

Jurnal *Rekayasa Elektrika*

VOLUME 15 NOMOR 2

Agustus 2019

**Kajian Aspek Kecepatan dan Ketepatan pada Sun Tracker Dua Sumbu Berbasis
Sensor Berbentuk Tetrahedron** 117-124

Saddam Azmi, Yuwaldi Away, dan Ira Devi Sara

JRE	Vol. 15	No. 2	Hal 75-156	Banda Aceh, Agustus 2019	ISSN. 1412-4785 e-ISSN. 2252-620X
-----	---------	-------	------------	-----------------------------	--------------------------------------

Kajian Aspek Kecepatan dan Ketepatan pada Sun Tracker Dua Sumbu Berbasis Sensor Berbentuk Tetrahedron

Saddam Azmi, Yuwaldi Away, dan Ira Devi Sara
Jurusan Teknik Elektro dan Komputer, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syech Abdurrauf, No. 7, Banda Aceh, 23111
e-mail: saddam.azmi123@gmail.com

Abstrak—Sun tracker dua sumbu berbentuk geometri tetrahedron yang sudah dikembangkan memiliki tingkat persentase *error* akurasi sebesar 31,26% dan kecepatan 0,063 m/s. Nilai akurasi dan kecepatan tersebut masih rendah untuk melacak cahaya matahari pada kondisi ruang terbuka. Penelitian ini bertujuan untuk memperbaiki tingkat akurasi dan sun tracker tetrahedron tersebut. Metode yang digunakan untuk memperoleh ketepatan pelacakan adalah dengan menerapkan sistem pengontrol yang membentuk sistem pelacak menggunakan kendali *proportional integral derivative* (PID) dan memodifikasi cahaya matahari dengan menambah sun tracker dan laser pada puncak struktur tetrahedron-nya. Selain itu, motor yang digunakan untuk mengukur keadaan sumbu horizontal dan vertikal adalah jenis Stepper DC. Hasil yang diperoleh menunjukkan tingkat *error* keakuratan dan kecepatan sistem pelacak sun tracker modifikasi adalah sebesar 0,650 pada sumbu X dan 0,540 pada sumbu Y dengan kecepatan sebesar 0,091 m/s. Dari hasil ini dapat disimpulkan sun tracker modifikasi mampu melacak cahaya matahari dengan tepat dan tingkat kesalahan rata-rata pelacak sebesar 0,78% pada sumbu X dan 4,67% pada sumbu Y.

Kata kunci: sun tracker, kecepatan dan ketepatan, sensor tetrahedron dan motor stepper

Abstract— The two-axis Sun tracker with the tetrahedron geometry that has been developed has an error percentage of 31.26% and a speed of 0.063 m/s. The value of the accuracy and speed is still considered low for tracking sunlight in open space conditions. The research aims to improve the accuracy and speed of the tetrahedron tracker sun. The method used to obtain tracking accuracy is to implement a control system that forms a tracking system using the proportional integral derivative (PID) control and modifies the sun's light by adding a sun tracker and laser to the top of the tetrahedron structure. In addition, the motor used to measure the state of the horizontal and vertical axes is the DC Stepper type. The results obtained indicate the level of accuracy of the modified sun tracker system is 0.650 on the X-axis and 0.540 on the Y-axis with a speed of 0.091 m / s. From these results, it can be concluded that the sun tracker modification is able to track sunlight properly with an average tracking error rate of 0.78% on the X-axis and 4.67% on the Y axis.

Keywords: sun tracker, speed and accuracy, tetrahedron sensor and stepper motor

Copyright © 2019 Jurnal Rekayasa Elektroika. All right reserved

I. PENDAHULUAN

Sun tracker adalah sebuah peralatan yang berfungsi untuk menggerakkan panel surya mengikuti arah cahaya matahari. Umumnya, sebuah sun tracker terdiri dari sensor cahaya, aktuator, sensor sudut, alat pengendali, dan sumber energi listrik [1], [2]. Sun tracker menggunakan aktuator berupa dua buah motor stepper yang bergerak pada dua sumbu, yaitu sumbu X dan sumbu Y. Sensor cahaya yang digunakan yaitu LDR (*light dependent resistor*), dipasang secara tetrahedron geometry dengan masing-masing sensor bertanggung jawab untuk menggerakkan satu sumbu [3] – [6]. Sistem otomatis yang dimiliki sun tracker dapat membantu memprediksi perbedaan koordinat matahari yang berbeda-beda dalam pergerakannya dari

timur ke barat setiap hari. Oleh karena itu, pemasangan sun tracker pada sebuah panel surya dimaksudkan untuk memaksimalkan daya listrik keluaran panel surya tersebut [7] – [10].

Terdapat banyak jenis dan bentuk sun tracker yang dihasilkan untuk melacak dengan tepat posisi matahari, seperti beberapa penelitian sebelumnya yang terkait, di antaranya yaitu “Dual-axis sun tracker sensor based on tetrahedron geometry” yang merupakan penelitian dengan mengkombinasikan algoritma tertentu pada sensor yang diusulkan dengan bentuk piramida tiga sisi yang mampu menggerakkan dual-sumbu sistem solar tracker dan ketiga sisi piramida geometry memiliki sensor *amaximum wide FOV* [11]. Selain itu, penelitian serupa lainnya adalah “Low cost two-axis solar tracker with high precision

positioning” yang fokus pada pengkajian *sun tracker* untuk mendapatkan nilai presisi yang tinggi dengan menggunakan algoritma PID [12].

Dari kedua studi di atas, ditemukan bahwa sensor yang diujikan pada masing-masing penelitian tersebut telah menunjukkan kinerja yang menjanjikan. Namun demikian, masih ada yang harus dikembangkan dari penelitian tersebut, yaitu kajian aspek kecepatan dan ketepatan *sensor tetrahedron*. Oleh karena itu, penelitian ini merupakan penelitian lanjutan, yang berfokus pada penyelidikan tingkat kecepatan dan ketepatan *sun tracker* 2 (dua) sumbu mengikuti arah sumber cahaya. Kinerja *sun tracker* diuji kemampuannya dalam mendapatkan posisi matahari yang tepat yaitu dengan sudut datang (*angle of incidence*) cahaya.

Hasil akhir yang berupa nilai kecepatan dan ketepatan *sun tracker* 2 (dua) sumbu dari penelitian ini dibandingkan dengan nilai kecepatan dan ketepatan pada penelitian sebelumnya. Dengan demikian, dalam penelitian ini menggunakan dua buah motor *stepper* dengan modifikasi *driver motor stepper* dari *unipolar* ke *bipolar* sebagai penggerak, sedangkan pada penelitian sebelumnya menggunakan motor *servo*. Prototipe ini merupakan modifikasi dari penelitian *sun tracker* sebelumnya. Penelitian ini mengkaji mengenai kinerja sistem *sun tracker* dengan menambahkan aspek kecepatan dan ketepatan sensor cahaya yang disusun secara *geometry tetrahedron*.

II. STUDI PUSTAKA

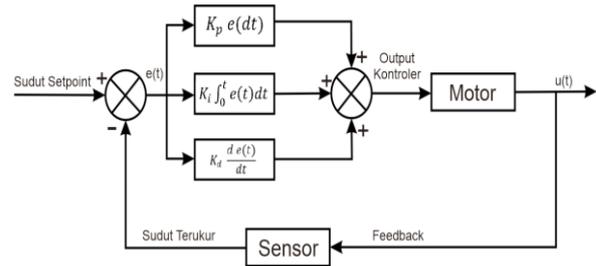
Proportional integral derivative (PID) merupakan kontroler untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tersebut. Pengendali PID adalah pengendali konvensional yang sering dipakai pada suatu *project*, salah satunya pada *sun tracker*. Pada sistem ini menggunakan *control* PID digital [13]-[16].

Sistem kendali PID merupakan sistem kendali umpan balik yang menghitung nilai kesalahan secara kontinu sebagai beda antara *setpoint* yang diinginkan dan variabel proses terukur. Kontroler mencoba untuk meminimalkan nilai kesalahan setiap waktu dengan penyetelan variabel kontrol. Nilai *error* didapat dari hasil pengurangan antara nilai dari sensor dengan nilai *setpoint*. Kontrol PID terdiri dari tiga buah parameter, yaitu: parameter *proportional* (P), *integral* (I), dan *derivative* (D). Ketiga jenis parameter tersebut dapat digabung menjadi PI, PD, atau PID, tergantung kebutuhan [14-16].

Berdasarkan Gambar 1, maka diperoleh tiga buah persamaan konstanta sebagai berikut.

$$P = K_p e(t) \quad (1)$$

Persamaan (1) merupakan persamaan yang digunakan untuk mendapatkan konstanta *proportional*. Konstanta *proportional* bertanggung jawab untuk nilai kesalahan saat ini. Contohnya, jika nilai kesalahan besar dan positif, maka keluaran kontrol juga besar dan positif.



Gambar 1. Diagram alir PID

$$I = K_i \int_0^t e(t) \quad (2)$$

Persamaan (2) merupakan persamaan untuk konstanta untuk mendapatkan konstanta *integral*. Konstanta *integral* bertanggung jawab untuk nilai kesalahan sebelumnya. Contoh, jika keluaran saat ini kurang besar, maka kesalahan akan terakumulasi terus menerus, dan kontroler akan merespon dengan keluaran lebih tinggi.

$$D = \frac{de(t)}{dt} \quad (3)$$

Persamaan (3) merupakan persamaan yang digunakan untuk mendapatkan konstanta *derivative*. Konstanta *derivative* bertanggung jawab untuk kemungkinan nilai kesalahan mendatang, berdasarkan rata-rata tiap waktu. Ketiga parameter tersebut dapat dijumlahkan sehingga persamaan kendali PID didapat sebagai berikut:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (4)$$

dimana $u(t)$ adalah sinyal *output*, $e(t)$ sinyal *error*, K_p konstanta *proportional*, K_i konstanta *integral*, dan K_d adalah konstanta *derivative*.

III. METODE

A. Perancangan Sistem Sun Tracker yang Diusulkan

Sistem *sun tracker* yang diusulkan menggunakan tiga buah sensor LDR diletakkan dengan posisi *geometry tetrahedron*. Masukan LDR yang diproses menggunakan kendali PID adalah masukan LDR 0 dan masukan LDR 1. Rancangan dibagi dua, yaitu perancangan *hardware* dan perancangan *software*. Pada bagian perancangan *hardware*, semua sensor seperti, *driver motor stepper*, *laser*, sensor cahaya dan LCD dihubungkan dan dikendalikan sepenuhnya oleh arduino nano sehingga hasil rancangan merupakan sebuah modul yang dapat bekerja. Penggerak *sun tracker* pada penelitian yang diusulkan menggunakan motor *stepper*. Pada kendali PID dibutuhkan fungsi transfer dari sistem agar dapat diperoleh nilai konstanta P, I, dan D. Diagram rangkaian sistem dapat dilihat pada Gambar 1. Agar memperoleh fungsi transfer, diperlukan perhitungan sistem mekanik pada *solar tracker*. Perhitungan sistem mekanik tersebut menggunakan rumus fisika dasar. Fungsi kontrol PID yang diperoleh seperti Gambar 1.

B. Perhitungan Fungsi Transfer

Fungsi transfer didapat dari pembagian antara *input* sistem dengan *output* sistem. Persamaan untuk mendapatkan fungsi transfer adalah sebagai berikut:

$$G(s) = \frac{X(s)}{U(s)} \tag{5}$$

dimana $G(s)$ adalah fungsi transfer, $X(s)$ *output* sistem, dan $U(s)$ *input* sistem.

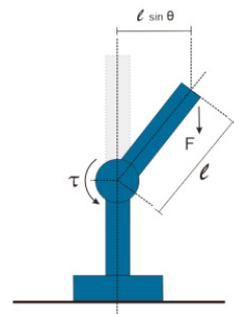
Konsep mekanik dari *sun tracker* sama seperti konsep lengan robot *degree of freedom*. Pada Gambar 2 merupakan bentuk sistem mekanik dari lengan robot *sun tracker*. Diperlukan rumus fisika dasar untuk melakukan perhitungannya. Berdasarkan Gambar 2 dapat diketahui bahwa *sun tracker* menggunakan beberapa aspek-aspek pada sistem mekaniknya, yaitu torsi, momen inersia, dan gaya. Dengan menggunakan Hukum I Newton, maka didapat persamaan berikut [17]:

$$\begin{aligned} \sum F &= 0 \\ \tau - F.l \sin \theta &= 0 \\ I.\alpha - m.g.l \sin \theta &= 0 \\ I.\frac{d^2\theta}{dt^2} - m.g.l \sin \theta &= 0 \\ I.\ddot{\theta} - m.g.l \theta &= 0 \end{aligned} \tag{6}$$

dimana F adalah gaya (N), τ torsi (Nm), I momen inersia (kgm^2), m massa (kg), g percepatan gravitasi (m/s^2), dan θ adalah perpindahan sudut.

Model sistem yang diberikan pada persamaan (6) adalah sistem non-linear. Sistem non-linear merupakan sistem yang tidak tetap sehingga sulit untuk dikendalikan. Diperlukan linearisasi untuk mendapatkan sistem linear dari persamaan (6). Linearisasi dilakukan dengan mengasumsikan sudut = 0° (representasi sudut terkecil) [20]. Linearisasi ini menggunakan deret Maclaurin dengan fungsi persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} f(\theta) &= f(0) + \frac{f'(0)}{1!}(\theta - 0) + \frac{f''(0)}{2!}(\theta - 0)^2 + \dots \\ &+ \frac{f^{(n)}(0)}{n!}(\theta - 0)^n \end{aligned} \tag{7}$$



Gambar 2. Sistem mekanik dari *sun tracker*

Melalui persamaan (8), deret fungsi bisa diperoleh dengan cara sebagai berikut.

$$f(x) = \sin(x)$$

maka

$$\begin{aligned} f(0) &= 0 \\ f'(0) &= 1 \\ f''(0) &= 0 \\ f'''(0) &= -1 \end{aligned}$$

Berdasarkan persamaan (3.3), didapat fungsi sebagai berikut.

$$\begin{aligned} f(\theta) &= 0 + \frac{1}{1!}(\theta - 0) + \frac{0}{2!}(\theta - 0)^2 + \frac{(-1)}{3!}(\theta - 0)^3 + \dots \\ f(\theta) &= \theta - \frac{\theta^3}{3!} + \dots \\ \sin \theta &\approx \theta \end{aligned}$$

Sedangkan untuk deret fungsi $\cos(x)$, bisa didapat dengan cara sebagai berikut.

$$f(x) = \cos(x)$$

maka

$$\begin{aligned} f(0) &= 1 \\ f'(0) &= 0 \\ f''(0) &= -1 \\ f'''(0) &= 0 \end{aligned}$$

Berdasarkan persamaan (7), didapat fungsi sebagai berikut.

$$\begin{aligned} f(\theta) &= 1 + \frac{0}{1!}(\theta - 0) + \frac{(-1)}{2!}(\theta - 0)^2 + \frac{0}{3!}(\theta - 0)^3 + \dots \\ f(\theta) &= 1 - \frac{\theta^2}{2!} + \dots \\ \cos \theta &\approx 1 \end{aligned}$$

Berdasarkan linearisasi dengan deret Maclaurin di atas, maka dapat diasumsikan bahwa nilai $\sin \theta$ dan $\cos \theta$ merupakan nilai suku pertamanya.

$$\begin{aligned} \sin \theta &\approx \theta \\ \cos \theta &\approx 1 \end{aligned} \tag{8}$$

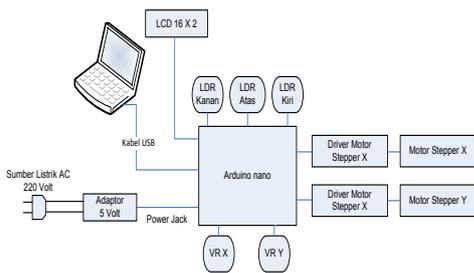
Persamaan (7) dapat diasumsikan pada persamaan (6)

$$I.\ddot{\theta} - m.g.l \theta = 0 \tag{9}$$

Persamaan gerak untuk *sun tracker* telah diperoleh pada persamaan (9). Fungsi transfer menggunakan domain waktu, sedangkan pada persamaan (9) belum dalam bentuk domain waktu. Maka dari itu, persamaan tersebut harus ditransformasikan menggunakan transformasi Laplace terhadap θ .

$$I.s^2\theta(s) - m.g.l\theta(s) = U(s) \tag{10}$$

Sehingga fungsi transfer didapat sebagai berikut.



Gambar 3. Diagram rangkaian sistem

$$\frac{U(s)}{\theta(s)} = I.s^2 - m.g.l$$

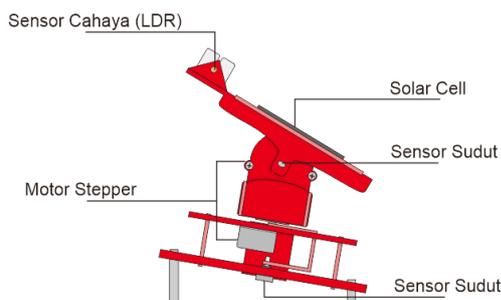
$$\frac{\theta(s)}{U(s)} = \frac{1}{I.s^2 - m.g.l} \tag{11}$$

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

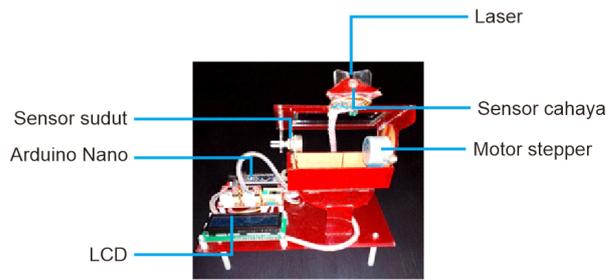
A. Prototipe Sistem Sun Tracker yang Diusulkan

Konstruksi konfigurasi prototipe *sun tracker* yang diusulkan dapat dilihat pada Gambar 3. Gambar 3 menunjukkan bahwa rangkaian arduino nano dihubungkan dengan komputer melalui kabel USB untuk melakukan proses *upload* program dan sekaligus *supply* daya untuk menyalakan sistem. Kabel USB ini juga difungsikan sebagai media untuk mengirimkan data melalui komunikasi *USB to serial* yang terdapat pada arduino nano. Selain menggunakan tegangan dari PC, arduino nano juga bisa dinyalakan dengan daya eksternal yaitu *adaptor* sumber listrik 220 VAC dan dihubungkan pada *power jack* 5 VDC arduino. Terlihat pada Gambar 5, arduino nano juga dihubungkan dengan sensor LDR, sensor sudut, LCD 16 X 2 karakter dan *driver* motor *stepper*.

Gambar 4 menunjukkan hasil rancangan *sun tracker* beserta penjelasan komponen-komponen yang digunakan. Sensor yang digunakan adalah *light dependent resistor* (LDR), yang berfungsi sebagai sensor cahaya. Sensor tersebut diletakkan di atas *sun tracker* dan disusun secara *geometry tetrahedron*. *Sun tracker* ini menggunakan dua buah motor *stepper* sebagai penggerak. Masing-masing motor *stepper* berfungsi untuk menggerakkan



Gambar 4. Hasil rancangan *sun tracker*



Gambar 5. Prototipe *sun tracker*

satu sumbu. Sistem ini juga menggunakan sensor sudut sebagai pembaca sudut ekuivalen matahari, sehingga dapat diketahui posisi dari matahari. Pada bagian atas *sun tracker*, dipasang *solar cell* yang berfungsi sebagai pengubah cahaya matahari menjadi energi listrik.

B. Sistem Keseluruhan

Keseluruhan sistem *sun tracker* meliputi subsistem *input* yaitu sensor cahaya (LDR) dan sensor sudut, sub sistem proses yaitu arduino nano dan subsistem *output* yaitu motor *stepper*.

Komponen-komponen tersebut kemudian disusun menjadi sebuah prototipe *sun tracker* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.

Gambar 5 memperlihatkan perangkat “*Dual-axis sun tracker sensor based on tetrahedron geometry*” secara keseluruhan. Pada perangkat ini terdapat *solar cell* berukuran kecil sebagai perangkat yang berfungsi untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, pada perangkat ini terdapat bagian-bagian komponen yaitu sensor LDR, sensor sudut, arduino nano, *driver* motor *stepper*; motor *stepper* jenis *bipolar* dan LCD 16 x 2 karakter.

C. Perbandingan dengan Sistem Terdahulu

Penelitian [11] membahas mengenai algoritma sistem kendali PID berbasis *tetrahedron geometry*. Namun penelitian di atas tidak berfokus pada kecepatan dan ketepatan *sun tracker*, sehingga daya yang dihasilkan oleh panel surya belum maksimal. Maka dari itu perlu perbaikan algoritma untuk mengakurasi *sun tracker* agar panel surya tepat menghadap matahari.

Penelitian ini bertujuan untuk memperbaiki algoritma dari penelitian sebelumnya. Penelitian ini berfokus untuk memperoleh sistem *sun tracker* yang cepat dan tepat. Setelah diteliti dan dilakukan pengujian, maka diperoleh data kecepatan dan ketepatannya. Dengan begitu, dapat dilihat nilai perbandingan kedua sistem *sun tracker* antara penelitian yang diusulkan dengan penelitian sebelumnya.

a. Perbandingan Kecepatan

Perbandingan kecepatan ini dilakukan untuk mengetahui kinerja antara penelitian yang diusulkan dengan penelitian sebelumnya mengenai “*Dual-axis sun tracker sensor based on tetrahedron geometry*” [11].

Tabel 1. Perbandingan nilai kecepatan sudut

Lampu		Penelitian yang diusulkan		Penelitian Sebelumnya	
Dari	Ke	Kecepatan X (rad/s)	Kecepatan Y (rad/s)	Kecepatan X (rad/s)	Kecepatan Y (rad/s)
1	9	0,16	0,16	0,11	0,11
9	2	0,16	0,16	0,11	0,11
2	8	0,16	0,16	0,11	0,11
8	6	0,16	0,16	0,11	0,11
6	4	0,16	0,16	0,11	0,11
4	5	0,16	0,16	0,11	0,11
5	7	0,16	0,16	0,11	0,11
7	3	0,16	0,16	0,11	0,11
3	1	0,16	0,16	0,11	0,11

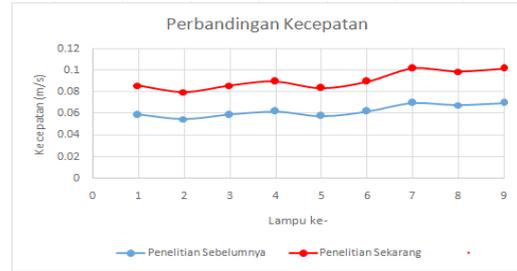
Pada penelitian yang diusulkan, penggerak *sun tracker* menggunakan motor *stepper*; sedangkan pada penelitian sebelumnya menggunakan motor *servo*. Hal ini akan mempengaruhi kinerja dari masing-masing *sun tracker*. Data hasil pengujian kecepatan sudut dan kecepatan linear pada penelitian yang diusulkan dapat dilihat pada Tabel 1. Sedangkan untuk data kecepatan sudut dan kecepatan linear hasil pengujian pada penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1 disebutkan perbandingan kecepatan sudut antara penelitian yang diusulkan dengan penelitian sebelumnya. Berdasarkan data tersebut, dapat disimpulkan bahwa kecepatan sudut pada penelitian yang diusulkan lebih cepat dibandingkan pada penelitian sebelumnya. Hal tersebut terjadi karena pada penelitian sebelumnya menggunakan penggerak berupa motor *servo*, dimana motor *servo* lebih lambat dibandingkan motor *stepper*. Kecepatan sudut rata-rata motor *servo* yaitu 0,11 rad/s dengan kecepatan linear rata-rata sebesar 0,063 m/s, sedangkan kecepatan rata-rata motor *stepper* yaitu 0,16 rad/s dengan kecepatan linear rata-rata sebesar 0,091 m/s.

Tabel 2 memperlihatkan data perbandingan kecepatan linear antara penelitian yang diusulkan dengan penelitian

Tabel 2. Perbandingan nilai kecepatan linear

Lampu	Jarak antara Sun Tracker dengan Lampu (m)	Penelitian yang diusulkan		Penelitian Sebelumnya	
		Kec. Sudut (rad/s)	Kec. Linear (m/s)	Kec. Sudut (rad/s)	Kec. Linear (m/s)
1	0,54	0,16	0,086	0,11	0,059
2	0,5	0,16	0,08	0,11	0,055
3	0,54	0,16	0,086	0,11	0,059
4	0,56	0,16	0,09	0,11	0,062
5	0,53	0,16	0,084	0,11	0,058
6	0,56	0,16	0,09	0,11	0,062
7	0,64	0,16	0,102	0,11	0,07
8	0,62	0,16	0,099	0,11	0,068
9	0,64	0,16	0,102	0,11	0,07



Gambar 6. Grafik perbandingan kecepatan

sebelumnya. Berdasarkan data tersebut, dapat disimpulkan bahwa kecepatan linear pada penelitian diusulkan lebih cepat dibandingkan pada penelitian sebelumnya. Hal tersebut terjadi karena pengaruh kecepatan sudut pada penelitian diusulkan lebih cepat daripada penelitian sebelumnya.

Gambar 6 menunjukkan perbandingan kecepatan linear *sun tracker* antara penelitian sebelumnya, dengan penelitian yang diusulkan, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2. Berdasarkan data tersebut, dapat disimpulkan bahwa *sun tracker* pada penelitian diusulkan lebih cepat dibandingkan penelitian sebelumnya.

b. Perbandingan Ketepatan

Perbandingan ketepatan ini dilakukan untuk mengetahui kinerja antara penelitian yang diusulkan dengan penelitian sebelumnya tentang “*Dual-axis sun tracker sensor based on tetrahedron geometry*” [11]. Pada penelitian yang diusulkan, penggerak *sun tracker* menggunakan motor *stepper*, sedangkan pada penelitian sebelumnya menggunakan motor *servo*. Hal ini akan mempengaruhi kinerja dari masing-masing *sun tracker*. Perbandingan dilakukan pada masing-masing sumbu pada *sun tracker*. Data hasil pengujian ketepatan sumbu X pada penelitian yang diusulkan dapat dilihat pada Tabel 3. Sedangkan untuk data hasil pengujian sumbu X pada penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 4.

Berdasarkan hasil perbandingan dari kedua penelitian yang ditunjukkan pada Tabel 3 dan Tabel 4 dapat disimpulkan bahwa penelitian yang diusulkan memiliki ketepatan yang akurat dibandingkan dengan penelitian sebelumnya. Pada penelitian ini memiliki persentase rata-

Tabel 3. Nilai ketepatan sumbu X pada penelitian yang diusulkan

Lampu	Rata-Rata Sudut X	Rata-Rata Output PID X	Error (derajat)	Error (%)
1	72	72,54	0,54	0,59
2	91	91,32	0,54	0,35
3	109	108,62	0,38	0,34
4	111	110,48	0,52	0,46
5	89	89,61	0,61	0,68
6	66	67,07	1,07	1,62
7	63	64,01	1,01	1,60
8	89	89,41	0,41	0,46
9	113	114,04	1,04	0,92

Tabel 4. Nilai ketepatan sumbu X pada penelitian sebelumnya

Lampu	Sudut X	Output PID X	Error (derajat)	Error (%)
1	10	12	2	20
2	10	16	6	60
3	10	15	5	50
4	25	17	8	32
5	25	18	7	28
6	25	23	2	8
7	30	35	5	16,67
8	30	21	9	30
9	30	19	11	36,67

rata *error* pada sumbu X sebesar 0,78%. Sedangkan pada penelitian sebelumnya memiliki persentase rata-rata *error* pada sumbu X sebesar 31,26%. Hal tersebut membuktikan bahwa penelitian *sun tracker* yang diusulkan lebih tepat dan akurat dibandingkan dengan penelitian sebelumnya.

Nilai ketepatan sumbu Y pada penelitian yang diusulkan dapat dilihat pada Tabel 5, sedangkan nilai ketepatan sumbu Y pada penelitian yang sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 6.

Berdasarkan data pengujian yang ada pada Tabel 5 menunjukkan persentase rata-rata *error* pada sumbu Y sebesar 4,67%. Namun pada penelitian sebelumnya, pada Tabel 6, penggerak sumbu Y menggunakan motor *servo continuous*, sehingga sudut motor *servo* tidak dapat dikendalikan. Pada motor *servo continuous*, hanya arah putarannya saja yang bisa dikontrol, *clockwise* atau *counter clockwise*. Maka dari itu, nilai ketepatan pada sumbu Y tidak dapat disimpulkan.

Gambar 7 menunjukkan perbandingan ketepatan *sun tracker* antara penelitian sebelumnya, yang ditunjukkan pada Tabel 6, dengan penelitian yang diusulkan, yang ditunjukkan pada Tabel 5. Berdasarkan data tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa *sun tracker* pada penelitian yang diusulkan lebih tepat dibandingkan penelitian sebelumnya.

c. Perbandingan Tegangan

Perbandingan tegangan ini dilakukan dengan meletakkan kedua *sun tracker* di bawah sinar matahari. Pengujian dilakukan mulai dari pukul 08.00 sampai

Tabel 5. Nilai ketepatan sumbu Y pada penelitian yang diusulkan

Lampu	Rata-rata Sudut Y	Rata-rata Output PID Y	Error (derajat)	Error (%)
1	6	6,59	0,59	9,83
2	6	5,84	0,16	2,83
3	4	4,67	0,67	16,75
4	22	21,88	0,12	0,54
5	25	25,79	0,79	3,16
6	24	24,89	0,89	3,70
7	43	42,89	1,01	1,60
8	44	45,32	1,32	3
9	39	39,25	0,25	0,64

Tabel 6. Nilai ketepatan sumbu Y pada penelitian sebelumnya

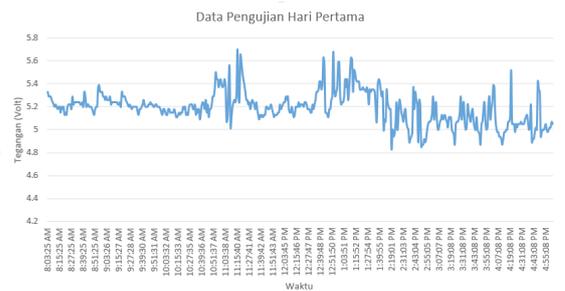
Lampu	Nilai Output PID	Putaran
1	105	Counterclockwise
2	89	Stop
3	88,1	Clockwise
4	88,93	Clockwise
5	88,53	Clockwise
6	88,56	Clockwise
7	88,02	Clockwise
8	65	Clockwise
9	88,2	Clockwise

dengan pukul 17.00 selama tiga hari. *Sun tracker* dibiarkan bergerak mengikuti sinar matahari untuk diamati data tegangan yang dihasilkan. Pada pengujian hari pertama, diperoleh data seperti yang ditampilkan pada Gambar 8 untuk *sun tracker* yang diusulkan dan Gambar 9 untuk *sun tracker* yang terdahulu.

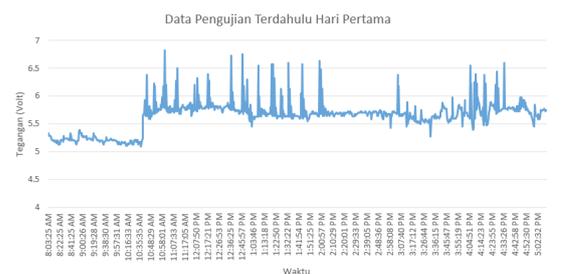
Berdasarkan pengambilan data pada hari pertama, diperoleh bentuk grafik data tegangan yang tidak konstan



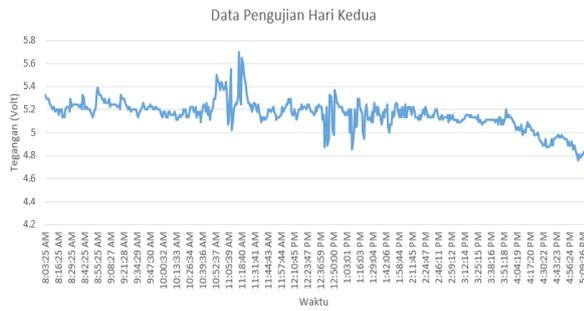
Gambar 7. Grafik perbandingan ketepatan



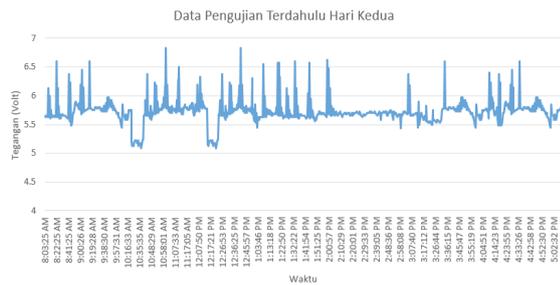
Gambar 8. Data hasil tegangan pada hari pertama dengan *sun tracker* yang diusulkan



Gambar 9. Data hasil tegangan pada hari pertama dengan *sun tracker* yang terdahulu



Gambar 10. Data hasil tegangan pada hari kedua dengan sun tracker yang diusulkan

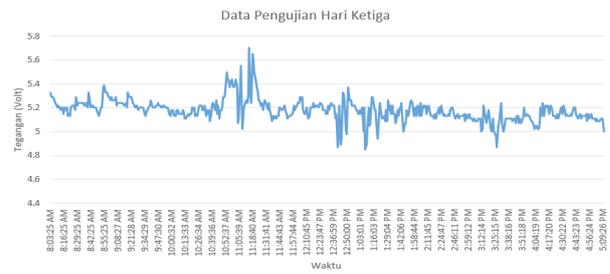


Gambar 11. Data hasil tegangan pada hari kedua dengan sun tracker yang terdahulu

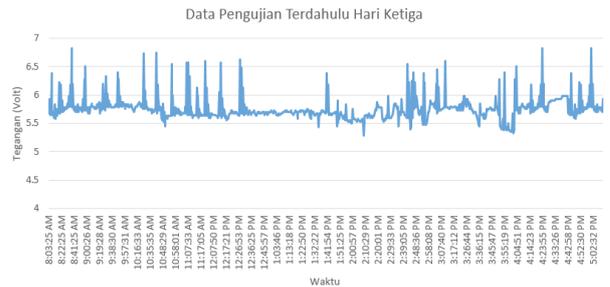
pada kedua *sun tracker*. Hal tersebut disebabkan karena cuaca pada saat ini sedang cerah tertutup awan, sehingga tegangan yang dihasilkan naik turun. Pada *sun tracker* yang diusulkan, diperoleh tegangan maksimal sebesar 5,7 Volt dan tegangan minimal sebesar 4,8 Volt. Sedangkan pada *sun tracker* terdahulu, tegangan maksimal yang diperoleh sebesar 6,8 Volt dan tegangan minimal yang diperoleh sebesar 5,1 Volt. Perbedaan tegangan itu disebabkan karena perbedaan luas penampang panel surya yang digunakan. Pada penelitian terdahulu menggunakan panel surya dengan ukuran 11 cm x 13 cm, Sedangkan pada penelitian yang diusulkan menggunakan panel surya dengan ukuran 11 cm x 7 cm.

Pada pengujian hari kedua, diperoleh data seperti yang ditampilkan pada Gambar 10 untuk *sun tracker* yang diusulkan dan Gambar 11 untuk *sun tracker* yang terdahulu. Berdasarkan data hasil tegangan pada hari kedua diperoleh data tegangan yang cukup stabil dengan *sun tracker* yang diusulkan, sedangkan data yang berubah-ubah pada *sun tracker* yang terdahulu. Kondisi cuaca pada hari kedua ini cukup cerah, namun mendung pada sore hari. Nilai tegangan maksimal pada penelitian yang diusulkan diperoleh sebesar 5,7 Volt dan nilai minimal pada penelitian yang diusulkan sebesar 4,8 Volt. Nilai 4,8 Volt tersebut terjadi pada sore hari, pada saat cuaca sudah mulai mendung. Data tegangan tersebut konstan pada nilai 5,2 Volt dengan sedikit osilasi. Sedangkan nilai maksimal pada penelitian yang terdahulu sebesar 6,8 Volt dan nilai minimal pada penelitian yang terdahulu sebesar 5,1 Volt. Data tegangan tersebut konstan pada nilai 5,4 Volt dengan osilasi yang besar.

Pada pengujian hari ketiga, diperoleh data seperti yang ditampilkan pada Gambar 12 untuk *sun tracker*



Gambar 12. Data hasil tegangan pada hari ketiga dengan sun tracker yang diusulkan



Gambar 13. Data hasil tegangan pada hari kedua dengan sun tracker yang terdahulu

yang diusulkan dan Gambar 13 untuk *sun tracker* yang terdahulu.

Berdasarkan data tegangan yang diperoleh pada hari ketiga didapatkan data tegangan yang cukup stabil dengan sedikit osilasi. Kondisi cuaca pada hari ketiga cukup cerah, sehingga tegangan yang dihasilkan bisa maksimal. Nilai tegangan pada *sun tracker* yang diusulkan memiliki nilai maksimum sebesar 5,7 Volt dan nilai minimum sebesar 4,9 Volt. Nilai tersebut tidak terlalu stabil dan berubah-ubah. Sedangkan nilai tegangan maksimum pada *sun tracker* yang terdahulu sebesar 6,8 Volt dan nilai minimum sebesar 5,3 Volt. Data tegangan tersebut lebih stabil dibandingkan data-data pada hari-hari sebelumnya. Maka dapat disimpulkan bahwa aspek ketepatan dan kecepatan berpengaruh ke daya yang dihasilkan oleh panel surya.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian terhadap data yang telah diperoleh, maka dapat disimpulkan bahwa dengan rancangan konstruksi *sun tracker* dua sumbu pengujian dengan menggunakan algoritma PID di dapat nilai rata-rata *error* pada sumbu X sebesar 0,65⁰ dan rata-rata *error* pada sumbu Y sebesar 0,54⁰. Dari pengujian prototipe *sun tracker* diperoleh nilai persentase rata-rata *error* pada sumbu X sebesar 0,78%. Sedangkan persentase rata-rata *error* pada sumbu Y sebesar 4,67%. Sedangkan hasil nilai tegangan maksimal yang diperoleh pada pengujian *sun tracker* yang diusulkan sebesar 5,7 Volt.

Hasil perbandingan kinerja dari aspek kecepatan dan ketepatan antara konstruksi *sun tracker* yang diusulkan lebih baik dari yang terdahulu. Nilai rata-rata kecepatan sudut yang diperoleh dari hasil pengujian *sun tracker*

sebesar 0,16 rad/s dan nilai rata-rata kecepatan linear sebesar 0,091 m/s. Pada penelitian sebelumnya, rata-rata kecepatan sudut sebesar 0,11 rad/s dan rata-rata kecepatan linear sebesar 0,063 m/s.

REFERENSI

- [1] F. Afrin, T. Titirsha, S. Sanjidah, A.R.M. Siddique, A. Rabbani, "Installing dual axis solar tracker on rooftop to meet the soaring demand of energy for developing countries," *IEEE India Conf. (INDICON)*, 1–5, pp.13–15, Dec. 2013.
- [2] R. Tejwani, C.S. Solanki, "360° sun tracking with automated cleaning system for solar PV modules," *IEEE PhotoVolt. Spec. Conf.* 002895–002898, pp. 20-25, June 2010.
- [3] D. Kho, "Pengertian LDR (Light Dependent Resistor) dan Cara Mengukurnya," *Komponen Elektronika*, 8 Maret 2016.
- [4] C.H. Tsai, S.C. Hu, C.H. Huang, Y.C. Tseng, "A sensor-based sun-tracking energy harvest system," *International Journal of Sensor Networks* 19.2, pp. 104–113, 2015.
- [5] Wilson, John, "Sensor Technology Handbook," London: Newnes. 2005.
- [6] Fernando Briz, et al, "Speed Measurement Using Rotary Encoder for High Performance Ac Drives," *IEEE Trans*, vol.13, pp.538-542, October 1994.
- [7] U.S. Department Of Energy PhotoVoltaics Program, "Turning Sunlight into Electricity History: The PV Effect," 1998.
- [8] Sistem Off Grid, On Grid PLTS," *Solar Surya Indonesia*, April 2018
- [9] Centre for alternative technology, Machynlleth. History Of Photo Voltaic cells (PV).
- [10] A. Kassem, M. Hamad, "A microcontroller-based multi-function solar tracking system," *IEEE Int. Syst. Conf.* pp. 4-7, April 2011.
- [11] Y. Away and M. Ikhsan, "Dual-Axis Sun tracker Sensor Based on Tetrahedron Geometry," Elsevier: *Automation in Construction*, No. 73, pp. 175–183, 2017.
- [12] A. Yazidil, F. Betin, G. Notton, G.A. Capolinol, "Low cost two-axis solar tracker with high precision positioning," *First International Symposium on Environment Identities and Mediterranean Area*, pp. 211-216, 2017.
- [13] M.S. Ait Cheikh, C. Larbes, G.F. Tchoketch Kebir and A. Zerguerras, "Maximum power point tracking using a PID control scheme - Revue des Energies Renouvelables," Vol. 10 N03, pp. 387 – 395, 2007.
- [14] Arduino PID Library, <http://playground.arduino.cc/Code/PIDLibrary>.
- [15] S. Mohanty, B. Subudhi and P. K Ray, "A new MPPT Design Using Grey Wolf Optimization Technique For PhotoVoltaic System Under partial Shading Conditions", *IEEE Transaction on Suistable Energy*, vol.7, pp.181-188, Jan 2016.
- [16] Kivrak, S., Gunduzalp, M. and Dincer, F., "Theoretical and experimental performance investigation of a two-axis solar tracker under the climatic condition of Denizli," Turkey. *Przegląd Elektro Techniczny (Electrical Review)*, ISSN 0033-2097, R. 88 NR 2/2012.
- [17] A. H. Bin Abd Malik, *Sistem Pengawal Inverted Pendulum: Perbandingan Diantara Pengawal PID Dan Pengawal State Feedback*, Malaka: Universiti Teknikal Malaysia Melaka, 2008.

Penerbit:

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No. 7, Banda Aceh 23111

website: <http://jurnal.unsyiah.ac.id/JRE>

email: rekayasa.elektrika@unsyiah.net

Telp/Fax: (0651) 7554336

