

Pengembangan Panel Surya 120 Wp Dengan Solar Tracker Double Axis Sebagai Bahan Pembelajaran Mahasiswa di Program Studi Teknik Mesin UHN

Parulian Siagian, Rokki Manurung

Program Studi Teknik Mesin Universitas HKBP Nommensen, Medan 20234

parulian.nommensen@gmail.com

Abstract

The current need for electrical energy sourced from fuel oil is increasingly running out and expensive. Anticipating future energy crises will require creativity from energy observers in finding alternative energy sources that can improve people's welfare. We get solar energy for free throughout the year with good intensity, one of which is because Indonesia's position is on the equator. To convert solar heat from the outside into electrical energy, several converter technologies such as solar panels are needed. Solar panels that are directly exposed to solar radiation can produce efficient electrical energy depending on the position of the incident light that hits the surface of the solar panel. Solar panels that can follow the direction of the radiation source at an angle of 90° to the surface of the solar panel must require a solar tracker.

Solar tracker is a control circuit that is able to detect and follow the direction of the sun so that the solar panel is always perpendicular to the sun so that the light intensity received by the panel is optimal by adjusting the motor movement.

The results of this study indicate a light intensity of 408.10 W/m^2 at a wind speed of 1.08 m/s produces a current of 19.20 Volts with an efficiency level of 4.21% at the incoming energy (P_{in}) 279.05 and the outgoing energy (P_{out}) 11.77 W .

Keywords : *radiation, solar cell, solar tracker, double axis*

1. PENDAHULUAN

Energi merupakan kebutuhan yang sangat mendasar bagi keberlangsungan hidup manusia yang penggunaan dan harganya cenderung terus menerus meningkat. Faktor-faktor tersebut menyebabkan betapa perlunya untuk mencari dan menggunakan sumber energi terbarukan yang dapat diperbarui dalam waktu singkat dan memiliki dampak lingkungan yang minimum [1], [2]. Salah satu sumber energi baru terbarukan yang berkembang pesat dan berlimpah jumlahnya serta gratis adalah energi matahari. Bumi mendapatkan 16×10^{18} Joule dari matahari setiap tahunnya, atau setara dengan 20.000 kali dari kebutuhan seluruh umat manusia di bumi [3]. Indonesia merupakan sebuah negara yang posisinya terletak di khatulistiwa dan memperoleh energi matahari sebanyak $4,8\text{-}6,0 \text{ kWh/m}^2$ tiap tahunnya [4]. Potensi energi matahari Indonesia memiliki 207.898 MW , namun baru sekitar $78,5 \text{ MW}$ yang digunakan [5].

Energi yang berasal dari matahari dapat dikonversi menjadi listrik dalam beberapa cara, salah satu cara yang paling umum digunakan saat ini adalah fotovoltaik (PV) atau panel surya. Namun, kendala utama dari PV adalah masih rendahnya efisiensi namun hingga saat ini Potovoltaiklah yang masih relatif mudah untuk mengkonversi radiasi matahari menjadi energi listrik. Tingkat efisiensi yang belum maksimum jika memakai Potovoltaik menjadikan para peneliti dan pemerhati energy mencari solusi agar bisa menjadi lebih efisien lagi. Salah satu solusi untuk mengatasi kendala tersebut adalah menggunakan *solar tracker* [6]. *Solar tracker* adalah sebuah perangkat yang dapat

membantu panel surya untuk memaksimalkan serapan radiasi matahari dengan cara membuat panel surya selalu menghadap (tegak lurus) matahari [2], [6]-[8]. Pada panel surya statis atau sumbu tetap, penangkapan radiasi matahari secara maksimum dapat dicapai dengan mengoptimalkan arah dan kemiringan dari panel itu sendiri secara manual dan otomatis. Penelitian mengenai sistem penjejak matahari telah banyak dikembangkan baik dari segi mekanisme penjejukan, sumbu rotasi maupun sistem kontrol yang digunakan. Penelitian ini merujuk pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Imam Abadi [9]

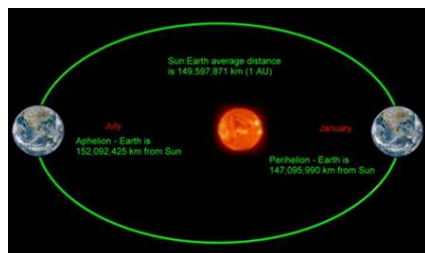
Sistem pelacak matahari terdiri dari beberapa jenis dan dapat diklasifikasikan menurut jumlah sumbu rotasi. Sistem pelacak matahari menurut jumlah sumbu rotasi yaitu satu sumbu rotasi atau sumbu tunggal dan dua sumbu rotasi [10]. Arah dan kemiringan panel yang optimal ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain lokasi dan musim di tempat tersebut [11]-[12]. Hasil penelitian-penelitian terkait dengan *solar tracker*, baik sumbu tunggal maupun ganda, menunjukkan kecenderungan adanya peningkatan keluaran panel surya yang nilainya tentu bervariasi. [2], [11]-[15].

Penelitian ini bertujuan untuk mengukur besar arus yang keluar dari *solar tracker* sumbu ganda atau dual axis. Penggunaan *solar tracker* dual axis dipilih dengan memperhatikan sisi keluaran yang dihasilkan oleh panel surya dan biaya yang diperlukan [1]. Selain itu, letak Indonesia yang berada di khatulistiwa menyebabkan pergerakan matahari yang tidak terlalu signifikan jika dibandingkan dengan negara yang terletak di luar lingkaran tropis. Keluaran dari solar tracker ini dengan memakai panel surya ukuran 120 Wp bisa didapatkan energi dengan efisiensi yang tinggi sehingga diharapkan bisa memberi rekomendasi bagi pengguna khususnya di daerah Kota Medan area Universitas HKBP Nommensen Medan

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Teori-Teori Energi Surya

Matahari memancarkan radiasi cahaya dengan berbagai panjang gelombang, mulai dari ultraviolet, cahaya tampak, sampai infrared dari spektrum elektromagnetik. Radiasi ini timbul sebagai akibat dari permukaan matahari yang mempunyai temperatur sekitar 5800 K (~ 5500 °C). Pada permukaan matahari energi radiasi yang dipancarkan yaitu sebesar 62 MW/m^2 , dan di atas atmosfer bumi radiasinya berkurang menjadi total sebesar 1353 W/m^2 [15].



Gambar 1. Jarak Bumi dan matahari [16]

Pada gambar 1 matahari dikelilingi oleh bumi dalam lintasan oval dengan matahari sebagai pusatnya. Matahari memiliki diameter sebesar $\pm 1,39 \times 10^9$ meter sedangkan bumi memiliki diameter $\pm 1,27 \times 10^7$ meter. Jarak rata rata matahari dengan bumi berkisar antara $1,495 \times 10^{11}$ meter. Jarak matahari dengan bumi tidaklah Konstan dikarenakan lintasan bumi dan matahari berbentuk oval. jarak terdekat bumi dengan matahari adalah $1,47 \times 10^{11}$ meter tepatnya pada tanggal 3 Januari , sedangkan jarak terjauh matahari dan bumi $1,52 \times 10^{11}$ meter terjadi pada tanggal 3 Juli. Perbedaan jarak ini mempengaruhi radiasi yang dipancarkan oleh matahari ke bumi.

2.2. Solar Time atau Jam Matahari

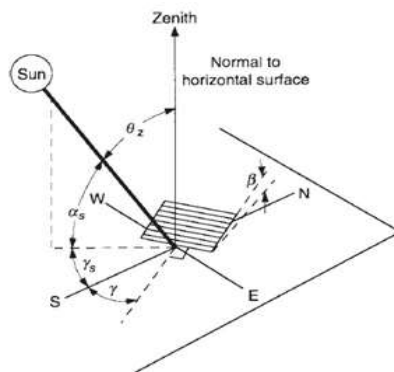
Adalah waktu yang berdasarkan pergerakan semu matahari di langit pada tempat tertentu. Jam matahari (disimbolkan ST) berbeda dengan penunjukkan jam biasa (standard time, disimbolkan STD) [18].

Untuk mencari STD digunakan persamaan yang ditetapkan oleh Duffie dan Beckman [18]:

$$ST = STD \pm 4 (L_{st} - L_{loc}) + E \quad 1$$

Tanda " \pm " merupakan tanda "+" atau "-". Persamaan akan menggunakan tanda "+" atau tambah pada saat matahari berada pada bujur timur dan tanda "-" atau kurang pada saat matahari berada pada bujur barat. Dimana E adalah persamaan waktu yang dihitung dengan persamaan:

$$E = 229,2 \cdot (0,000075 + 0,00186\cos B - 0,032077\sin B - 0,014615\cos 2B - 0,04089 \sin 2B) \quad 2$$



Gambar 2. Sudut dalam Perhitungan Energi Radiasi Matahari [18]

L_{st} adalah standar meridian untuk waktu daerah setempat, sementara L_{loc} adalah derajat bujur daerah yang diukur. Dalam Menghitung energi radiasi matahari yang sampai ke suatu permukaan perlu dipertimbangkan beberapa sudut, karena garis edar sumbu matahari yang cukup kompleks. Gambar 2 menunjukkan beberapa istilah sudut yang sering digunakan dalam analisis energi radiasi surya.

Beberapa istilah sudut dalam perhitungan energi radiasi matahari antara lain:

1. Slope β adalah sudut antara permukaan yang dianalisis dengan horizontal
2. Φ adalah sudut lintang dimana posisi permukaan benda
3. Sudut deklinasi δ yaitu kemiringan sumbu matahari terhadap garis normalnya.

Nilai sudut ini pada persamaan 2.3 diperoleh dengan menggunakan persamaan yang diajukan oleh Cooper

$$\delta = 23,45 \sin \left(360 \frac{(284+n)}{365} \right) \quad 3$$

Atau dapat juga menggunakan persamaan 2.4, yang diajukan oleh Spencer [17]:

$$= 6,91 \times 10^{-3} - (3,99912 \cos B + 0,070251 \sin B - 0,006758 \cos 2B + 9,07 \times 10^{-4} \sin 2B - 0,002679 \cos 3B + 0,00148 \sin 3B) \quad 4$$

Dimana nilai n merupakan nilai urutan hari dalam satu tahun yang dapat diperoleh dari tabel 1 berikut

Tabel 1. Urutan hari dalam tahun

No.	Bulan	Nilai n pada hari ke-i
1	Januari	i
2	Februari	31 + i
3	Maret	59 + i
4	April	90 + i
5	Mei	120 + i
6	Juni	151 + i
7	Juli	181 + i
8	Agustus	212 + i
9	September	243 + i
10	Oktober	273 + i
11	November	304 + i
12	Desember	334 + i

4. Sudut jam ω adalah sudut pergeseran semu matahari dari garis siang. Perhitungan berdasarkan jam matahari (ST), setiap berkurang 1 jam, ω berkurang 15^0 dan setiap bertambah 1 jam, ω bertambah 15^0 . Nilai ω dihitung dengan persamaan 2.5 berikut [17]:

$$\omega = 15(STD - 12) + (ST - STD) \times \frac{15}{60} \quad 5$$

Radiasi surya yang sampai ke permukaan bumi dapat dihitung secara analitis. Perhitungan radiasi surya secara analitis diberikan oleh Himsar (2011). Radiasi harian sampai ke bumi berbeda setiap harinya, karena lintasan bumi yang berbentuk elips.

Radiasi pada hari ke-n dirumuskan oleh Duffie dan Beckman pada persamaan 2.6 [17]:

$$G_{on} = G_{sc} (1,00011 + 0,034221 \cos B + 0,00128 \sin B + 0,000719 \cos 2B + 0,000077 \sin 2B) \quad 6$$

Dimana B dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.7 dan 2.8 sebagai berikut:

$$B = (n-1) \times \frac{360}{365} \quad 7$$

$$\cos \theta_z = \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta \quad 8$$

Parameter lain yang digunakan untuk perhitungan radiasi secara teoritis yaitu, estimasi bahwa langit dalam kondisi cerah. Maka dalam hal ini perlu diketahui τ_b diperoleh dengan persamaan [16]:

$$\tau_b = a_0 + a_1 \exp \left(\frac{-k}{\cos \theta_z} \right) \quad 9$$

Dimana, nilai masing-masing parameter

$$a_0 = r_0 (0,4237 - 0,0082 (6 - A)^2) \quad 10$$

$$a_1 = r_1 (0,5055 + 0,00595 (6,5 - A)^2) \quad 11$$

$$k = r_k (0,2711 + 0,01858 (2,5 - A)^2) \quad 12$$

Dimana A adalah ketinggian (km) dan r_0 , r_1 , dan r_k adalah koreksi akibat iklim. Nilai faktor koreksi akibat iklim ditampilkan pada tabel 2.2 berikut ini:

Tabel 2. Faktor Koreksi akibat iklim [17]

Iklim	r_0	r_1	r_k
Tropical	0,95	0,98	1,02
Midiatude Summer	0,97	0,99	1,02
Subartic Summer	0,99	0,99	1,01
Midiatude Winter	1,03	1,01	1,00

Radiasi beam adalah radiasi matahari yang jatuh langsung ke permukaan bumi

$$G_{\text{beam}} = G_{\text{on}} \tau_b \cos \theta_z \quad 13$$

Radiasi *diffuse* adalah radiasi hasil pantulan atmosfer [17]:

$$G_{\text{diffuse}} = G_{\text{on}} \cos \theta_z (0,271 - 0,294 \tau_b) \quad 14$$

Maka total radiasi teoritis

$$G_{\text{total}} = G_{\text{beam}} + G_{\text{diffuse}} \quad 15$$

2.3. Pemanfaatan Fotovoltaik

Jenis pemanfaatan energi surya ini berupa pengkonversian energi panas menjadi energi listrik. Alat yang dapat mengkonversi secara langsung cahaya matahari menjadi listrik disebut *photovoltaic*. Material utama yang digunakan dalam pembuatan *photovoltaic* yaitu silikon [19]. Gambar 3 menunjukkan Pembangkit Listrik Tenaga Surya menggunakan panel surya sebagai alat untuk membangkitkan listrik dan mengirimkan daya pada transmisi guna menstabilkan daya dan dikirim ke konsumen untuk digunakan.



Gambar 3. Sistem Fotovoltaik untuk rumah [20]

2.4. Sel Surya

Sel surya adalah perangkat yang mengubah energi matahari langsung menjadi listrik, baik secara langsung melalui efek fotovoltaik, atau secara tidak langsung dengan terlebih dahulu mengubah energi matahari menjadi panas atau energi kimia. Rakitan sel yang digunakan untuk membuat modul surya yang digunakan untuk menangkap energi dari sinar matahari, dikenal sebagai panel surya. Energi yang dihasilkan dari modul surya ini, disebut sebagai tenaga surya. Sel digambarkan sebagai sel fotovoltaik ketika

sumber cahaya tidak selalu sinar matahari (cahaya lampu, cahaya buatan dll). Jumlah daya yang tersedia dari perangkat PV ditentukan oleh -jenis dan luas material, intensitas sinar matahari, panjang gelombang sinar matahari [19]. Berikut sel surya ditunjukkan pada gambar 4 dibawah.



Gambar 4. Sel Surya [20]

Sel surya adalah alat yang dapat mengubah energi matahari menjadi energi listrik dan hanya membutuhkan perawatan yang minim serta ramah lingkungan, karena tidak menimbulkan polusi seperti suara ataupun udara.

Sel surya bekerja dalam langkah-langkah berikut:

1. Foton di bawah sinar matahari menghantam panel surya dan diserap oleh bahan semikonduktor, seperti silikon. Foton dengan energi yang sama dengan energi celah pita diserap untuk menciptakan elektron bebas. Foton dengan energi lebih sedikit daripada energi celah pita melewati material.
2. Pembentukan pasangan elektron-lubang (exciton)
3. Difusi exciton ke Junction
4. Pemisahan muatan-Elektron (muatan negatif) dilepaskan dari atom-atomnya, menyebabkan perbedaan potensial listrik. Arus mulai mengalir melalui bahan untuk membatalkan potensi dan listrik ini ditangkap. Elektron yang dibuat pada sisi tipe-n dapat melakukan perjalanan melalui kawat, daya beban, dan terus melalui kawat sampai mereka mencapai kontak semikonduktor-logam tipe-p. Di sini, mereka bergabung kembali dengan lubang yang dibuat sebagai pasangan elektron-lubang di sisi tipe-p sel surya. Karena komposisi khusus sel surya, elektron hanya diizinkan bergerak dalam satu arah.
5. Sebuah array sel surya mengubah energi matahari menjadi sejumlah listrik arus searah (DC) yang dapat digunakan.

Prinsip Kerja dari solar panel adalah Ketika sel surya menerima cahaya matahari, elektron dari hole pada semikonduktor akan terbentuk karena menerima energi foton matahari yang lebih besar dari energi band-gap ($h\nu > E_g$). Ini adalah efek photovoltaic. Carrier yang terbentuk pada depletion region dipisahkan oleh medan listrik. Ini mengakibatkan *forward-bias* pada p-n junction dan pengumpulan sejumlah tegangan yang disebut *photo-voltage* [19].

Silikon monocrystalline (c-Si) sering dibuat menggunakan proses Czochralski. Sel-sel wafer kristal tunggal cenderung mahal. Sel surya monocrystalline dapat mencapai efisiensi sebesar 17%. Silikon polikristalin, atau silikon multikristalin, (poli-Si atau mc-Si) terbuat dari ingot persegi cor — blok besar silikon cair yang dengan hati-hati didinginkan dan dipadatkan. Sel-sel Poly-Si lebih murah untuk diproduksi daripada

sel silikon kristal tunggal, tetapi kurang efisien. Polikristalin hanya mampu mencapai efisiensi sekitar 10% [19].

Modul surya atau panel surya merupakan komponen Pembangkit Listrik Tenaga Surya yang tersusun dari beberapa sel surya disusun pada satu frame dan diberikan lapisan pelindung [29].

Untuk memperkirakan luas panel surya yang akan dipasang pada suatu tempat dapat di hitung menggunakan persamaan sebagai berikut [22]:

$$E_{out} = E_e \times A \times G \tag{16}$$

Keterangan :

E_{out} = Daya yang dihasilkan (Watt)

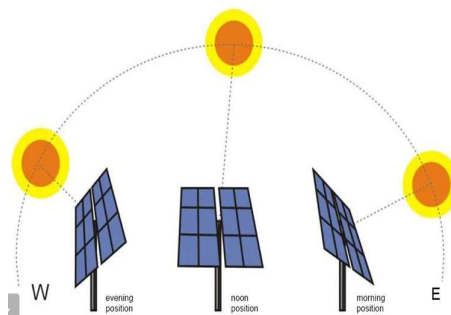
A = Luas Panel (m^2)

G = Intensitas radiasi (Watt/ m^2)

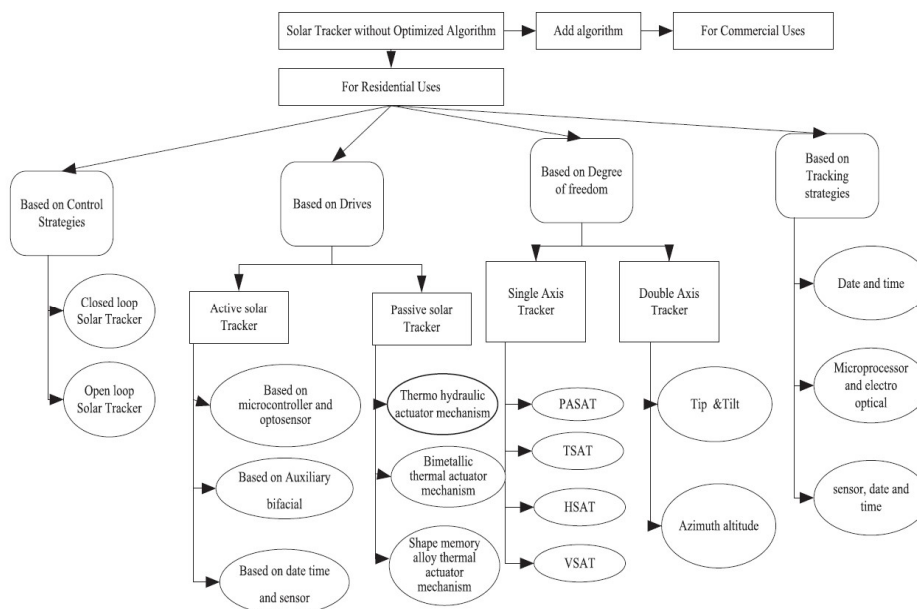
E_e = Efisiensi panel (%)

2.5. Alat Pengerak Panel Surya (*Solar Tracker*)

Pada umumnya klasifikasi sistem *solar tracker* terbagi menjadi dua, satu sumbu(*axis*) dan dua sumbu seperti pada gambar 5. Tetapi ada juga yang berdasarkan strategi kontrol, berdasarkan pergerakan, sumbu bebas, dan strategi *tracking* seperti yang ditunjukkan pada gambar 6.

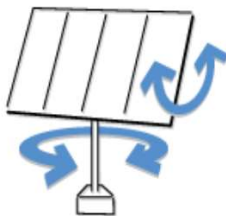


Gambar 5. Solar Tracker dan posisi Matahari



Gambar 6. Klasifikasi Solar Tracker [21]

Solar Tracker Solar tracker atau pelacak matahari merupakan suatu gabungan sistem yang terdiri dari beberapa komponen penyusun seperti sensor, aktuator, logika kontrol dan PV. Solar tracker dirancang agar mampu mendeteksi dan mengikuti arah matahari sehingga posisi PV selalu tegak lurus dengan matahari. Posisi PV yang selalu tegak lurus dengan matahari akan meningkatkan daya keluaran dari PV. Sistem pelacak matahari terdiri dari beberapa jenis dan dapat diklasifikasikan menurut jumlah sumbu rotasi. Sistem pelacak matahari menurut jumlah sumbu rotasi yaitu satu sumbu rotasi atau sumbu tunggal dan dua sumbu rotasi [10]. Sistem pelacakan sumbu tunggal yang ditunjukkan pada pergerakan sudut elevasi atau azimut, dimana salah satu gerakan yang diinginkan tergantung pada teknologi yang digunakan pada sistem solar tracker. Pelacak sumbu ganda yang ditunjukkan pada Gambar 7 memiliki dua derajat kebebasan yang bertindak sebagai sumbu rotasi. Pelacak sinar matahari sumbu ganda dapat diputar secara bersamaan pada arah horisontal dan vertikal.

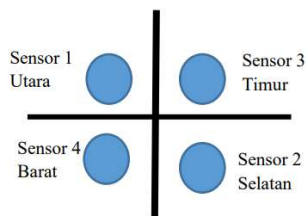


Gambar 7. Solar Tracker dua sumbu [22]

Sistem pelacak matahari juga dapat dibedakan berdasarkan mekanisme pelacakan matahari yaitu pasif dan aktif. Sistem pelacak matahari pasif dalam proses penjejakannya tidak melakukan pengukuran langsung terhadap besaran fisis dari objek yaitu matahari melainkan menggunakan perhitungan astronomi yaitu berupa data posisi matahari. Sistem pelacak matahari aktif menggunakan sebuah sensor untuk mengukur besaran fisis dari objek yaitu matahari.

2.6 Light Dependent Resistor (LDR)

Sensor LDR adalah sebuah jenis resistor yang mengalami perubahan nilai resistansi sesuai dengan besar intensitas cahaya yang diterimanya. Cahaya yang gelap menyebabkan nilai tahanan dari LDR semakin besar, sedangkan dalam kondisi cahaya terang nilai tahanannya menjadi semakin kecil. LDR terdiri dari sebuah cakram semikonduktor yang mempunyai dua buah elektroda pada permukaannya, pada saat kondisi gelap nilai bahan dari cakram tersebut menghasilkan elektron bebas dengan jumlah yang relatif kecil sehingga hanya ada sedikit elektron mengangkut muatan elektron. Sistem mobile active solar tracker menggunakan sensor 8 yaitu LDR (Light Dependent Resistor). LDR (Light Dependent Resistor) adalah jenis resistor yang biasa digunakan sebagai detektor cahaya. Sistem mobile active solar tracker ini menggunakan 4 buah LDR untuk mendeteksi pergerakan matahari utara, timur, barat, dan selatan.



Gambar 8. Letak 4 Buah LDR dan Fungsi Deteksi pada Sistem Panel Surya [23]

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Desember 2021 di Pusat Inovasi Pengembangan dan Energi Alternatif Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas HKBP Nommensen dengan koordinat 3⁰35'49.5"LU 98⁰ 40'52.5" BT.

Alat

1. Solar Tracker



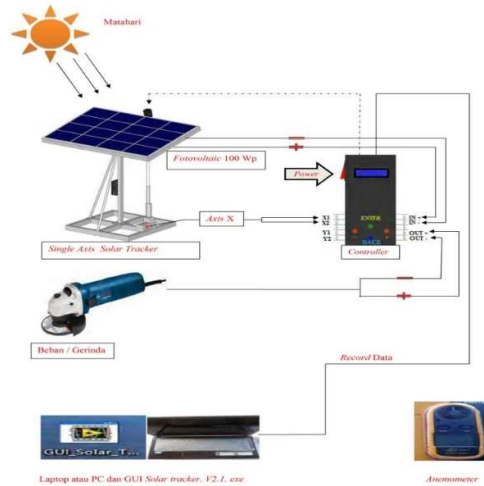
Keterangan :

1. Fotovoltaic 100Wp,
2. Controller,.
3. Tiang Penyangga,
4. Axis,.
5. Hidrolik Axis
6. Landasanrhg

Gambar 9. Skets Solar tracker double axis

-Software GUI Solar Tracker V2.1.exe , -Power controller, -SCC 60W , -Anemometer , - Terminal IN dan OUT pada Controller , -Terminal Motor X dan Y untuk Axis -, Lap Top

Sketsa Rencana Pengujian



Gambar 10. Sketsa Pengujian.

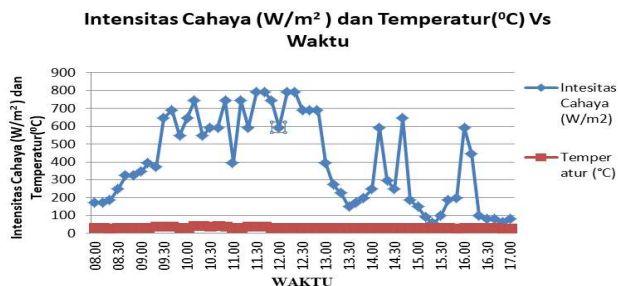
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Uji *Single Axis solar tracker* Pada Hari Pertama

Tabel 3. Tabel hasil Pengujian Hari Pertama

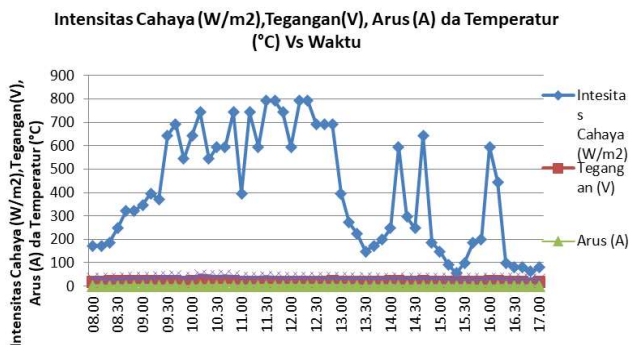
No	Waktu (menit)	Intesitas matahari (W/m ²)	Tegangan (V)	Kuat Arus (A)	Kecepatan Angin (m/det ²)	Temperatur (°C)
1	8:00	173,28	19,47	0,64	0,70	32,30
2	8:10	173,28	19,52	0,56	0,90	32,10
3	8:20	185,66	20,44	0,41	0,90	30,60
4	8:30	247,54	20,30	0,71	1,00	31,60
5	8:40	321,80	20,21	0,64	0,80	33,80
6	8:50	321,80	19,96	0,64	0,00	35,90
7	9:00	346,56	20,03	0,56	1,50	34,20
8	9:10	396,07	20,01	0,56	0,70	36,00
9	9:20	371,31	19,92	0,48	1,10	38,60
10	9:30	643,61	20,44	0,64	0,80	39,20
11	9:40	693,12	20,08	0,71	0,80	41,60
12	9:50	544,59	19,63	0,48	0,10	36,10
13	10:00	643,61	19,94	0,48	1,20	33,90
14	10:10	742,63	19,70	0,56	0,00	46,60
15	10:20	544,59	19,58	0,64	0,70	42,50
16	10:30	594,10	19,92	0,56	0,90	40,80
17	10:40	594,10	19,87	0,64	0,90	45,50
18	10:50	742,63	19,96	0,64	0,90	41,00
19	11:00	396,07	19,18	0,48	0,90	36,00
20	11:10	742,63	19,63	0,56	1,40	35,40
21	11:20	594,10	19,74	0,71	0,10	37,10
22	11:30	792,13	19,72	0,64	1,60	39,10
23	11:40	792,13	19,74	0,56	0,90	38,50
24	11:50	742,63	19,67	0,56	0,00	33,90
25	12:00	594,10	19,34	0,56	1,40	35,40
26	12:10	792,13	19,70	0,64	1,30	34,90
27	12:20	792,13	19,76	0,71	1,60	36,00
28	12:30	693,12	19,56	0,71	1,10	35,40
29	12:40	693,12	19,63	0,79	2,60	34,20
30	12:50	693,12	19,87	0,64	1,40	35,30
31	13:00	396,07	18,98	0,64	1,60	34,50
32	13:10	272,30	18,75	0,64	0,10	34,30
33	13:20	222,79	19,43	0,64	1,00	33,70
34	13:30	148,52	18,95	0,48	1,50	34,20
35	13:40	173,28	19,38	0,56	1,50	33,40
36	13:50	198,03	19,34	0,71	1,00	32,50
37	14:00	247,54	19,92	0,64	2,60	32,00
38	14:10	594,10	20,21	0,79	0,90	33,90
39	14:20	297,05	19,56	0,48	1,00	33,40
40	14:30	247,54	19,67	0,56	0,80	33,30
41	14:40	643,61	20,68	0,64	1,80	33,10
42	14:50	185,66	19,20	0,71	1,30	33,40
43	15:00	148,52	18,75	0,64	0,90	32,70
44	15:10	92,83	17,78	0,64	1,40	31,30
45	15:20	55,70	13,51	0,56	1,10	31,20
46	15:30	99,02	16,68	0,64	0,80	31,00
47	15:40	185,66	19,49	0,64	1,80	30,80
48	15:50	198,03	19,52	0,48	1,00	30,50
49	16:00	594,10	20,50	0,64	0,80	33,00

50	16:10	445,58	20,03	0,56	1,60	32,20
51	16:20	99,02	17,78	0,64	1,20	31,50
52	16:30	80,45	16,70	0,64	1,40	31,00
53	16:40	80,45	17,72	0,71	1,30	31,00
54	16:50	61,89	11,17	0,56	1,90	30,20
55	17:00	80,45	17,78	0,64	1,40	30,00



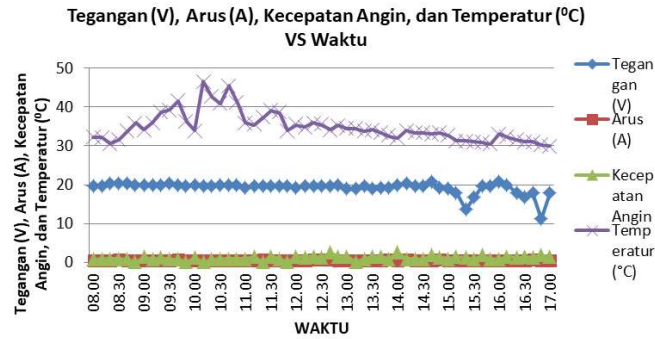
Gambar 11. Grafik Intensitas cahaya (W/m^2) dan temperatur

Dari gambar 11 diatas menunjukkan intensitas cahaya memiliki nilai rata rata $408,10 W/m^2$, nilai maksimum $792,13 W/m^2$ dan nilai minimum sebesar $55,70 W/m^2$, rata rata bobot temperatur $34,75^{\circ}C$, nilai tertinggi $46,60^{\circ}C$ dan nilai terendah $30^{\circ}C$.



Gambar 12. Grafik Intensitas Cahaya (W/m^2), tegangan (V), Arus(A) dan temperatur

Dari gambar 12 diatas intensitas cahaya matahari (W/m^2) yang terjadi memiliki nilai rata rata $408,10 W/m^2$, nilai tertinggi yaitu $792,13 W/m^2$ dan nilai terendah $55,70 W/m^2$, pada tegangan (V) memiliki nilai rata-rata 19,20 Volt, nilai tertinggi yaitu 20,68 Volt, dan nilai terendah 11,17 Volt, pada Arus (A) yang terjadi memiliki nilai rata-rata 0,61 Amper, nilai tertinggi 0,79 Amper, dan nilai terendah 0,41 Amper, dan pada temperatur ($^{\circ}C$) yang terjadi memiliki rata-rata $34,75^{\circ}C$, nilai tertinggi $46,60^{\circ}C$ dan nilai terendah $30^{\circ}C$.



Gambar 13. Grafik tegangan (V), Arus(A), kecepatan angin (Va) dan temperatur (°C).

Dari gambar 13 besar tegangan 20,68 Volt, dan nilai terendah 11,17 Volt, kuat arus 0,61 A, nilai tertinggi 0,79 A, dan nilai terendah 0,41 Amper, pada kecepatan angin (Va) memiliki nilai rata-rata 1,08 m/s, nilai tertinggi 2,60 m/s dan nilai terendah 0,00 m/s, dan pada temperatur (°C) yang terjadi memiliki rata-rata 34,75 °C, nilai tertinggi 46,60 °C dan nilai terendah 30 °C.

4.2. Bobot Energi Surya (P_{in}) panel surya 100 Wp

Besar energi masuk ke panel surya adalah

$$P_{in} = I_t \times A_{panel}$$

dimana :

P_{in} = energi/daya masuk ke panel surya (Watt)

A_p = luas permukaan panel (m^2)

I_t = intensitas radiasi matahari saat pengamatan (W/m^2)

I_t = 408,10 W/m^2

A_{Panel} = 0,68 m^2

Sehingga :

$$\begin{aligned} P_{in} &= I_t \times A_{panel} \\ &= 408,10 \text{ W/m}^2 \times 0,68 \text{ m}^2 \\ &= 277,50 \text{ Watt} \end{aligned}$$

4.3. Besar Energi yang dihasilkan / keluar dari solar cell (P_{out})

Besar energi yang dihasilkan panel surya adalah

$$P_{out} = V \cdot I$$

dimana: P_{out} = Energi/daya keluaran dari panel surya (Watt)

V = Voltase yang terjadi (Volt)

I = Kuat arus (Ampere)

$$\begin{aligned} P_{out} &= V \cdot I \text{ dimana : } V = 19,20 \text{ V, } I = 0,61 \text{ A, maka didapat:} \\ &= 19,20 \text{ V} \times 0,61 \text{ A} \\ &= 11,71 \text{ Watt} \end{aligned}$$

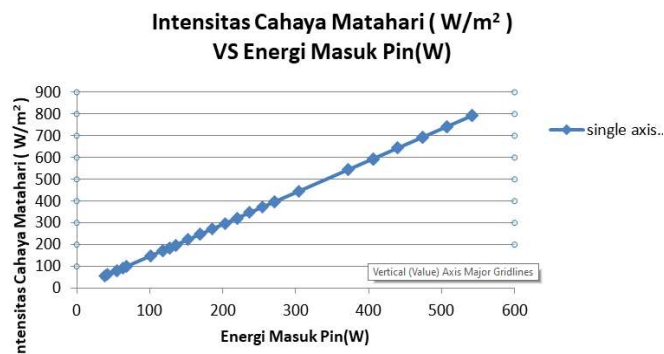
4.4. Efisiensi.

$$Efisiensi = \frac{\text{Besar Energi Yang keluar } (P_{out})}{\text{Besar Energi Yang masuk } (P_{in})} \times 100\%$$

$$(P_{out}) = 11,71 \text{ Watt, } (P_{in}) = 277,50 \text{ Watt}$$

$$= \frac{11,71 \text{ Watt}}{277,50 \text{ Watt}} \times 100\%$$

$$= 4,21 \%$$



Gambar 14. Grafik Intensitas Mathari dan Energi Masuk

5.KESIMPULAN

Dari hasil pengujian panel surya 100 Wp *single axis solar tracker* interval waktu 10 setiap menit mulai pukul 08:00-17:00 adalah:

Rata rata intensitas cahaya 408,10 W/m² dengan kecepatan angin 1,08 m/s menghasilkan besar arus dengan rata rata 19,20 Volt. Sementara energy yang masuk (P_{in}) 279,05 Watt dan Rata-rata daya/energi yang keluar (P_{out}) sebesar 11,77 W dengan tingkat efisiensi sebesar 4,21 %.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Rani, O. Singh, dan S. Pandey, "An Analysis on Arduino based Single Axis SolarTracker," in *2018 5th IEEE Uttar Pradesh Section International Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering*, 2018, hal. 18–22.
- [2] C. Sungur, "Multi-axes sun-tracking system with PLC control for photovoltaic panels in turkey," *Renewable Energy*, vol. 34, no. 4, hal. 1119–1125, 2009.
- [3] J. K. Tharamuttam dan A. K. Ng, "Design and Development of an Automatic Solar Tracker," *Energy Procedia*, vol. 143, hal. 629–634, 2017.
- [4] W. Indrasari, R. Fahdiran, E. Budi, L. Jannah, L. V. Kadarwati, dan Ramli, "Active Solar Tracker Based on the Horizon Coordinate System," in *Journal of Physics: Conference Series*, 2018, vol. 1120, no. 012102, hal. 1–5.
- [5] PT PLN, *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik 2019-2028*, Jakarta, 2019.
- [6] A. El Hammoumi, S. Motahhir, A. El Ghzizal, A. Chalh, dan A. Derouich, "A simple and low-cost active dual-axis solar tracker," *Energy Science and Engineering*, vol. 6, no. 5, hal. 607–620, 2018.
- [7] M. Khairudin dan S. Adyarno, "Solar Tracker on Solar Home System to Optimize Sunlight Absorption," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1140, no. 012005, hal. 1–5, 2018.
- [8] L. Barker, M. Neber, dan H. Lee, "Design of a low-profile two-axis solar tracker," *Solar Energy*, vol. 97, hal. 569–576, 2013.
- [9] Abadi, I., Musyafa, A., & Soeprijanto, A. (2015). Design and Implementation of Active Two Axes Solar Tracking System Using Particle Swarm Optimization

- Based Fuzzy Logic Controller. *International Review on Modelling and Simulations (I.RE.MO.S.)*
- [10]. Jain, D. S., & Cheema, S. S. (2012). Simulation Studies on Dual Axis Solar Photovoltaic Panel Tracking System. Patiala: Electrical & Instrumentation Engineering Department Thapar University
- [11]. X. Berisha, A. Zeqiri, and D. Meha, "Determining the optimum tilt angles to maximize the incident solar radiation-case of study Pristina," *International Journal of Renewable Energy Development*, vol. 7, no. 2, hal. 123–130, 2018.
- [12]. T. O. Kaddoura, M. A. M. Ramli, and Y. A. Al-Turki, "On the estimation of the optimum tilt angle of PV panel in Saudi Arabia," *Renewable and Sustainable Energy Review*, vol. 65, hal. 626–634, 2016.
- [13]. P. D.L., Hermawan, and Karnoto, "Analisis sudut panel solar cell terhadap daya output dan efisiensi yang dihasilkan," *Transient: Jurnal Ilmiah. Teknik Elektro*, vol. 2, no. 4, hal. 930–937, 2013.
- [14]. V. Poulek, A. Khudysh, dan M. Libra, "Self powered solar tracker for Low Concentration PV (LCPV) systems," *Solar Energy*, vol. 127, hal. 109–112, 2016.
- [15]. A. O. Ndubuisi, E. Imolorhe, dan M. L. Akinyemi, "Investigating the effect of solar trackers on solar energy harnessing in the Tropics," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018, vol. 173, no. 012044, hal. 1–7.
- [16] <http://www.apscupsc.com/daily-current-affairs-3-january-2018/>
- [17]. Ambarita, Himsar, 2011 "*Energi Surya*", Medan , Departemen Teknik Mesin Universitas Sumatera Utara.
- [18]. Duffie, Jhon A, and A William Backman, 2013 "*Solar Engineering of Thermal Process*", 4thNew Jersey, Jhon Wiley and sin, inc.
- [19]. Swami, Rashmi. 2012, "*Solar Cell*", Department of Electronics, Govt.Girl's polytechnic Raipur, 492001, Chhattisgarh, India
- [20] [.https://id.wikipedia.org/wiki/Sel_surya](https://id.wikipedia.org/wiki/Sel_surya)
- [21]. R. Singh, S. Kumar, A. Gehlot, and R. Pachauri, "*An imperative role of sun trackers in photovoltaic technology: A review*," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 82, no. October, pp. 3263-3278, 2018.
- [22]. Jain, D. S., & Cheema, S. S. (2012). Simulation Studies on Dual Axis Solar Photovoltaic Panel Tracking System. Patiala: Electrical & Instrumentation Engineering Department Thapar University.
- [23]. Zhao, L. H., Chongyang, W., & Hao , X. L. (2014). An Improved PV System Based on Dual Axis Solar Tracking and MPPT. Proceedings of 2014 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, China.