginkan diperoleh. Sedangkan operasi himpunan fuzzy diperlukan untuk proses inferensi. Dalam proses inferensi, operasi adalah tingkat keanggotaan. Tingkat keanggotaan diperoleh dari pengoperasian dua rangkaian fuzzy. Dalam menentukan tingkat keanggotaan pada keluaran, operasi AND digunakan untuk memilih tingkat keanggotaan minimum.

#### 4. KESIMPULAN

Pengujian perangkat lunak bertujuan untuk mengetahui apakah program dan algoritma yang telah dirancang tepat untuk menggerakkan motor servo pada sistem pelacakan matahari. Agar bisa dibandingkan dengan data yang sebanding maka pengambilan data dilakukan pada jam yang sama pada hari yang berbeda. Dari grafik hasil simulasi dapat dianalisis dan diambil kesimpulan berikut.

- 1) Dengan  $K_p = 0,9$ ,  $K_i = 0,3$ , dan  $K_d = 1$  telah mampu membuat respon output PID pada motor DC.
- 2) Dengan penentuan basis aturan dibagi menjadi 9 bidang logika fuzzy yang mampu mencapai output respon yang stabil (sesuai dengan titik setel yang diberikan).
- 3) Perbandingan antara PID dan FLC telah berhasil. Hal ini dibuktikan dengan data output berupa grafik setiap input dan telah dibaca pada PC yang terwakili dalam bentuk grafis.

- 4) Sistem umpan balik menggunakan Fuzzy Logic Controller lebih baik daripada menggunakan kontroler PID yang terlihat dari grafik hasil komparatif diketahui bahwa PID masih terlihat overshoot sedangkan FLC lebih halus.
- 5) Kemampuan pengontrol untuk mengembalikan stabilitas saat terganggu (dalam hal ini disimulasikan dengan perubahan gerak motor) pada pengendali logika fuzzy lebih baik daripada pengendali PID.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] El-Sharkawi, M.A, Tony C. Huang. High Performance Speed and Position Tracking of Induction Motors”, *IEEE Transactions on Energy Conversion* 1996
- [2] Li, You. et. al. (2015). Air Path System Control of Turbocharged Gasoline Engine Based on Fuzzy PID. Prosiding, of 2015 27th Chinese Control and Decision Conference (CCDC). China: IEEE.
- [3] Marin, Hiticas & Mihon. (2012). Fuzzy Logic Control Applied on SI Engine Concerning the Injection Time Evolution. Prosiding, 13th IEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics. Hungaria: IEEE.
- [4] MatLab High Performance Numeric Computation and Visualization Software. The Mathworks, Inc. 1992
- [5] Messner, William and Dawn Tilbury. 1999. *Control Tutorials for MatLab and Simulink. A Web Based Approach*, Addison Wesley, Inc.
- [6] Muhammad H, Rashid, “*Power Electronic: Circuit, Device and Application*”, Prentice Hall International, Inc, Second edition.
- [7] Ogata, Katsuhiko. Solving Control Engineering Problems with MatLab. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall Inc. 1994
- [8] Paul C. Krause, Oleg Wasynczuk, Scott D. Sudhoff, “*Analysis Of Electric Machinery And Drive Systems*”, A Jhon Wiley & Sons, Inc second edition 2002.
- [9] Sri Kusumadewi & Hari Purnomo. (2013). Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan. Ed 2. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [10] Sri Kusumadewi. (2002). Analisis dan Desain Sistem Fuzzy Menggunakan Toolbox MATLAB. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [11] Sukirman. (2006). Logika dan Himpunan. Yogyakarta: Hanggar Kreator.
- [12] Xiong, Yang, & Gou. (2013). A Fuzzy Intelligent-integration PID Idle Control Strategy for Gas Fueled SI Engine. Prosiding, 2013 International Conference on Computer Sciences and Applications. Beijing: IEEE.