

# Rancang Bangun Sistem Pemantauan Pergerakan *Photovoltaic* sebagai Media Pembelajaran

FEBRIAN HADIATNA, DECY NATALIANA, REFANTIO ARDIATAMA

Program Studi Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional Bandung, Indonesia  
Email : Febrian@itenas.ac.id

*Received* 2 Juni 2024 | *Revised* 9 Juli 2024 | *Accepted* 19 Juli 2024

## ABSTRAK

*Sebuah media pembelajaran dibangun pada penelitian ini, tentang sistem pemantauan pergerakan photovoltaic. Parameter yang dipantau pada sistem ini yaitu sudut zenith, sudut HRA, dan intensitas cahaya. Photovoltaic dapat bergerak secara manual dengan menggunakan sebuah handheld device pada dua poros yaitu X dan Y. Sensor yang digunakan pada sistem ini adalah MPU6050 dan SEN0390. Data sensor diproses oleh Atmega328, kemudian ditampilkan hasilnya pada LCD 1602. Linear aktuator digunakan untuk menggerakkan photovoltaic agar mampu bergerak pada dua poros, yaitu untuk sudut zenith mampu bergerak dari 0° hingga 15°, dan untuk sudut HRA mampu bergerak dari -30° hingga 30°. Hasil pengujian untuk tingkat akurasi pada poros Y gyroscope sebesar  $\pm 0,004^\circ$  dan presisi sebesar  $\pm 0,005^\circ$ , serta tingkat akurasi pada poros X sebesar  $\pm 0,028^\circ$ , dan presisi sebesar  $\pm 0,037^\circ$ . Sensor cahaya SEN0390 yang digunakan memiliki akurasi sebesar  $\pm 8$  lx. Sistem dapat digunakan untuk kegiatan praktikum namun perlu disesuaikan waktu penggunaannya, karena sistem mekaniknya hanya mampu bergerak untuk sudut HRA dari -30° hingga 30°.*

**Kata kunci:** *photovoltaic, zenith, HRA, media pembelajaran*

## ABSTRACT

*A learning tool was built in this research, about photovoltaic movement monitoring systems. The parameters monitored in this system are the zenith angle, HRA angle and light intensity. The photovoltaic can be moved manually using a handheld device on two axes, namely X and Y. The sensors used in this system are MPU6050 and SEN0390. The sensor data is processed by the Atmega328, then the results are displayed on the LCD 1602. Linear actuators are used to move the photovoltaic so that it can move on two axes, namely for the zenith angle it can move from 0° to 15°, and for the HRA angle it can move from -30° to 30°. The test results for the level of accuracy on the Y axis of the gyroscope are  $\pm 0.004^\circ$  and the precision is  $\pm 0.005^\circ$ , and the level of accuracy on the X axis is  $\pm 0.028^\circ$ , and the precision is  $\pm 0.037^\circ$ . The SEN0390 light sensor used has an accuracy of  $\pm 8$  lx. The system can be used for practical activities but needs to be adjusted when used, because the mechanical system is only capable of moving at HRA angles from -30° to 30°.*

**Keywords:** *photovoltaic, zenith, HRA, learning tool*

## 1. PENDAHULUAN

Cahaya matahari merupakan salah satu energi terbarukan yang tidak meninggalkan sisa limbah berbahaya, dengan menggunakan photovoltaic (PV) energi dari cahaya matahari mampu dikonversikan menjadi energi listrik **(Akash, dkk, 2022)**. Kemampuan PV dalam menghasilkan listrik dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya yaitu radiasi matahari, bahan sel surya, suhu permukaan sel surya, dan lain-lain **(Md., dkk, 2021)**. Sudut datang radiasi matahari terhadap permukaan PV, mampu mempengaruhi terhadap produktivitas PV, yaitu dengan mengatur sudut datangnya radiasi matahari agar tegak lurus dengan PV **(Mohammad, dkk, 2023)**.

Beberapa penelitian telah dilakukan agar PV dapat menerima radiasi matahari secara maksimal, yaitu dengan melacak posisi matahari. Misalnya, penelitian melacak posisi matahari yang dilakukan di kota Baghdad dengan menggunakan empat sensor LDR dan dua motor DC agar dapat bergerak pada dua sumbu. Pada penelitian tersebut, adanya pelacakan posisi matahari mampu meningkatkan efisiensi energi listrik yang dihasilkan **(Falah, dkk, 2018)**. Penelitian lainnya juga melakukan pelacakan posisi matahari dengan menggunakan mikrokontroler, namun dengan dengan pergerakannya pada sumbu tunggal **(Md., dkk, 2021)**. Adapun untuk memaksimalkan proses mengikuti matahari, dilakukan dengan membuat sistem pergerakan dengan sumbu ganda **(Hend, dkk, 2018)**. Selain LDR, penelitian lainnya ada yang menggunakan sensor lux untuk mendeteksi cahaya matahari, serta menggunakan kendali PID ataupun Fuzzy untuk memperlancar pergerakan PV **(Widyaningrum, dkk, 2023)(Mahmoud, dkk, 2017)**.

Selain dengan bantuan sensor LDR atau sensor lux untuk proses deteksi cahaya matahari pada pelacakan posisi matahari, terdapat juga cara tanpa menggunakan sensor apapun **(Zuhal, dkk, 2018)**. Metoda ini dapat mengatasi kekurangan dari sistem close loop pada proses pelacakan posisi matahari yang telah banyak dilakukan. Dengan menggunakan algoritma pemosisian matahari, *real time clock*, dan sistem penentuan posisi Global (GPS), maka proses pelacakan PV yang cerdas mampu dikembangkan **(Meera, dkk, 2023)**.

Setiap satu jam, matahari bergerak sebesar  $15^\circ$  dari timur menuju barat yang disebut dengan sudut jam matahari, sehingga dengan menerapkan pengaturan waktu, maka dapat diketahui posisi matahari tanpa adanya bantuan sensor apapun **(Al, dkk, 2014)**. Setelah diketahui posisi matahari berdasarkan waktu, maka aktuator yang terdapat pada PV di atur untuk bergerak secara berkala dengan perubahan sudut yang tetap **(Amanoollah, dkk, 2023)**. Konsep ini yang melandasi pada penelitian ini. Adapun PV yang dirancang, digunakan untuk media pembelajaran dalam kegiatan praktikum.

Seperti yang telah dilakukan di SMA Negeri 11 Purworejo untuk mata pelajaran Fisika di sekolah tersebut, maka dibuat dan digunakannya alat peraga berupa *solar tracker* untuk mempelajari manfaat dari energi matahari, kemudian dibandingkan energi yang dihasilkannya antara sistem PV yang menggunakan *tracker* dan yang tidak **(Tusri'ah, dkk, 2017)**. Sedangkan mahasiswa teknik listrik Politeknik Negeri Ujung Pandang (PNUP) telah membuat juga sebuah modul praktikum PLTS, namun belum adanya proses pelacakan posisi matahari dalam modulnya tersebut. Kelebihan dari modul praktikumnya ini adalah pada bagian proses pembelajaran di setiap komponen perangkat PLTS yang digunakannya, yaitu adanya proses pemantauan arus dan tegangan **(Khaffi, dkk, 2020)**. Penelitian lainnya terkait PV misalnya yang telah dilakukan oleh Ionel-Laurentiu Alboteanu pada tahun 2023, yaitu mencoba membandingkan proses pelacakan posisi matahari berdasarkan data astronomi dan berdasarkan pelacakan titik iluminasi maksimum yang kegiatannya ini digunakan untuk kebutuhan dibidang pendidikan **(Ionel-Laurentiu, dkk, 2023)**.

Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan terkait pengembangan PV sebagai modul pembelajaran di sekolah ataupun kampus, maka tujuan dari penelitian ini pun mencoba melakukan pengembangan terhadap modul praktikum untuk mempelajari karakteristik energi listrik yang dihasilkan oleh PV terhadap perubahan parameter sudut cahaya matahari yang diterima, dengan cara menggerakkan PV menggunakan linear aktuator.

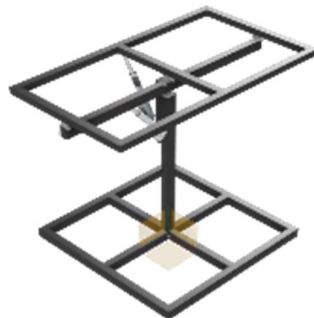
Adapun beberapa rumusan masalah yang dibahas pada penelitian ini, diantaranya yaitu cara merancang dan merealisasikan perangkat keras untuk membaca tingkat kemiringan PV dan intensitas cahaya yang diterima PV, melakukan proses kendali terhadap linear aktuator DC yang digunakan agar PV memperoleh sinar matahari secara maksimal, serta cara menampilkan data hasil pengukurannya.

Dalam melakukan penelitian ini terdapat beberapa batasan yang dilakukan. PLTS yang dirancang bersifat *off-grid* dengan menggunakan PV sebesar 200Wp. Pengendalian terhadap aktuator linier untuk kemiringan PV digerakkan secara manual menggunakan sebuah *handheld controller*. Tingkat kemiringan yang diukur berdasarkan pada posisi matahari yaitu sudut *zenith* akibat elevasi matahari dan sudut jam matahari (HRA).

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

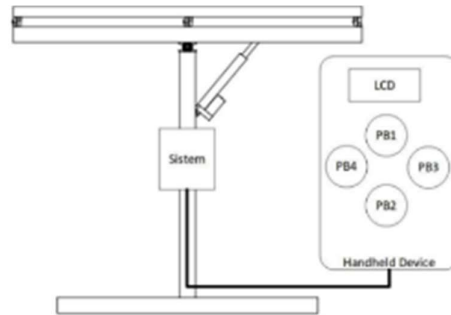
### 2.1 Deskripsi Sistem

Sistem PV yang dirancang, diletakkan pada sebuah frame berukuran 153 cm x 67 cm dengan ketinggian 120 cm. Jumlah PV yang digunakan adalah dua unit, dengan spesifikasi satu unitnya adalah 100Wp. Sistem PV ini dirancang agar mampu bergerak dalam dua sumbu (**Siagian, dkk, 2022**). Namun terdapat perbedaan dengan penelitian tersebut, yaitu pada jenis aktuator yang digunakan sebagai penggerak sumbu. Pada sistem ini yang digunakan adalah dua buah linear aktuator. Berikut ini Gambar 1, menampilkan rancangan dari frame PV yang digunakan.



**Gambar 1. Rancangan Frame Sistem PV**

Kedua buah linear aktuator yang digunakan, dikendalikan melalui sebuah *handheld device* yang memiliki empat buah *pushbutton* (PB) untuk pengaturan gerakannya, serta *display* untuk menampilkan data pengukuran sensor. Sensor yang digunakan adalah untuk mengukur intensitas cahaya dan kemiringan sudut PV. Sensor ini diletakkan pada bagian tengah PV yang posisinya tidak menghalangi terhadap cahaya yang diterima oleh PV. *Handheld device* dihubungkan dengan sistem utama PV dengan menggunakan kabel sepanjang  $\pm 3$  m, agar pengguna mudah mengendalikan posisi PV. Berikut ini Gambar 2 menampilkan ilustrasi dari pemasangan sistem utama PV dan *handheld device*.



**Gambar 2. Ilustrasi Pemasangan Sistem utama PV dan *Handheld Device***

## 2.2 Perancangan dan Realisasi Perangkat Keras

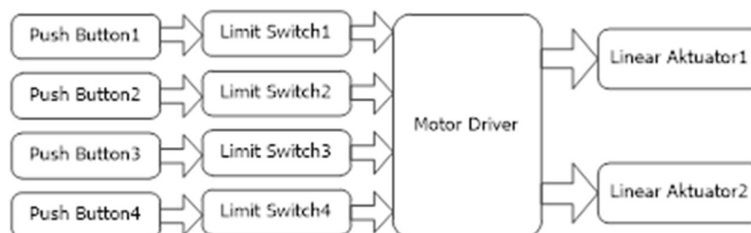
Sistem yang dirancang memiliki dua kemampuan dasar yaitu kemampuan dalam memantau intensitas cahaya dan kemiringan PV serta kemampuan dalam mengendalikan kemiringan PV secara manual melalui *handheld device*. Berikut ini Gambar 3 menampilkan blok diagram yang menjelaskan prinsip kerja dari kemampuan PV dalam memantau intensitas cahaya dan kemiringan PV.



**Gambar 3. Blok Diagram Sistem Pemantauan**

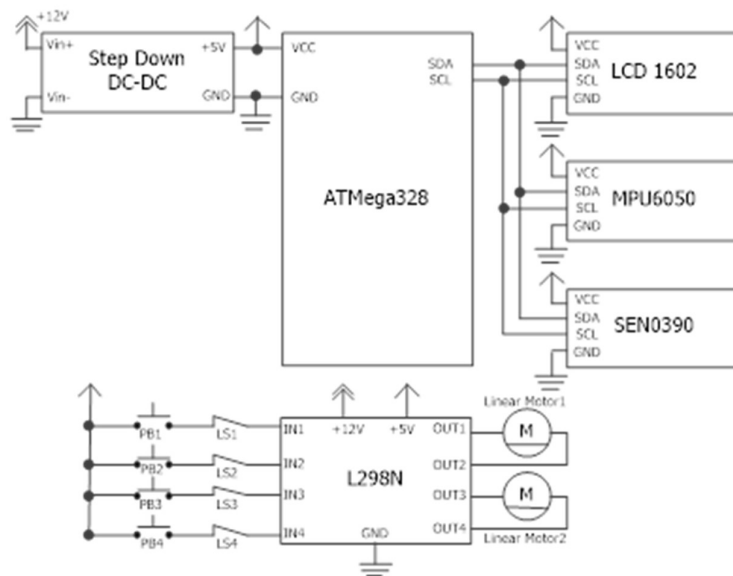
Berdasarkan Gambar 3, tampak bahwa mikrokontroler menerima masukan berupa hasil pengukuran intensitas cahaya oleh sensor cahaya, dan hasil pengukuran tingkat kemiringan PV oleh sensor gyroscope. Pengolahan hasil pengukuran tersebut, selanjutnya akan ditampilkan pada sebuah perangkat display LCD. Mikrokontroler yang digunakan pada sistem ini adalah Atmega328, sedangkan untuk sensor cahayanya SEN0390 dan sensor gyroscopenya MPU6050. Untuk menampilkan data tersebut, maka digunakan LCD karakter 1602 pada sistem ini.

Pada bagian proses pengendalian kemiringan PV secara manual melalui *handheld device*, yaitu dengan mengatur bagian motor driver yang digunakan untuk menggerakkan kedua buah linear aktuator. PV mampu bergerak pada dua poros berbeda sehingga memungkinkannya untuk menghadap ke empat arah yakni, timur, barat, utara, dan selatan. Motor driver dikendalikan melalui empat buah PB dan empat buah *limit switch*(LS). Adapun prinsip kerja dari bagian sistem pengendalian kemiringan PV ini disajikan dalam bentuk blok diagram pada Gambar 4 berikut ini.



**Gambar 4. Blok Diagram Pengendalian Kemiringan PV**

Motor driver yang digunakan memiliki empat buah input. Setiap input dihubungkan dengan sebuah PB yang dirangkai seri dengan sebuah LS. Input dari PB1 dan PB2 berfungsi untuk mengendalikan pergerakan linear aktuator 1, sedangkan PB3 dan PB4 berfungsi untuk mengendalikan linear aktuator 2. Ketika PB1 ditekan, maka linear aktuator 1 akan mendorong PV sedangkan ketika PB2 ditekan maka linear aktuator 1 akan bergerak untuk menarik PV. Begitu pula dengan PB3 ketika ditekan maka linear aktuator 2 akan mendorong PV, sedangkan saat PB4 ditekan maka linear aktuator 2 akan bergerak menarik PV. Ke empat LS pada sistem berperan sebagai pembatas gerakan linear aktuator, yang akan menentukan batas tingkat kemiringan dari solar panel. Motor driver akan menggerakkan linear aktuator hingga LS tertekan. Saat LS tertekan, maka linear aktuator tidak akan bergerak walaupun PB dalam keadaan ditekan, hingga LS kembali ke kondisi normal maka linear aktuator dapat kembali bergerak. Berdasarkan kedua blok diagram tersebut, maka untuk memperjelas proses perancangan yang dilakukan pada bagian perangkat keras dari sistem PV dibuatlah skematik rangkaian pada Gambar 5 berikut ini.



**Gambar 5. Skematik Rangkaian Sistem PV**

Berdasarkan Gambar 5 tampak bahwa catu daya yang digunakan pada sistem adalah 12V, kemudian catu daya tersebut dihubungkan pada sebuah modul step down agar menghasilkan tegangan 5V. Tegangan 12V digunakan untuk aktivasi linear aktuator, sedangkan tegangan 5V digunakan untuk aktivasi komponen sensor, kontroler, motor driver serta display LCD. Sensor SEN0390, sensor MPU6050 dan display LCD menggunakan jenis protokol data yang sama yaitu I2C, sehingga seluruh komponen tersebut dikoneksikan pada pin SDA dan SCL mikrokontroler.

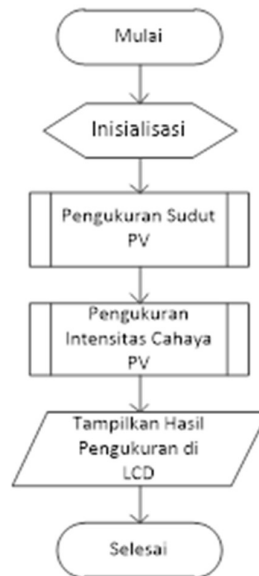
Sedangkan pada bagian driver motor L298N terdapat empat pin input yang berfungsi untuk mengatur aktivasi linear aktuator. Setiap pin input dihubungkan dengan sebuah PB yang dirangkai seri dengan sebuah LS. Posisi pemasangan LS diatur sedemikian rupa agar dapat membatasi pergerakan setiap linear aktuator. LS1 digunakan untuk membatasi gerakan PV menghadap ke utara dan LS2 membatasi PV ke arah selatan. LS3 digunakan untuk membatasi PV menghadap ke arah timur dan LS4 untuk membatasi PV menghadap ke arah arah barat. Berikut ini Gambar 6 menampilkan realisasi dari perangkat keras sistem PV.



**Gambar 6. Realisasi Perangkat Keras**

### 2.3 Perancangan dan Realisasi Perangkat Lunak

Proses perancangan pada bagian perangkat lunak sistem dilakukan dengan membuat *flowchart* program untuk sistem pemantauan PV yang ditampilkan pada Gambar 7 berikut ini.



**Gambar 7. Flowchart Sistem Pengukuran PV**

Ketika sistem pertama kali diaktifkan, inisialisasi dilakukan terhadap seluruh variabel data yang digunakan pada pengukuran sudut dan pengukuran intensitas cahaya, dilanjutkan dengan inisialisasi untuk jenis protokol komunikasi data yang digunakan untuk sensor dan display LCD. Selanjutnya dilakukan proses pengukuran sudut oleh gyroscope MPU6050, berupa sudut *zenith* (utara dan selatan) dan sudut HRA (timur dan barat), dilanjutkan dengan pembacaan sensor cahaya lux meter SEN0390. Seluruh hasil pembacaan sensor telah diolah dan datanya ditampilkan sesuai dengan jenis besarnya. Data sudut dari gyroscope ditampilkan dalam satuan derajat, dan data intensitas cahaya sudah dalam satuan lux. Hasil pembacaan sensor tersebut akan ditampilkan pada LCD 1602 yang terpasang pada *handheld device*.

### 2.4 Pengujian Sistem

Untuk mengetahui kemampuan dari sistem yang dibuat maka dilakukan proses pengujian. Adapun pada sistem ini pengujian yang dilakukan diantaranya terhadap sensor gyroscope, sensor cahaya, linear aktuator, dan daya yang dibutuhkan oleh sistem untuk bekerja.

Pengujian sensor gyroscope dilakukan untuk mengkalibrasi sensor. Diketahui bahwa gyroscope MPU6050 memiliki tiga poros, yakni poros X, poros Y dan Poros Z. Dari sistem PV yang dibuat, digunakan poros X dan poros Y saja, di mana rotasi pada sumbu X digunakan untuk mengukur sudut jam matahari (HRA), sedangkan rotasi pada sumbu Y digunakan untuk mengukur sudut *zenith*. Proses pengujian terhadap MPU6050 dilakukan dengan menggunakan sebuah digital angle finder sebagai alat ukur referensi yang diletakkan pada suatu bidang datar dan MPU6050 ditempelkan pada bagian belakang dari main ruler digital angle finder dengan dua posisi berbeda. Berikut ini Gambar 8 menampilkan proses pengujian MPU6050 yang dilakukan.



**Gambar 8. Proses Pengujian MPU6050 pada (a) sumbu Y dan (b) sumbu X**

Pengujian terhadap sumbu Y dilakukan dengan memutar main ruler digital angle finder pada rentang  $0^\circ$  hingga  $90^\circ$  dengan kenaikan  $1^\circ$ , sedangkan pengujian terhadap sumbu X pada rentang  $0^\circ$  hingga  $180^\circ$  yang kemudian diasumsikan menjadi  $-90^\circ$  hingga  $90^\circ$  dengan kenaikan  $1^\circ$ .

Pengujian terhadap sensor cahaya SEN0390 dilakukan dengan meletakkan sensor pada bidang datar bersebelahan dengan lux meter digital ST9620 sebagai alat ukur referensi yang memiliki kemampuan pengukuran mulai dari 1 lx hingga 200000 lx dengan resolusi 1 lx, serta akurasi pada saat kurang dari 10000 lx sebesar  $\pm 4\%$ , dan saat lebih dari 10000 lx sebesar  $\pm 5\%$ . Sensor dan alat ukur menghadap pada sebuah lampu *dimmer* yang berjarak  $\pm 30\text{cm}$  sebagai sumber cahayanya. Dikarenakan keterbatasan dari sumber cahaya, maka proses pengujian dilakukan hanya pada rentang 0 hingga 1300 lx sebanyak tiga kali dengan menaikkan intensitas cahaya dari lampu *dimmer* setiap 100 lx untuk masing-masing proses sebelum kalibrasinya.

Pada pengujian terhadap *linear actuator* dilakukan dengan menempatkan sistem PV pada bidang datar, kemudian menekan setiap PB pada *handheld device* secara terus menerus hingga bagian frame menyentuh limit switch, kemudian mengukur sudut maksimal yang dicapai oleh sistem PV menggunakan MPU6050 yang telah dikalibrasi.

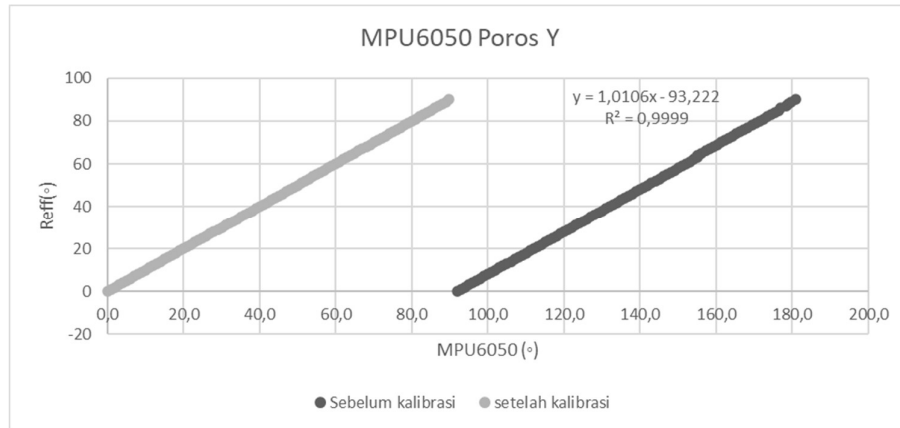
Pengujian terakhir yaitu untuk mengetahui daya yang dibutuhkan agar sistem dapat bekerja, serta apakah daya yang dihasilkan oleh *solar panel* dapat mencukupi kebutuhan tersebut. Pengujian ini dilakukan dengan cara menghubungkan *solar panel* dengan perangkat praktikum *smart grid* berupa sebuah aki dan SCC bertipe MPPT. Utk proses pengukuran daya dilakukan dengan memasang alat ukur kWh meter yang bentuk fisiknya diperlihatkan pada Gambar 9 berikut ini.



**Gambar 9. Alat ukur kWh meter**

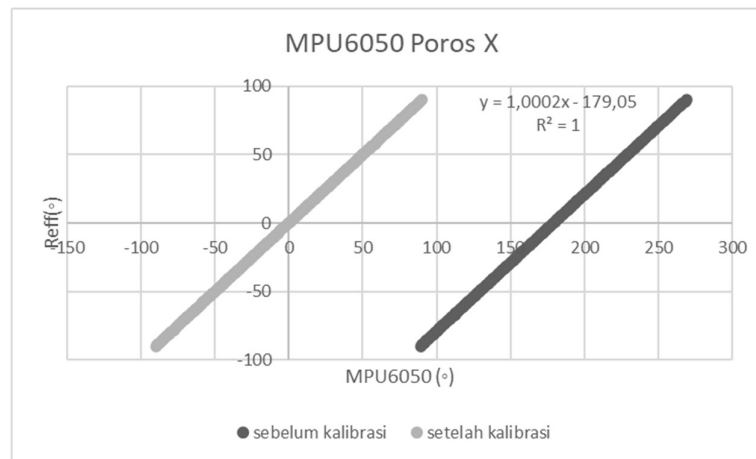
### 3. HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS

Dilakukan dua kali proses pengujian untuk MPU6050, di mana proses pengujian pertama dilakukan sebelum sensor dikalibrasi, dan proses pengujian kedua dilakukan setelah sensor dikalibrasi. Pengujian MPU6050 dilakukan terhadap poros Y dan poros X. Berikut ini hasil dari pengujian MPU6050 terhadap poros Y sensor sebagai sudut *zenith* yang disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 10.



**Gambar 10. Grafik Pengujian Poros Y MPU6050 Sebelum Kalibrasi dan Setelah Kalibrasi**

Berdasarkan hasil pengujian terhadap poros Y MPU6050 setelah dikalibrasi didapatkan nilai rata-rata-rata akurasi sebesar  $\pm 0,004^{\circ}$ , dan presisi sebesar  $\pm 0,005^{\circ}$ . Pengujian pada MPU6050 selanjutnya dilakukan terhadap poros X yang digunakan sebagai sudut HRA. Berikut ini hasil pengujian terhadap poros X MPU6050 sebelum kalibrasi dan setelah kalibrasi dilakukan yang disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 11.

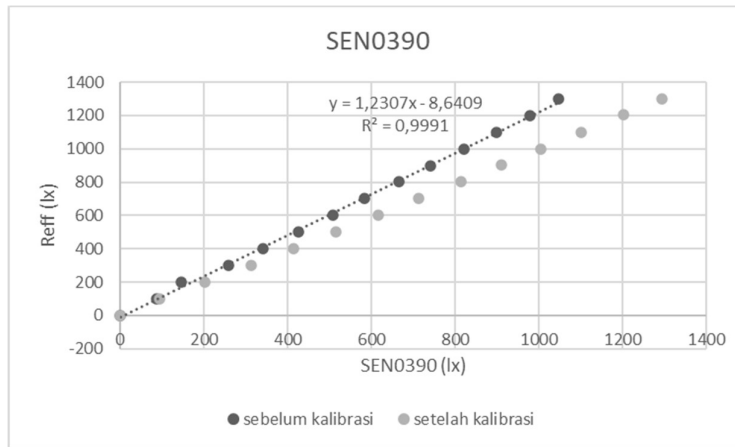


**Gambar 11. Grafik Pengujian Poros X MPU6050 Sebelum Kalibrasi dan Setelah Kalibrasi**

Berdasarkan hasil pengujian terhadap poros X MPU6050 setelah kalibrasi didapatkan nilai rata-rata akurasi sebesar  $\pm 0,028^{\circ}$ , dan presisi sebesar  $\pm 0,037^{\circ}$ .

Setelah MPU6050, kemudian dilakukan pengujian pada sensor cahaya SEN0390, yang dilakukan dengan membandingkan pengukuran sensor dengan lux meter tipe ST9620 sebanyak tiga kali pengambilan data untuk masing-masing tahap. Berikut ini hasil pengujian terhadap SEN0390 yang disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 12.





**Gambar 12. Grafik Pengujian Sensor SEN0390**

Berdasarkan hasil pengujian setelah sensor SEN0390 dikalibrasi, didapatkan nilai rata-rata akurasi sebesar  $\pm 8$  lx. Pengujian terhadap kemampuan linear aktuator serta mekanik dari sistem PV dilakukan untuk mengetahui besar sudut maksimal yang dapat dicapai oleh PV ketika LS tertekan. Berikut ini Tabel 1 menampilkan hasil pengujian untuk linear aktuator 1.

**Tabel 1. Pengujian Linear Aktuator 1**

PB1	PB2	LS1	LS2	Linear Aktuator1	Sudut
L	L	L	L	Mati	
H	L	L	L	Dorong	
H	L	H	L	Mati	15°
L	L	H	L	Mati	
L	H	H	L	Tarik	
L	H	L	L	Tarik	
L	H	L	H	Mati	0°
L	L	L	H	Mati	
H	L	L	H	Dorong	

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 1 diketahui sudut maksimal yang dapat dibuat oleh PV untuk sudut *zenith* adalah 0° hingga 15°. Setelah pengujian terhadap linear aktuator 1 selesai, selanjutnya dilakukan proses pengujian yang sama terhadap linear aktuator 2. Berikut ini Tabel 2, menampilkan hasil pengujian yang telah dilakukan terhadap linear aktuator 2.

**Tabel 2. Pengujian Linear Aktuator 2**

PB3	PB4	LS3	LS4	Linear Aktuator2	Sudut
L	L	L	L	Mati	
H	L	L	L	Dorong	
H	L	H	L	Mati	-30°
L	L	H	L	Mati	
L	H	H	L	Tarik	
L	H	L	L	Tarik	
L	H	L	H	Mati	30°
L	L	L	H	Mati	
H	L	L	H	Dorong	

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 2 diketahui sudut maksimal yang dapat dibuat oleh PV untuk sudut HRA adalah -30° hingga 30°.

Pengujian terhadap daya yang dihasilkan dan daya yang dikonsumsi oleh sistem PV dilaksanakan pada tanggal 4 Agustus 2023 berlokasi di halaman parkir gedung Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional Bandung, dengan koordinat -6,897903, 107,635800 menghadap utara. Waktu pengambilan data disesuaikan dengan kemampuan maksimum dari mekanik sistem, sehingga waktu pengambilan data mulai dari pukul 10:01 WIB, dengan matahari terbit pada pukul 06:01 WIB berdasarkan informasi dari BMKG. Berikut ini Tabel 3, menampilkan hasil pengujian yang telah dilakukan.

**Tabel 3. Pengujian Linear Aktuator 2**

Waktu	Sudut Hitung		Parameter Cahaya (lx)	PV			P <sub>sistem</sub> (W)
	HRA(°)	Zenith(°)		V <sub>PV</sub> (V)	I <sub>PV</sub> (A)	P <sub>PV</sub> (W)	
10.01	-30	31	88913	41	3,1	127,1	13
11.01	-15	18	110508	41	3,3	135,3	15,2
12.01	0	10	87643	39	3,5	136,5	8,1
13.01	15	18	109238	39	3,2	124,8	7,2
14.01	30	31	95899	40	2,7	108	7,1

Berdasarkan hasil pengujian, besar daya yang dihasilkan oleh PV tidak mencapai 200Wp. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya cuaca dan kondisi baterai sebagai penyimpanan energi yang telah penuh, karena algoritma dari MPPT yang digunakan akan menyesuaikan terhadap arus yang dihasilkan PV agar kondisi baterai tetap stabil. Meskipun daya yang dihasilkan tidak mencapai 200Wp, namun tetap mampu untuk memenuhi kebutuhan energi untuk sistem pengukuran dan pergerakan linear aktuator yang telah dibuat. Adapun hubungan antara parameter cahaya yang diterima PV dengan daya yang dihasilkan belum menunjukkan efek yang signifikan terhadap daya yang dihasilkan oleh PV, hal ini dapat disebabkan karena MPPT yang digunakan untuk mengukur tegangan serta arus keluaran dari PV merupakan sistem yang terpisah dari sistem *monitoring* untuk parameter sudut dan intensitas cahaya sehingga proses pencatatan mengalami perbedaan waktu yang menyebabkan perbedaan pembacaan parameter terukur.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan terhadap media pembelajaran berupa sistem pemantauan pergerakan solar panel, terdapat beberapa hal yang dapat disimpulkan. Rata-rata akurasi dari gyroscope MPU6050 pada poros Y sebesar  $\pm 0,004^\circ$ , dan rata-rata presisinya sebesar  $\pm 0,005^\circ$ . Sedangkan untuk poros X rata-rata akurasi dari gyroscope MPU6050 adalah  $\pm 0,028^\circ$ , dan rata-rata presisinya sebesar  $\pm 0,037^\circ$ . Sedangkan untuk rata-rata akurasi dari sensor SEN0390 sebesar  $\pm 7,738$  lx, dan rata-rata presisi sebesar  $\pm 1,921$  lx. Hasil dari pengujian kemampuan maksimum mekanik sistem didapatkan bahwa pergerakan berdasarkan sudut HRA berada pada rentang  $-30^\circ$  hingga  $30^\circ$  sedangkan pergerakan berdasarkan sudut *zenith* berada pada rentang  $0^\circ$  hingga  $15^\circ$ . Daya yang dihasilkan kurang dari spesifikasi yang tertera pada solar panel yakni 200 Wp. Hal tersebut terjadi diakibatkan oleh cuaca dan MPPT yang mengatur arus keluaran dari solar panel ketika aki yang digunakan dalam kondisi akan penuh, atau sudah penuh. Namun daya yang dihasilkan PV telah cukup untuk memenuhi kebutuhan daya pada sistem pemantauan pergerakan PV untuk bekerja. Sistem ini memungkinkan untuk digunakan sebagai media pembelajaran pada kegiatan praktikum di Institut Teknologi Nasional Bandung hanya pada waktu tertentu saja, yaitu berkisar pada pukul 10.00 hingga pukul 14.00, karena dampak dari keterbatasan sistem mekaniknya.

## DAFTAR RUJUKAN

- Akash, S., Swapnil, A., Anirudha, D., Atharva, C., & Milind, R. (2022). *Arduino based Dual Axis Solar Tracker. 2022 Second International Conference on Artificial Intelligence and Smart Energy (ICAIS)*. (pp. 1789 - 1793).
- Al, J. A., & Shougat, N. K. (2014). *Performance evaluation of solar panel and proposed new algorithm of solar tracking system. 2nd International Conference on Green Energy and Technology*. (pp. 9 - 13).
- Amanoollah, K., Vishwamitra, O. (2023). *Investigating the Performance of a Dual-Axis Solar Tracking System in a Tropical Climate. 2023 Third International Conference on Artificial Intelligence and Smart Energy (ICAIS)*. (pp. 188-193)
- Falah, I. M., Sarmid, S., Faiz, F. M., & Athmar, T. N.(2018). *Simple design and implementation of solar tracking system two axis with four sensors for Baghdad city. 2018 9th International Renewable Energy Congress (IREC)*. (pp. 1 - 5).
- Hend, A. E. S., & Adel, T. M. T. (2018). *Practical Implementation of Dual Axis Solar Power Tracking System. 2018 Twentieth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON)*. (pp. 446 - 451).
- Ionel-Laurențiu, A., Gheorghe, M., & Cristian, B. (2023). *Solar Tracking Systems for Photovoltaic Panel Made for Educational Purposes. 2023 International Conference on Electromechanical and Energy Systems (SIELMEN)*. (pp. 1 - 6)
- Khaffi, A., Idris A. R., & Sofyan. Rancang Bangun Modul Trainer Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI) 2020. (pp. 15 - 21)
- Mahmoud, S. G., Abdel-Ghany, M. A., & Mohiy, B. (2017). *Practical implementation of TS-fuzzy PID to control a dual-axis sun tracker of a photo-voltaic panel. 2017 Nineteenth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON)*. (pp. 1216 - 1221).
- Md. N. R., Md. S. H., Nibir, M., & Md. A. K. (2021). *Design and Implementation of an Automatic Single Axis Solar Tracking System to Enhance the Performance of a Solar Photovoltaic Panel. 2021 International Conference on Science & Contemporary Technologies (ICSCCT)*. (pp.1 - 6).
- Meera, A. K., Sudhir, M., Sudhir, A., & Priyanka, W. (2023). *Development of an Intelligent Sun Tracking System for Solar PV Panel. 2023 IEEE IAS Global Conference on Emerging Technologies (GlobConET)*. (pp. 1 - 5)

- Mohammad, S. S. A., & Ahmed, J. A. (2023). *A Practical Study of Using Fixed and Tracker Solar Systems in Mosul City. 2023 International Conference on Engineering, Science and Advanced Technology (ICESAT)*. (pp. 133-138)
- Siagian, P., & Manurung, R. (2022). Pengembangan Panel Surya 120 Wp Dengan Solar Tracker Double Axis Sebagai Bahan Pembelajaran Mahasiswa di Program Studi Teknik Mesin UHN. *SjoME*, 3(2), 115 - 128.
- Tusri'ah, Hakim, Y. A., & Ashari.(2017). Pengembangan Alat Peraga Solar Tracker Dua Sumbu Untuk Meningkatkan Kreativitas Peserta Didik Pada Materi Listrik Dinamis. *Radiasi*, 10(1), 61 – 67.
- Widyaningrum, V. T., Romadhon, A. S., & Safitri, D. (2023). *Solar Tracking System Dual Axis using Proportional Integral Derivative (PID) Controller. 2023 IEEE 9th Information Technology International Seminar (ITIS)*. (pp. 1 - 5).
- Zuhal ER, & Selen Marangozoglu. (2018). *New Design for Solar Panel Tracking System Based on Solar Calculations. 2018 IEEE 61st International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS)*. (pp. 1042 - 1045).