

# PERANCANGAN DAN SIMULASI SISTEM KENDALI KOLEKTOR SURYA PADA SISTEM PEMBANGKIT DAYA TENAGA MATAHARI

Sonong, Apollo<sup>1)</sup>

**Abstract:** This paper discussed about simulation of closed loop position control system of DC servo motor in solar collector thermal power plant application. When the input position that simulated with step signal given to motor, the positional information from an output potentiometer which is mechanically coupled to a motor is feedback to control amplifier. The references position input from input step is combined with the feedback signal at the input of the amplifier which drives the motor in proportion to the difference between two signal. In this case, the position of DC servo motor controlled with PID controller. Simulation was created by Simulink toolbox of Matlab 6.50. we found constant PID control are  $K_p = 1$ ,  $K_i = 0,4$ , and  $K_d = 0,5$ .

**Keywords:** control, solar collector, power plant.

## I. PENDAHULUAN

Optimalisasi sistem pembangkit daya tenaga matahari (*solar collector power plant*) dapat dilakukan melalui optimasi fungsi salah satu sub-sistemnya yang sangat berperan dalam mengkonversi energi panas matahari menjadi energi panas fluida kerja siklus pembangkitan tenaga yakni pada modul kolektor surya (*solar collector*). Modul kolektor senantiasa diarahkan ke arah mana posisi matahari, yang berevolusi reguler relatif terhadap bumi. Modul kolektor didisain senantiasa dapat melacak posisi matahari sepanjang waktu efektif penyerapan energi. Oleh karena itu pada motor penggeraknya diterapkan sistem kendali otomatis.

Motor penggerak tentunya dipilih dengan pertimbangan kompatibilitasnya untuk diterapkan dalam sistem kendali otomatis. Salah satunya adalah motor servo, karena motor jenis ini memiliki keakuratan relatif tinggi dalam sistem kendali putaran. Pada sistem ini, motor servo memosisikan modul kolektor sedemikian rupa sehingga arahnya selalu tepat mengarah ke matahari sepanjang waktu efektif penyerapan kalor. Pengendali mampu mengarahkan kolektor pelacak ke posisi matahari di pagi hari dan mengirimkan perintah proses pelacakan dimulai, serta mampu melacak kembali posisi jika sepanjang proses terjadi gangguan misalnya mendung. Respon kendali pelacakan posisi haruslah akurat, sehingga *respon time*, *settling time*, *overshoot*, dan *error* dalam sistem kendalinya dapat diperoleh maksimal. Oleh karena itu, penerapan model kendali proporsional-integral-diferensial (PID) merupakan pilihan terbaik. Namun

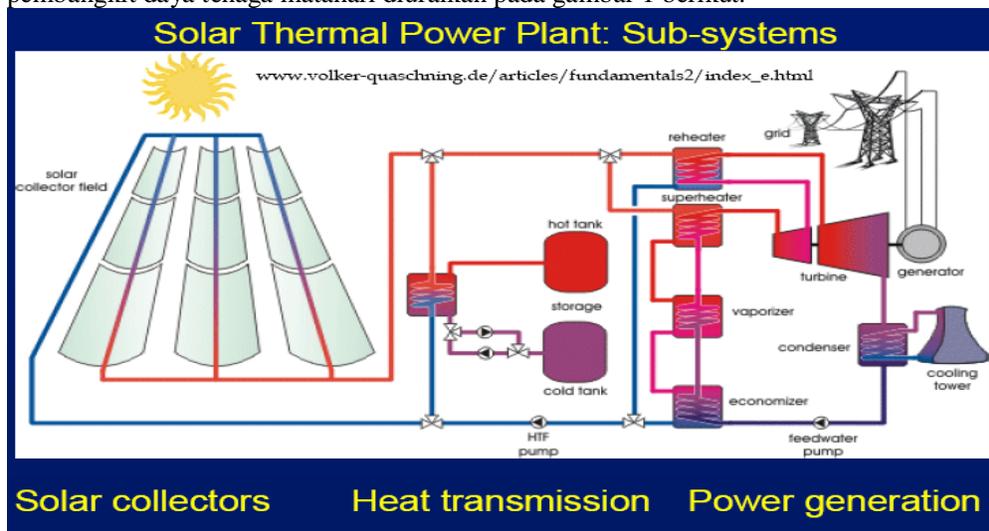
---

<sup>1)</sup> Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang

demikian, penerapan kendali PID ini tidak serta-merta menyelesaikan permasalahan karena penentuan nilai-nilai konstantanya harus sesuai (*match*) dengan kondisi dinamis sistem. Makalah ini akan menguraikan hasil pengujian penerapan sistem kendali PID motor servo pelacak matahari. Sistem kontrol posisi ini disimulasikan dengan menggunakan simulink dan GUI dari program Matlab 6.50.

## II. METODE PENELITIAN

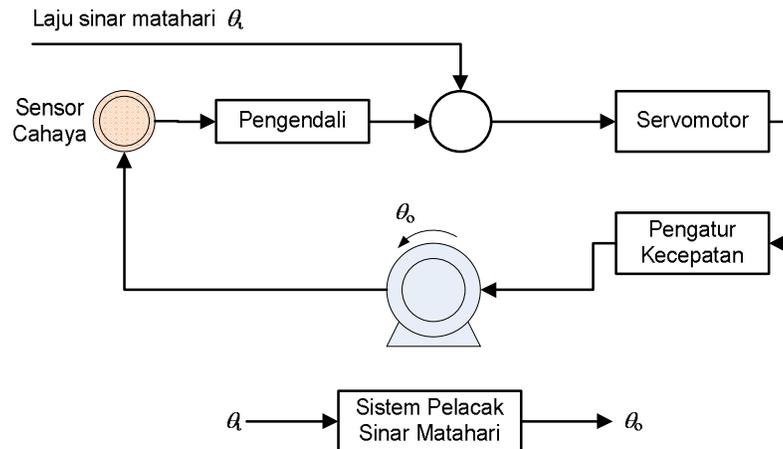
Sistem pembangkit daya tenaga matahari (*solar collector power plant*) adalah sistem pembangkit daya yang mengkonversi energy panas matahari melalui modul kolektor kalor yang berfungsi untuk memanaskan fluida kerja yang mengalir didalamnya, untuk selanjutnya digunakan sebagai sumber energi kalor pada siklus daya (siklus Rankine) untuk membangkitkan energy listrik. Secara skematik, sistem pembangkit daya tenaga matahari diuraikan pada gambar 1 berikut.



Gambar 1. Sistem pembangkit daya tenaga matahari  
(Sumber: [www.volker-quaschnig.de/articles/fundamentals2/index\\_e.html](http://www.volker-quaschnig.de/articles/fundamentals2/index_e.html))

### A. Sistem Pelacak Matahari (*solar tracking*)

Model sistem kontrol posisi pada sistem pelacak matahari secara sederhana seperti terlihat pada Gambar 2. Prinsip kerja dari sistem ini adalah bagaimana mengatur posisi dari piringan pengumpul sinar matahari agar selalu mengikuti posisi matahari sehingga permukaan piring pengumpul matahari selalu dalam kondisi tegak lurus dengan arah sinar matahari. Sistem ini merupakan sistem dengan satu masukan dan satu keluaran dengan objek yang dikendalikan adalah motor servo DC seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 2. Skematik dan blok diagram sistem pelacak sinar matahari pada kolektor surya

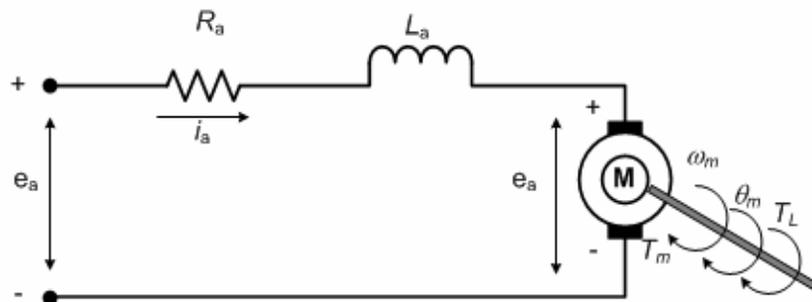
Masukan sistem adalah laju sinar matahari ( $\theta_i$ ) yang diterima oleh dua sensor sel photovoltaik silikon persegi yang diletakkan sedemikian rupa sehingga pada saat sensor diarahkan ke matahari, sinar cahaya dari celah melingkari kedua sel tersebut. Sedangkan keluaran sistem adalah posisi sudut dari motor ( $\theta_o$ ) yang digunakan untuk menggerakkan kolektor sehingga berputar mengikuti arah posisi matahari.

### B. Pemodelan Sistem Pelacak Matahari

Pemodelan dilakukan dengan menurunkan persamaan matematis dari bagian-bagian penyusun sistem.

#### Pemodelan Motor Servo DC

Secara sederhana, sebuah motor servo DC dapat digambarkan seperti Gambar 3 di bawah ini:



Gambar 3. Rangkaian ekivalen motorservo DC

Dari gambar di atas diperoleh:

$$e_a(t) = R_a i_a(t) + L_a \frac{di_a(t)}{dt} + e_b(t) \quad [1]$$

$$e_b(t) = K_b \omega_m(t) \quad [2]$$

$$T_m(t) = K_m i_a(t) \quad [3]$$

$$T_m(t) = J \frac{d\omega_m(t)}{dt} + B \omega_m(t) \quad [4]$$

dengan:

$e_a(t)$  = Besarnya tegangan yang diberikan pada motor [volt]

$e_b(t)$  = emf balik [volt]

$i_a(t)$  = Arus jangkar [Ampere]

$R_a(t)$  = Tahanan kumparan jangkar [Ohm]

$L_a(t)$  = Induktansi kumparan jangkar [Henry]

$K_b$  = Konstanta emf balik [Volt-sec/rad]

$K_m$  = Konstanta torsi [N-m/Ampere]

$J$  = Momen inersia rotor [Kg-m<sup>2</sup>]

= Koefisien gesekan viskos [N-m/rad/sec]

$T_m(t)$  = Torsi motor [N-m]

$\omega_m(t)$  = Kecepatan sudut motor [rad/sec] =  $\frac{d}{dt}(\theta(t))$

$\theta_m(t)$  = Sudut perpgerakan poros roda gigi [rad]

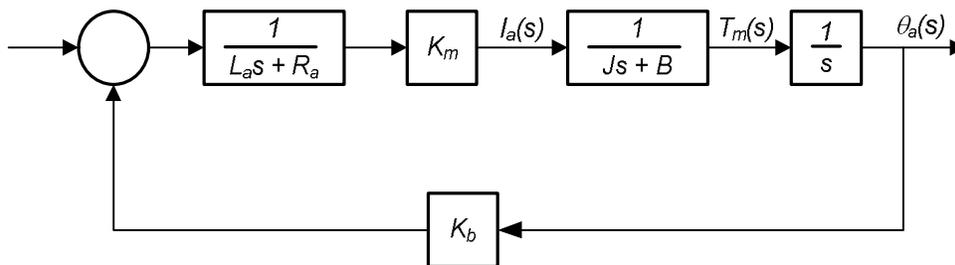
Transformasi laplace untuk persamaan [1] adalah:

$$E_a(s) = R_a i_a(s) + L_a s i_a(s) + E_b(s) \quad [5]$$

Transformasi laplace untuk persamaan [4] adalah:

$$T_m(s) = J s^2 \theta_a(s) + B s \theta_a(s) = K_m i_a(s) \quad [6]$$

Dari persamaan [5] dan [6] di atas, motor servo DC dapat direpresentasikan dalam bentuk diagram blok seperti gambar di bawah ini:



Gambar 4. Representasi diagram blok motor servo DC

### C. Amplifier Servo

Salah satu bagian dari sistem kontrol posisi adalah penguat servo (*amplifier servo*). Secara sederhana, keluaran amplifier servo dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$e_a(t) = -K[e_o(t) + e_f(t)] = -Ke_s(t) \quad [7]$$

dimana:  $e_a$  = Tegangan keluaran servo amplifier [Volt]

$K$  = Besarnya nilai penguatan

### D. Takometer

Takometer digunakan untuk mendeteksi kecepatan sudut dari motor. Keluaran takometer dalam bentuk tegangan ( $e_t$ ) diumpan-balikkan melalui konstanta takometer  $K_t$ . Secara matematis, hubungan ini dapat ditulis:

$$e_t(t) = K_t \omega_m(t) \quad [8]$$

dimana:

$e_t$  = Tegangan keluaran takometer (Volt)

$K_t$  = Konstanta takometer

$\omega_m$  = Kecepatan sudut motor (rad/sec)

### E. Roda Gigi

Roda gigi berfungsi sebagai pengurang kecepatan sudut dari motor. Secara mekanik, sumbu dari motor dihubungkan dengan roda gigi, sehingga posisi sudut roda gigi keluaran dihubungkan ke posisi motor melalui perbandingan roda gigi  $1/n$ , sehingga:

$$\theta_o = \frac{1}{n} \theta_m \quad [9]$$

dimana:

$\theta_o$  = posisi sudut keluaran roda gigi

$\theta_m$  = posisi sudut motor

### F. Pengendali PID

Pengendali PID merupakan jenis pengendali kontinyu yang disusun atas tiga jenis pengendali kontinyu dasar yaitu pengendali Proportional, pengendali Integral dan pengendali Diferensial. Secara matematis pengendali PID dapat ditulis:

$$U(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad [10]$$

Sehingga akan diperoleh fungsi alih pengendali PID sebagai berikut:

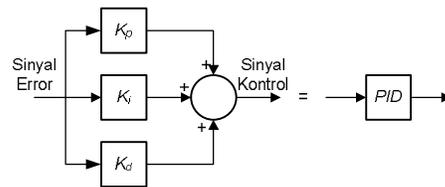
$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad [11]$$

dengan:  $K_p$  = konstanta penguatan proporsional

$K_i$  = konstanta penguatan integral

$K_d$  = konstanta penguatan diferensial

Berdasarkan persamaan [10] dan [11], pengendali PID yang digunakan disusun secara paralel dan dapat dinyatakan dalam bentuk diagram blok seperti gambar 5.

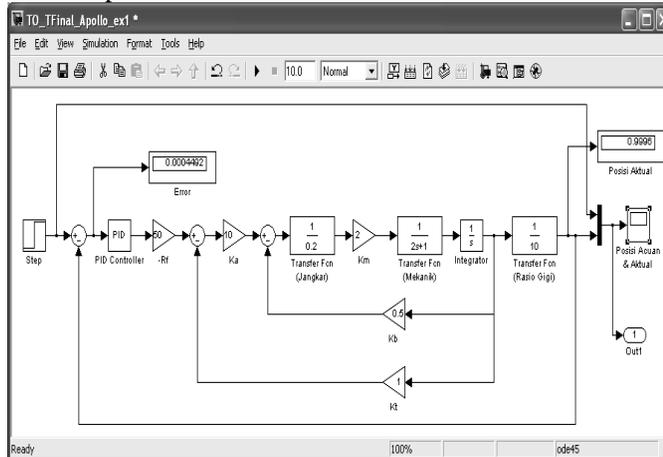


Gambar 5. Pengendali PID

**G. Simulasi Sistem**

Simulasi sistem kontrol posisi motor servo DC pada system pelacak matahari ini dilakukan dengan menggunakan fasilitas simulink dari Matlab 6.50.

Diagram simulink yang mewakili kontrol posisi sistem pelacak matahari secara keseluruhan adalah seperti Gambar 7 di bawah ini.



Gambar 6. Diagram kontrol posisi sistem pelacak matahari dengan pengendali PID rancangan Matlab-Simulink

Dalam simulasi ini, besarnya nilai konstanta yang diberikan adalah seperti diuraikan pada tabel 1.

Tabel 1. Nilai dan konstanta komponen sistem

Komponen	Konstanta	
Motor servo DC	$J$	2 [kg.m <sup>2</sup> ]
	$B$	1 [N.m.s]
	$K_m$	2 [N.m/Ampere]
	$K_b$	0,5 [V/(rad/s0)]
	$R_a$	0,2 [Ohm]
	$L_a$	Diabaikan karena tegangan DC
Servo Amplifier	$K_a$	10
Takometer	$K_t$	1
Penguat Op-Amp	$R_f$	50

Sedangkan untuk penalaan parameter PID dilakukan dengan menggunakan metode *trial and error* dengan batasan nilai 0–1. Dari hasil uji coba yang dilakukan, parameter  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  yang baik untuk digunakan adalah seperti terdapat pada tabel 2.

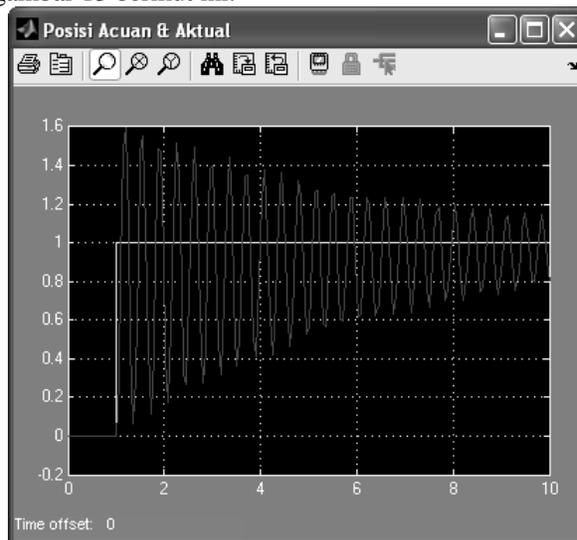
Tabel 2. Penetapan nilai konstantan PID

Parameter PID	Nilai Konstanta
$K_p$	1
$K_i$	0,4
$K_d$	0,5

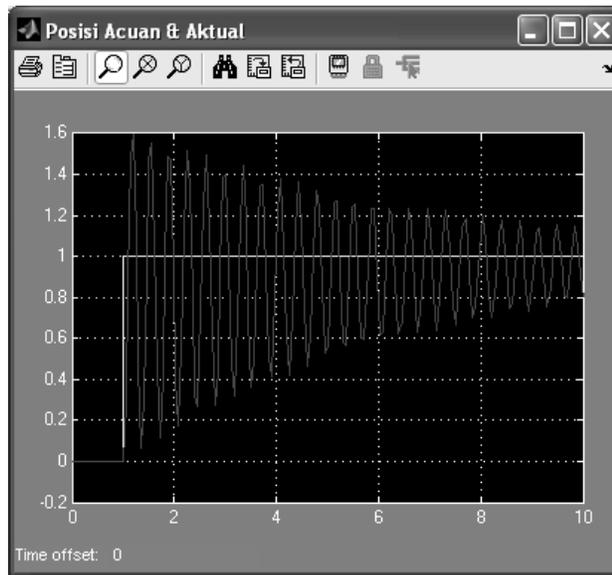
Simulasi dilakukan dengan memberikan masukan set point secara step. Hal ini bertujuan untuk mengetahui respon sistem terhadap perubahan masukan set point. Karena parameter pengendali PID dicari dengan menggunakan metode *trial and error*, maka pengujian dilakukan dalam beberapa tahap. Tahap-tahap yang dilakukan disesuaikan dengan metode penalaan coba-coba (*Heuristic Methode*), dimana penalaan parameter pengendali dimulai dengan hanya menggunakan pengendali P, kemudian baru ditambahkan pengendali I dan terakhir ditambahkan dengan pengendali D. Pemberian nilai parameter disesuaikan dengan karakteristik respon sistem yang diperoleh.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

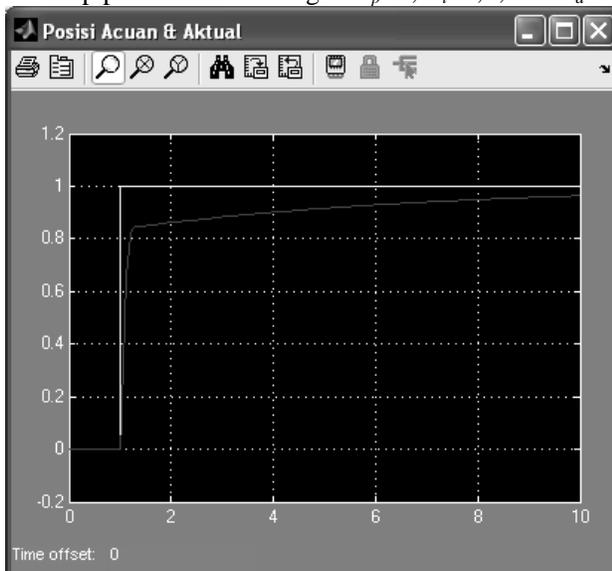
Dari simulasi yang telah dilakukan, diambil beberapa contoh hasil simulasi untuk beberapa variasi konstanta pengendali PID seperti ditunjukkan pada gambar 8 sampai dengan gambar 15 berikut ini.



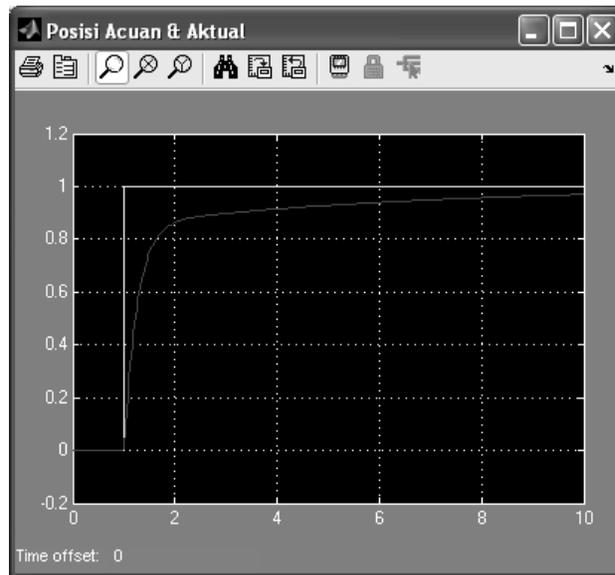
Gambar 8. Respon sistem terhadap set point laju sinar matahari ( $\theta_i$ ) secara step pada  $t=5$  detik dengan  $K_p=1$ ,  $K_i=0$ , dan  $K_d=0$



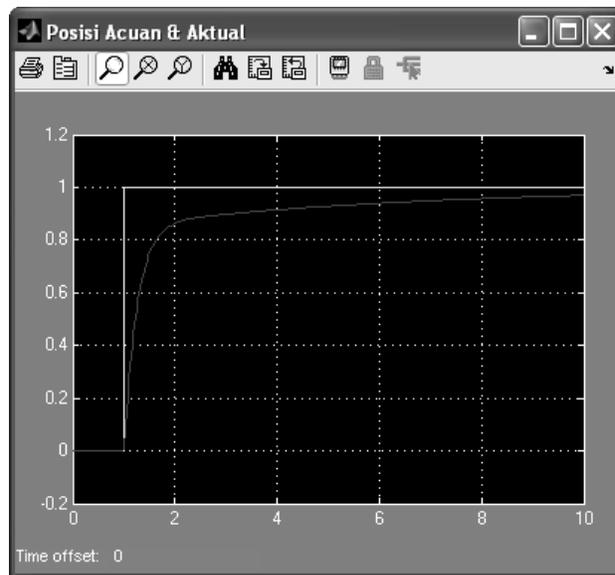
Gambar 9. Respon sistem terhadap set point laju sinar matahari ( $\theta_i$ ) secara step pada  $t=5$  detik dengan  $K_p=1$ ;  $K_i=0,2$ ; dan  $K_d=0$



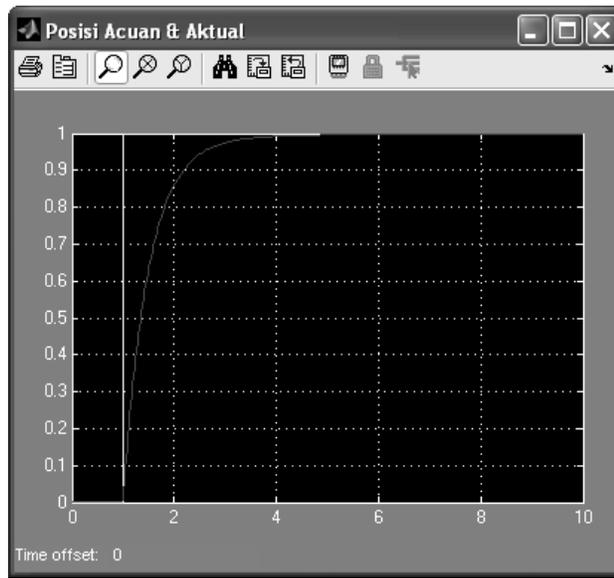
Gambar 10. Respon sistem terhadap set point laju sinar matahari ( $\theta_i$ ) secara step pada  $t=5$  detik dengan  $K_p=1$ ;  $K_i=0,2$ ; dan  $K_d=0,1$



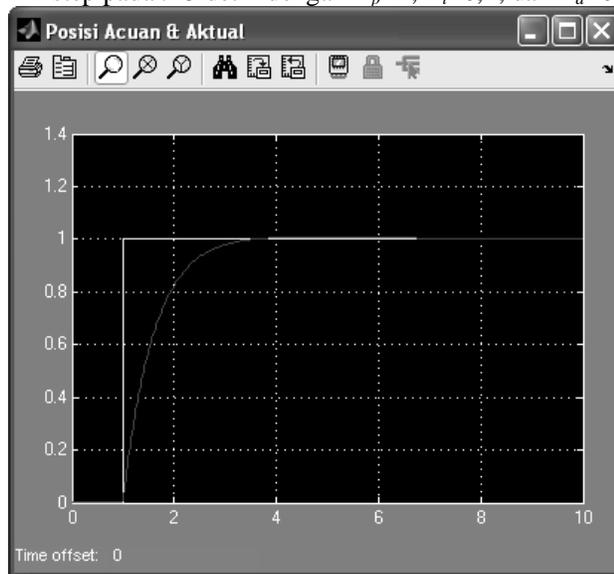
Gambar 11. Respon sistem terhadap set point laju sinar matahari ( $\theta_i$ ) secara step pada  $t=5$  detik dengan  $K_p=1$ ;  $K_i=0,2$ ; dan  $K_d=0,3$



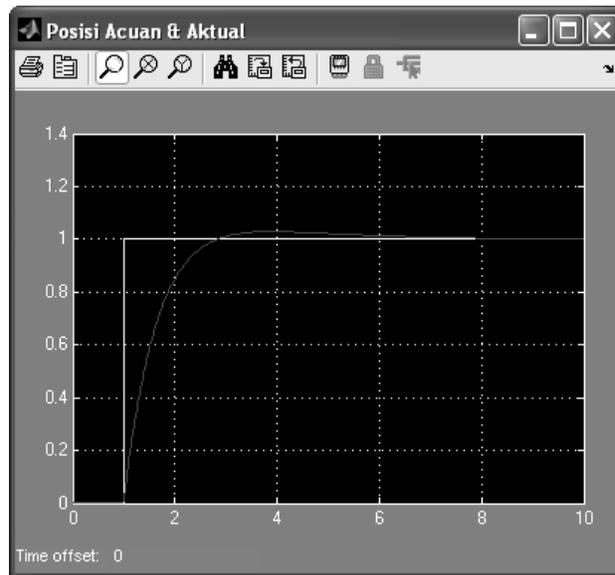
Gambar 12. Respon sistem terhadap set point laju sinar matahari ( $\theta_i$ ) secara step pada  $t=5$  detik dengan  $K_p=1$ ;  $K_i=0,3$ ; dan  $K_d=0,3$



Gambar 13. Respon sistem terhadap set point laju sinar matahari ( $\theta_i$ ) secara step pada  $t=5$  detik dengan  $K_p=1$ ;  $K_i=0,4$ ; dan  $K_d=0,5$



Gambar 14. Respon sistem terhadap set point laju sinar matahari ( $\theta_i$ ) secara step pada  $t=5$  detik dengan  $K_p=1$ ;  $K_i=0,4$ ; dan  $K_d=0,6$



Gambar 15. Respon sistem terhadap set point laju sinar matahari ( $\theta_i$ ) secara step pada  $t=5$  detik dengan  $K_p=1$ ;  $K_i=0,5$ ; dan  $K_d=0,6$

Dari hasil simulasi terlihat bahwa pada saat hanya pengendali P dan PI saja yang digunakan (Gambar 8 dan Gambar 9), respon sistem beresilasi dengan lonjakan cukup besar mencapai nilai 1,6. Untuk menghilangkan lonjakan yang terjadi maka ditambahkan pengendali D dengan beberapa nilai parameter pengendali yang bervariasi. Dari beberapa variasi nilai parameter pengendali PID, respon sistem mampu memberikan respon yang baik dan mampu mengikuti perubahan input yang diberikan. Pada grafik gambar 10, 11 dan 12, terlihat bahwa respon sistem tidak terjadi lonjakan dan osilasi, namun respon cukup lambat dan mencapai keadaan tunak (*steady state*) sampai pada 10 detik belum tercapai. Dengan memperbesar  $K_i$ , respon sistem menjadi lebih cepat dan mencapai keadaan tunak. Respon sistem terbaik diperoleh untuk nilai  $K_p=1$ ,  $K_i=0,4$ , dan  $K_d=0,5$ , dimana respon sistem tidak terjadi lonjakan dan mampu mencapai keadaan tunak kurang dari  $t=6$  detik (Gambar 13). Pada saat  $K_i$  dan  $K_d$  diperbesar, respon sistem menimbulkan osilasi (Gambar 15).

#### IV. KESIMPULAN

Dari uraian yang telah dijelaskan sebelumnya dan analisa hasil simulasi, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem pelacak matahari termasuk sistem *single input single output* (SISO), karena hanya terdapat satu masukan yaitu laju sinar matahari dan satu keluaran yaitu posisi sudut dari piringan pengumpul sinar matahari.

2. Penalaan parameter PID yang dilakukan dengan metode *trial and error* kurang optimal karena membutuhkan waktu uji coba yang lebih lama, dan hasilnya relatif lebih beresiko terhadap respon output sistem.
3. Dari beberapa pengujian sistem dengan variasi parameter  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  yang berbeda, didapatkan bahwa respon terbaik sistem diperoleh pada saat  $K_p=1$ ,  $K_i=0,4$  dan  $K_d=0,5$  atau  $K_d=0,6$ .
4. Tanggapan sistem pada pengujian dengan parameter pengendali seperti tersebut pada poin 3 dapat mencapai kestabilan dan tidak mengalami lonjakan yang berarti dan pada sistem terdapat galat (*error*) sebesar 0,0004492.

## V. DAFTAR PUSTAKA

C. Kuo, Benjamin, *Teknik Kontrol Automatik*, Edisi Bahasa Indonesia Jilid 1, PT. Prenhallindo, Jakarta, 1998.

Ogata, Katshuhiko, *Teknik Kontrol Automatik*, Edisi Kedua Jilid 1, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1996.

Raven, F.H., *Automatic Control Engineering*, 5<sup>th</sup> edition, McGraw-Hil, Inc. New York, 1995.

Wahyu D.H., Thomas dan Agung P., Y. Wahyu, *Analisis dan Desain Sistem Kontrol dengan MATLAB*, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2002.

Wilson, D.R., *Modern Practice in Servo Design*, Volume-2, Pergamon Press, New York, 1970.