

Penerapan Model Sistem Dinamik Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Andi Makkulau¹; Samsurizal²; Miftahul Fikri³; Muhammad Rais⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi PLN
andi.mk@itpln.ac.id

ABSTRACT

Because solar power plants offer the benefit of being a clean energy source and the capacity to hasten the integration of new and renewable energy (NRE) into the energy mix, solar energy campaigns (photovoltaic) are in high demand. Compared to other power plants, photovoltaic energy has a very small carbon impact, making it a green energy source. The goal of the study was to evaluate the efficiency and dependability of the performance of solar power plants. The effectiveness of solar power plants is examined using the results of numerous computations and measurements. In this work, a comparative quantitative model was adopted as the methodology. The model that was employed was a dynamic system, which is a way of simulating a dynamic system—a system that changes over time. We can develop guidelines and investigational scenarios using dynamic systems. Using an average efficiency of 18.75%, modeling with dynamic system modeling software compares secondary data with verified simulation data to produce more accurate information.

Keywords: *new renewable energy, solar energy, photovoltaic, dynamic system, modeling*

ABSTRAK

Kampanye energi surya (PLTS) sangat diminati karena PLTS memiliki keunggulan sebagai sumber energi bersih selain memiliki kemampuan untuk mempercepat masuknya energi baru terbarukan (EBT) ke dalam bauran energi. energi fotofoltaik yang ramah lingkungan karena meninggalkan jejak karbon yang sangat rendah dibandingkan dengan pembangkit listrik lainnya. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui kehandalan kerja pembangkit listrik tenaga surya ditinjau dari efisiensinya. Melalui beberapa pengukuran dan perhitungan, hasil perhitungan digunakan untuk menganalisis efektivitas PLTS. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah model kuantitatif komparatif. Model yang digunakan adalah sistem dinamik, sistem dinamik merupakan metode pemodelan sistem dinamik, yaitu sistem yang berubah dari waktu ke waktu. Menggunakan sistem dinamis dapat membantu kami membuat pedoman dan skenario untuk penyelidikan lebih lanjut. Pemodelan dengan perangkat lunak pemodelan sistem dinamis memberikan informasi yang lebih akurat dengan membandingkan informasi sekunder dengan data simulasi tervalidasi dengan efisiensi rata-rata 18,75%.

Kata kunci: *Energi Terbarukan, PLTS, Fotovoltaik, sistem dinamik, pemodelan*

1. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang menggunakan energi dari radiasi sinar matahari sebagai satu-satunya sumber utama. Komponen yang paling utama digunakan pada PLTS adalah sel surya (photovoltaic cell). Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kinerja panel surya, diantaranya yaitu sudut kemiringan dalam pemasangan panel yang optimum sekitar $25-40^\circ$ [1]–[3] yang dapat mempengaruhi intensitas matahari saat panel surya menerima sinar matahari [4] dan suhu permukaan sel surya akibat paparan langsung sinar matahari yang [5] optimum sekitar $35^\circ-50^\circ$ C [5], [6].

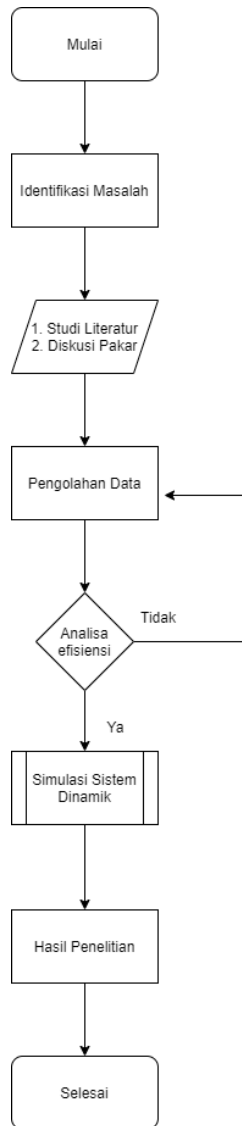
Dalam perkembangannya PLTS dapat dimanfaatkan untuk pembangunan dan pemerataan kelistrikan di desa [7], [8], dan juga dapat dioptimalisasikan untuk peningkatan performa pada Gedung – gedung di perkotaan [9], [10] serta dapat membantu pemerintah daerah dalam mengembangkan potensi listrik di daerahnya [11]. Keandalan sebuah sistem PLTS dalam menyediakan daya listrik yaitu keandalan yang berhubungan dengan jenis output PLTS untuk memenuhi daya yang diperlukan serta efisiensi dari PLTS tersebut.

Di bidang penelitian, PLTS dapat dioptimalisasikan dengan berbagai metode sehingga penggunaan listrik tenaga matahari dapat terus ditingkatkan. Dalam peningkatan kinerja modul surya, salah satu penyebab menurunnya performa kinerja PLTS adalah terdapatnya bayangan pada permukaan modul surya, namun hal ini dapat dilakukan dengan cara mendeteksi benda dengan menggunakan pemrograman perangkat lunak python [12] serta validasi dapat menggunakan matlab [13].

Pada penelitian kali ini bertujuan untuk mengetahui keandalan kerja dari PLTS. Dengan melakukan beberapa pengukuran dan perhitungan, hasil perhitungannya digunakan untuk menganalisis unjuk kerja dari PLTS tersebut. Kemudian akan disimulasikan menggunakan model sistem dinamik, sistem dinamik merupakan metode yang digunakan untuk memodelkan suatu sistem yang dinamis, yaitu sistem yang berubah dari waktu ke waktu, di sistem dinamik diajarkan kerangka berpikir untuk menyelesaikan suatu permasalahan tidak hanya dari satu sudut pandang atau satu pokok bagian saja tetapi harus dilihat dari semua pengaruh yang erat kaitannya dan berhubungan langsung dengan masalah tersebut [14].

2. METODE/PERANCANGAN PENELITIAN

Metodologi penelitian ini menggunakan metode kuantitatif komparatif dengan membandingkan hasil pengukuran data sekunder dengan data hasil simulasi [15] yang dimulai dengan beberapa tahap, pertama melakukan identifikasi masalah dari proses penelitian, kedua studi literatur dari beberapa penelitian yang telah dilakukan, ketiga pengolahan data yang diperoleh, keempat menganalisa efisiensi dari data, kelima melakukan simulasi sistem dinamis, keenam hasil analisis dan laporan dan langkah terakhir yaitu membuat kesimpulan.



Gambar 1. Diagram Alir

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang didapatkan dari penelitian pengukuran Irradiasi untuk mengukur irradiasi yang masuk ke dalam panel surya sehingga dapat melihat jumlah tegangan dan arus. Modul surya yang digunakan berjenis polycrystalline dengan kapasitas sebesar 100wp seperti pada gambar 1.

Modul Surya yang digunakan memiliki spesifikasi :

- a. Model no : GH100P-18
- b. Rated Power (P_{max}) : 100 W
- c. Open Circuit Voltage (V_{oc}) : 21,6 V
- d. Short Circuit Current (I_{sc}) : 5,99 A
- e. Voltage at P_{max} (V_{mp}) : 18 V
- f. Current at P_{max} (I_{mp}) : 5,56 A
- g. Weight : 7 Kg
- h. Dimension : 1020*670*30 (mm)

Maka pengujian dan pengukuran dilakukan dari pukul 09:00 hingga 15:00, pengujian dan pengukuran dilakukan untuk mendapatkan data yang sesuai dengan kebutuhan.



Gambar 2 Modul Surya

3.1 Hasil Data Pengukuran

Setelah melakukan pengujian dan pengukuran lapangan didapatkan hasil seperti yang ada pada tabel merupakan data sekunder dari penelitian “Karakteristik *temperature* pada permukaan sel surya *Polycrystalline* terhadap efektifitas daya keluaran pembangkit listrik tenaga surya”, [6] data ini merupakan data pengukuran diurutkan berdasarkan waktu:

Tabel 1 Data Penelitian

No.	Waktu	Iradiasi Matahari (W/ m ²)	I _{sc} (A)	Suhu (°C)	Tegangan (V)	Keterangan
1.	9:50	831,4	4,94	49,2	21,2	Cerah
2.	9:55	895,4	4,99	51,2	20,8	Cerah
3.	10:00	888,7	4,89	49,6	20,9	Cerah
4.	10:05	854,0	4,91	50,0	20,9	Cerah
5.	10:10	821,2	4,88	50,4	21,0	Cerah
6.	10:15	898,6	4,81	49,0	21,2	Cerah
7.	10:20	935,7	5,03	50,8	20,9	Cerah
8.	10:25	900,2	5,07	51,6	20,7	Cerah
9.	10:30	731,9	4,93	50,8	20,6	Cerah
10.	10:35	688,8	5,4	48,0	21,0	Cerah
11.	10:40	995,8	5,5	49,7	21,2	Cerah
12.	10:45	996,0	5,7	52,7	20,7	Cerah
13.	10:50	978,4	5,62	54,8	20,8	Cerah

No.	Waktu	Iradiasi Matahari (W/ m ²)	I _{sc} (A)	Suhu (°C)	Tegangan (V)	Keterangan
14.	10:55	762,8	5,08	48,1	21,0	Cerah
15.	11:00	783,7	5,1	42,8	21,3	Cerah
16.	11,05	792,3	5,12	42,5	21,7	Cerah
17.	11:10	835,7	4,92	49,0	21,1	Cerah
18.	11:15	874,5	5,11	49,7	20,1	Cerah
19.	11:20	892,1	5,39	52,1	21,1	Cerah
20.	11,25	894,4	4,92	53,4	20,9	Cerah
21.	11:30	915,4	5,52	53,0	21,1	Cerah
22.	11:35	851,8	5,18	48,4	20,8	cerah
23.	11:40	864,7	5,28	47,6	21,4	Cerah
24.	11:45	786,9	4,93	50,1	20,9	Cerah
25.	11:50	799,5	4,95	52,9	20,8	Cerah
26.	11:55	742,6	4,88	47,5	20,9	Cerah
27.	12:00	728,0	4,92	43,6	21,3	Cerah
28.	12:05	771,3	4,98	49,6	21,1	Cerah
29.	12:10	793,6	5,12	52,5	20,9	Cerah
30.	12:15	730,1	4,87	47,8	21,2	Cerah
31.	12:20	767,1	5,16	50,2	21,2	Cerah
32.	12:25	775,7	5,12	49,6	21,0	Cerah
33.	12:30	660,7	5,01	50,6	21,0	Cerah
34.	12:35	731,8	5,2	49,1	20,6	Cerah
35.	12:40	744,1	5,15	44,2	21,2	Cerah
36.	12:45	762,6	5,13	42,5	20,6	Cerah
37.	12:50	717,3	5,05	43,3	21,3	Cerah
38.	12:55	733,7	5,09	44,7	21,2	Cerah
39.	13:00	812,7	5,14	51,9	20,7	Cerah
40.	13:05	724,1	5,01	41,5	21,0	Cerah
41.	13:10	705,0	4,93	37,9	21,7	Cerah
42.	13:15	748,3	5,08	43,6	21,4	Cerah
43.	13:20	796,8	5,05	51,0	21,1	Cerah
44.	13:25	782,7	5,02	47,2	21,1	Cerah

No.	Waktu	Iradiasi Matahari (W/ m ²)	I _{sc} (A)	Suhu (°C)	Tegangan (V)	Keterangan
45.	13:30	773,8	5,1	44,9	21,2	Cerah
46.	13:35	769,2	5,05	44,7	21,1	Cerah
47.	13:40	754,1	4,98	46,5	21,1	Cerah
48.	13:45	712,7	4,91	40,7	21,3	Cerah
49.	13:50	729,4	4,94	41,6	21,4	Cerah
50.	13:55	714,2	4,96	39,5	21,1	Cerah
51.	14:00	736,9	5,04	42,1	21,2	Cerah
52.	14:05	762,2	5,12	44,2	21,4	Cerah
53.	14:10	754,8	5,08	42,3	21,1	Cerah
54.	14:15	705,3	4,93	39,3	21,2	Cerah
55.	14:20	711,4	4,97	38,6	21,4	Cerah
56.	14:25	748,1	5,02	41,2	21,3	Cerah
57.	14:30	716,5	4,96	38,5	21,2	Cerah
58.	14:35	696,7	4,92	36,5	21,1	Berawan
59.	14:40	695,3	4,83	36,1	21,3	Berawan
60.	14:45	687,8	4,87	36,9	21,0	Cerah
61.	14:50	660,8	4,82	37,0	21,4	Berawan
62.	14:55	662,5	4,86	33,9	21,1	Berawan
63.	15:00	650,9	4,84	34,8	21,2	Berawan

Berikut ini data pengukuran yang diurutkan berdasarkan iradiasi matahari dari yang terkecil hingga terbesar:

Tabel 2 Data Penelitian berdasarkan kenaikan *irradiance*

No.	Waktu	Iradiasi Matahari (W/ m ²)	I _{sc} (A)	Suhu (°C)	Tegangan (V)	Keterangan
1.	15:00	650,9	4,84	34,8	21,2	Berawan
2.	12:30	660,7	5,01	50,6	21,0	Cerah
3.	14:50	660,8	4,82	37,0	21,4	Berawan
4.	14:55	662,5	4,86	33,9	21,1	Berawan
5.	14:45	687,8	4,87	36,9	21,0	Cerah
6.	10:35	688,8	5,4	48,0	21,0	Cerah

No.	Waktu	Iradiasi Matahari (W/ m ²)	I _{sc} (A)	Suhu (°C)	Tegangan (V)	Keterangan
7.	14:40	695,3	4,83	36,1	21,3	Berawan
8.	14:35	696,7	4,92	36,5	21,1	Berawan
9.	13:10	705,0	4,93	37,9	21,7	Cerah
10.	14:15	705,3	4,93	39,3	21,2	Cerah
11.	14:20	711,4	4,97	38,6	21,4	Cerah
12.	13:45	712,7	4,91	40,7	21,3	Cerah
13.	13:55	714,2	4,96	39,5	21,1	Cerah
14.	14:30	716,5	4,96	38,5	21,2	Cerah
15.	12:50	717,3	5,05	43,3	21,3	Cerah
16.	13:05	724,1	5,01	41,5	21,0	Cerah
17.	12:00	728,0	4,92	43,6	21,3	Cerah
18.	13:50	729,4	4,94	41,6	21,4	Cerah
19.	12:15	730,1	4,87	47,8	21,2	Cerah
20.	12:35	731,8	5,2	49,1	20,6	Cerah
21.	10:30	731,9	4,93	50,8	20,6	Cerah
22.	12:55	733,7	5,09	44,7	21,2	Cerah
23.	14:00	736,9	5,04	42,1	21,2	Cerah
24.	11:55	742,6	4,88	47,5	20,9	Cerah
25.	12:40	744,1	5,15	44,2	21,2	Cerah
26.	14:25	748,1	5,02	41,2	21,3	Cerah
27.	13:15	748,3	5,08	43,6	21,4	Cerah
28.	13:40	754,1	4,98	46,5	21,1	Cerah
29.	14:10	754,8	5,08	42,3	21,1	Cerah
30.	14:05	762,2	5,12	44,2	21,4	Cerah
31.	12:45	762,6	5,13	42,5	20,6	Cerah
32.	10:55	762,8	5,08	48,1	21,0	Cerah
33.	12:20	767,1	5,16	50,2	21,2	Cerah
34.	13:35	769,2	5,05	44,7	21,1	Cerah
35.	12:05	771,3	4,98	49,6	21,1	Cerah
36.	13:30	773,8	5,1	44,9	21,2	Cerah
37.	12:25	775,7	5,12	49,6	21,0	Cerah

No.	Waktu	Iradiasi Matahari (W/ m ²)	I _{sc} (A)	Suhu (°C)	Tegangan (V)	Keterangan
38.	13:25	782,7	5,02	47,2	21,1	Cerah
39.	11:00	783,7	5,1	42,8	21,3	Cerah
40.	11:45	786,9	4,93	50,1	20,9	Cerah
41.	11:05	792,3	5,12	42,5	21,7	Cerah
42.	12:10	793,6	5,12	52,5	20,9	Cerah
43.	13:20	796,8	5,05	51,0	21,1	Cerah
44.	11:50	799,5	4,95	52,9	20,8	Cerah
45.	13:00	812,7	5,14	51,9	20,7	Cerah
46.	10:10	821,2	4,88	50,4	21,0	Cerah
47.	9:50	831,4	4,94	49,2	21,2	Cerah
48.	11:10	835,7	4,92	49,0	21,1	Cerah
49.	11:35	851,8	5,18	48,4	20,8	Cerah
50.	10:05	854,0	4,91	50,0	20,9	Cerah
51.	11:40	864,7	5,28	47,6	21,4	Cerah
52.	11:15	874,5	5,11	49,7	20,1	Cerah
53.	10:00	888,7	4,89	49,6	20,9	Cerah
54.	11:20	892,1	5,39	52,1	21,1	Cerah
55.	11:25	894,4	4,92	53,4	20,9	Cerah
56.	9:55	895,4	4,99	51,2	20,8	Cerah
57.	10:15	898,6	4,81	49,0	21,2	Cerah
58.	10:25	900,2	5,07	51,6	20,7	Cerah
59.	11:30	915,4	5,52	53,0	21,1	Cerah
60.	10:20	935,7	5,03	50,8	20,9	Cerah
61.	10:50	978,4	5,62	54,8	20,8	Cerah
62.	10:40	995,8	5,5	49,7	21,2	Cerah
63.	10:45	996,0	5,7	52,7	20,7	Cerah

Terlihat dari tabel hasil pengukuran, yang diukur yaitu nilai dari irradiasi matahari, tegangan, arus, suhu dan kondisi cuaca pada saat dilakukan pengukuran.

3.2 Hasil Efisiensi Dengan Iradiasi Matahari Secara Rata-Rata

Dari tabel 4.1 dan tabel 4.2, selanjutnya dilakukan perhitungan dari mulai P_{in} yaitu daya *input*, *Fill Factor* yaitu Faktor Pengisian, P_{out} yaitu daya *output* dan Efisiensi. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan *irradiance* yang telah di rata-rata, dengan perhitungan sebagai berikut:

$$Ir \text{ rata rata} = \frac{49.340,7}{63} \quad (1)$$

$$Ir \text{ rata rata} = 783,18$$

Kemudian untuk mendapatkan nilai P_{in} , menggunakan perhitungan sebagai berikut:

$$P_{in} = Ir \times A \quad (2)$$

$$P_{in} = 783,18 \times 0,6834$$

$$P_{in} = 535,22$$

Kemudian untuk mendapatkan P_{out} , menggunakan perhitungan dengan rumus berikut:

$$P_{out} = Voc \times Isc \times FF \quad (3)$$

Untuk mendapatkan *Fill Factor* untuk dimasukkan ke dalam perhitungan P_{out} , perhitungan dengan rumus berikut:

$$FF = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{Voc \times Isc} \quad (4)$$

Sehingga hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel, data pada tabel diurutkan berdasarkan waktu:

Tabel 3 Data *Irradiance* rata-rata berdasarkan waktu

No.	Waktu	Suhu (°C)	<i>Irradiance</i> (W/ m ²)	<i>Fill Factor</i>	P_{in} (W)	P_{out} (W)	Efisiensi (%)
1.	9:50	49,2	783,18	0,95	535,22	99,49	18,5
2.	9:55	51,2	783,18	0,96	535,22	99,64	18,6
3.	10:00	49,6	783,18	0,97	535,22	99,13	18,5
4.	10:05	50,0	783,18	0,97	535,22	99,54	18,5
5.	10:10	50,4	783,18	0,97	535,22	99,40	18,5
6.	10:15	49,0	783,18	0,98	535,22	99,93	18,6
7.	10:20	50,8	783,18	0,95	535,22	99,87	18,6
8.	10:25	51,6	783,18	0,95	535,22	99,70	18,6
9.	10:30	50,8	783,18	0,98	535,22	99,52	18,5
10.	10:35	48,0	783,18	0,88	535,22	99,79	18,6
11.	10:40	49,7	783,18	0,85	535,22	99,11	18,5
12.	10:45	52,7	783,18	0,84	535,22	99,11	18,5
13.	10:50	54,8	783,18	0,85	535,22	99,36	18,5
14.	10:55	48,1	783,18	0,93	535,22	99,21	18,5

No.	Waktu	Suhu (°C)	Irradiance (W/ m ²)	Fill Factor	P _{in} (W)	P _{out} (W)	Efisiensi (%)
15.	11:00	42,8	783,18	0,92	535,22	99,93	18,6
16.	11,05	42,5	783,18	0,90	535,22	99,99	18,6
17.	11:10	49,0	783,18	0,96	535,22	100,13	18,7
18.	11:15	49,7	783,18	0,97	535,22	99,62	18,6
19.	11:20	52,1	783,18	0,87	535,22	98,94	18,4
20.	11,25	53,4	783,18	0,97	535,22	99,74	18,6
21.	11:30	53,0	783,18	0,85	535,22	99,00	18,4
22.	11:35	48,4	783,18	0,92	535,22	99,12	18,5
23.	11:40	47,6	783,18	0,88	535,22	99,43	18,5
24.	11:45	50,1	783,18	0,97	535,22	99,94	18,6
25.	11:50	52,9	783,18	0,97	535,22	99,87	18,6
26.	11:55	47,5	783,18	0,98	535,22	99,95	18,6
27.	12:00	43,6	783,18	0,95	535,22	99,55	18,5
28.	12:05	49,6	783,18	0,95	535,22	99,82	18,6
29.	12:10	52,5	783,18	0,93	535,22	99,51	18,5
30.	12:15	47,8	783,18	0,96	535,22	99,11	18,5
31.	12:20	50,2	783,18	0,91	535,22	99,54	18,5
32.	12:25	49,6	783,18	0,93	535,22	99,99	18,6
33.	12:30	50,6	783,18	0,95	535,22	99,94	18,6
34.	12:35	49,1	783,18	0,93	535,22	99,62	18,6
35.	12:40	44,2	783,18	0,91	535,22	99,35	18,5
36.	12:45	42,5	783,18	0,94	535,22	99,33	18,5
37.	12:50	43,3	783,18	0,93	535,22	100,03	18,6
38.	12:55	44,7	783,18	0,92	535,22	99,27	18,5
39.	13:00	51,9	783,18	0,94	535,22	100,01	18,6
40.	13:05	41,5	783,18	0,95	535,22	99,94	18,6
41.	13:10	37,9	783,18	0,93	535,22	99,49	18,5
42.	13:15	43,6	783,18	0,92	535,22	100,01	18,6
43.	13:20	51,0	783,18	0,93	535,22	99,09	18,5
44.	13:25	47,2	783,18	0,94	535,22	99,56	18,6
45.	13:30	44,9	783,18	0,92	535,22	99,47	18,5
46.	13:35	44,7	783,18	0,93	535,22	99,09	18,5

No.	Waktu	Suhu (°C)	Irradiance (W/ m ²)	Fill Factor	P _{in} (W)	P _{out} (W)	Efisiensi (%)
47.	13:40	46,5	783,18	0,95	535,22	99,82	18,6
48.	13:45	40,7	783,18	0,95	535,22	99,35	18,5
49.	13:50	41,6	783,18	0,94	535,22	99,37	18,5
50.	13:55	39,5	783,18	0,95	535,22	99,42	18,5
51.	14:00	42,1	783,18	0,93	535,22	99,36	18,5
52.	14:05	44,2	783,18	0,91	535,22	99,70	18,6
53.	14:10	42,3	783,18	0,93	535,22	99,68	18,6
54.	14:15	39,3	783,18	0,95	535,22	99,29	18,5
55.	14:20	38,6	783,18	0,94	535,22	99,97	18,6
56.	14:25	41,2	783,18	0,93	535,22	99,44	18,5
57.	14:30	38,5	783,18	0,95	535,22	99,89	18,6
58.	14:35	36,5	783,18	0,96	535,22	99,65	18,6
59.	14:40	36,1	783,18	0,97	535,22	99,79	18,6
60.	14:45	36,9	783,18	0,98	535,22	100,22	18,7
61.	14:50	37,0	783,18	0,97	535,22	100,05	18,6
62.	14:55	33,9	783,18	0,97	535,22	99,46	18,5
63.	15:00	34,8	783,18	0,97	535,22	99,52	18,5

3.3 Hasil Efisiensi Dengan Iradiasi Berubah Setiap Waktu

Dari tabel 1 dan tabel 2, selanjutnya dilakukan perhitungan dari mulai P_{in} yaitu daya *input*, *Fill Factor* yaitu Faktor Pengisian, P_{out} yaitu daya *output* dan Efisiensi. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan *irradiance* yang ada setiap waktu, Kemudian untuk mendapatkan nilai P_{in}, menggunakan perhitungan sebagai berikut:

$$P_{in} = I_r \times A \tag{5}$$

Kemudian untuk mendapatkan P_{out}, menggunakan perhitungan dengan rumus berikut:

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF \tag{6}$$

Untuk mendapatkan *Fill Factor* untuk dimasukkan ke dalam perhitungan P_{out}, perhitungan dengan rumus berikut:

$$FF = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} \tag{7}$$

Berikut ini hasil efisiensi yang diurutkan berdasarkan iradiasi matahari dari yang terkecil hingga terbesar:

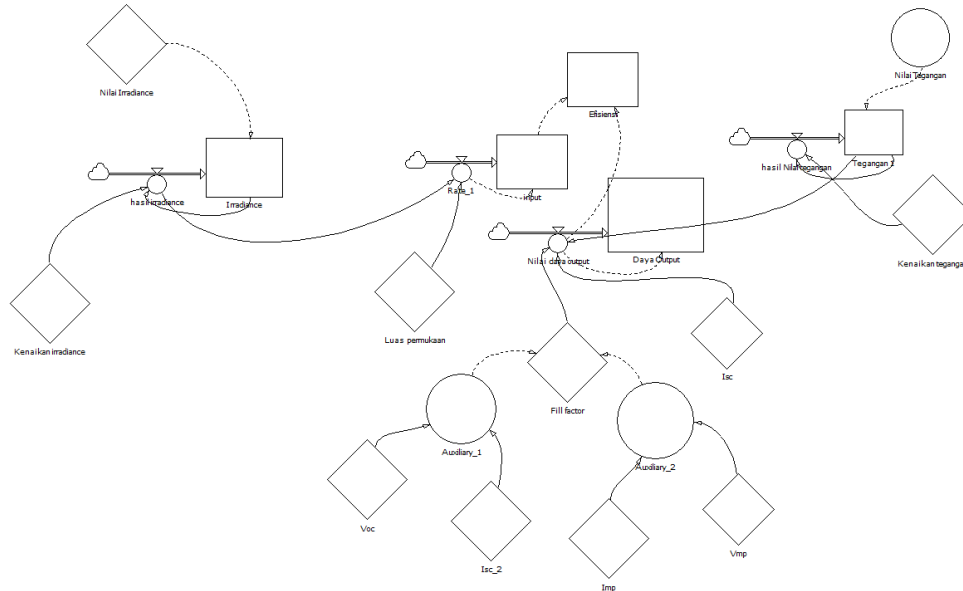
Tabel 4 Data Efisiensi berdasarkan *irradiance* terkecil hingga terbesar

No	Waktu	Suhu (°C)	<i>Irradiance</i> (W/ m ²)	<i>Fill</i> <i>Factor</i>	P _{in} (W)	P _{out} (W)	Efisiensi (%)
1.	15:00	34,8	650,9	0,97	444,82	99,52	22,3
2.	12:30	50,6	660,7	0,95	451,52	99,94	22,1
3.	14:50	37,0	660,8	0,97	451,59	100,05	22,1
4.	14:55	33,9	662,5	0,97	452,75	99,46	21,9
5.	14:45	36,9	687,8	0,98	470,04	100,22	21,3
6.	10:35	48,0	688,8	0,88	470,72	99,79	21,1
7.	14:40	36,1	695,3	0,97	475,16	99,79	21,0
8.	14:35	36,5	696,7	0,96	476,12	99,65	20,9
9.	13:10	37,9	705,0	0,93	481,79	99,49	20,6
10.	14:15	39,3	705,3	0,95	482,00	99,29	20,5
11.	14:20	38,6	711,4	0,94	486,17	99,97	20,5
12.	13:45	40,7	712,7	0,95	487,05	99,35	20,3
13.	13:55	39,5	714,2	0,95	488,08	99,42	20,3
14.	14:30	38,5	716,5	0,95	489,65	99,89	20,4
15.	12:50	43,3	717,3	0,93	490,20	100,03	20,4
16.	13:05	41,5	724,1	0,95	494,84	99,94	20,1
17.	12:00	43,6	728,0	0,95	497,51	99,55	20,0
18.	13:50	41,6	729,4	0,94	498,47	99,37	19,9
19.	12:15	47,8	730,1	0,96	498,95	99,11	19,9
20.	12:35	49,1	731,8	0,93	500,11	99,62	19,9
21.	10:30	50,8	731,9	0,98	500,18	99,52	19,8
22.	12:55	44,7	733,7	0,92	501,41	99,27	19,7
23.	14:00	42,1	736,9	0,93	503,59	99,36	19,7
24.	11:55	47,5	742,6	0,98	507,49	99,95	19,6
25.	12:40	44,2	744,1	0,91	508,51	99,35	19,5
26.	14:25	41,2	748,1	0,93	511,25	99,44	19,4
27.	13:15	43,6	748,3	0,92	511,38	100,01	19,4
28.	13:40	46,5	754,1	0,95	515,35	99,82	19,3
29.	14:10	42,3	754,8	0,93	515,83	99,68	19,3
30.	14:05	44,2	762,2	0,91	520,88	99,70	19,1
31.	12:45	42,5	762,6	0,94	521,16	99,33	19,0

No	Waktu	Suhu (°C)	Irradiance (W/ m ²)	Fill Factor	P _{in} (W)	P _{out} (W)	Efisiensi (%)
32.	10:55	48,1	762,8	0,93	521,29	99,21	19,0
33.	12:20	50,2	767,1	0,91	524,23	99,54	18,9
34.	13:35	44,7	769,2	0,93	525,67	99,09	18,8
35.	12:05	49,6	771,3	0,95	527,10	99,82	18,8
36.	13:30	44,9	773,8	0,92	528,81	99,47	18,8
37.	12:25	49,6	775,7	0,93	530,11	99,99	18,8
38.	13:25	47,2	782,7	0,94	534,89	99,56	18,6
39.	11:00	42,8	783,7	0,92	535,58	99,93	18,6
40.	11:45	50,1	786,9	0,97	537,76	99,94	18,5
41.	11:05	42,5	792,3	0,90	541,45	99,99	18,4
42.	12:10	52,5	793,6	0,93	542,34	99,51	18,3
43.	13:20	51,0	796,8	0,93	544,53	99,09	18,1
44.	11:50	52,9	799,5	0,97	546,37	99,87	18,1
45.	13:00	51,9	812,7	0,94	555,39	100,01	18,0
46.	10:10	50,4	821,2	0,97	561,20	99,40	17,7
47.	9:50	49,2	831,4	0,95	568,17	99,49	17,5
48.	11:10	49,0	835,7	0,96	571,11	100,13	17,5
49.	11:35	48,4	851,8	0,92	582,12	99,12	17,0
50.	10:05	50,0	854,0	0,97	583,62	99,54	17,0
51.	11:40	47,6	864,7	0,88	590,93	99,43	16,8
52.	11:15	49,7	874,5	0,97	597,63	99,62	16,6
53.	10:00	49,6	888,7	0,97	607,30	99,13	16,3
54.	11:20	52,1	892,1	0,87	609,66	98,94	16,2
55.	11:25	53,4	894,4	0,97	611,23	99,74	16,2
56.	9:55	51,2	895,4	0,96	611,91	99,64	16,2
57.	10:15	49,0	898,6	0,98	614,10	99,93	16,2
58.	10:25	51,6	900,2	0,95	615,19	99,70	16,2
59.	11:30	53,0	915,4	0,85	625,58	99,00	15,8
60.	10:20	50,8	935,7	0,95	639,45	99,87	15,6
61.	10:50	54,8	978,4	0,85	668,63	99,36	14,8
62.	10:40	49,7	995,8	0,85	680,52	99,11	14,5
63.	10:45	52,7	996,0	0,84	680,66	99,11	14,5

3.4 Hasil Pemodelan Dengan Sistem Dinamik

Bentuk dari hasil pemodelan seperti pada gambar berikut:



Gambar 3 Pemodelan

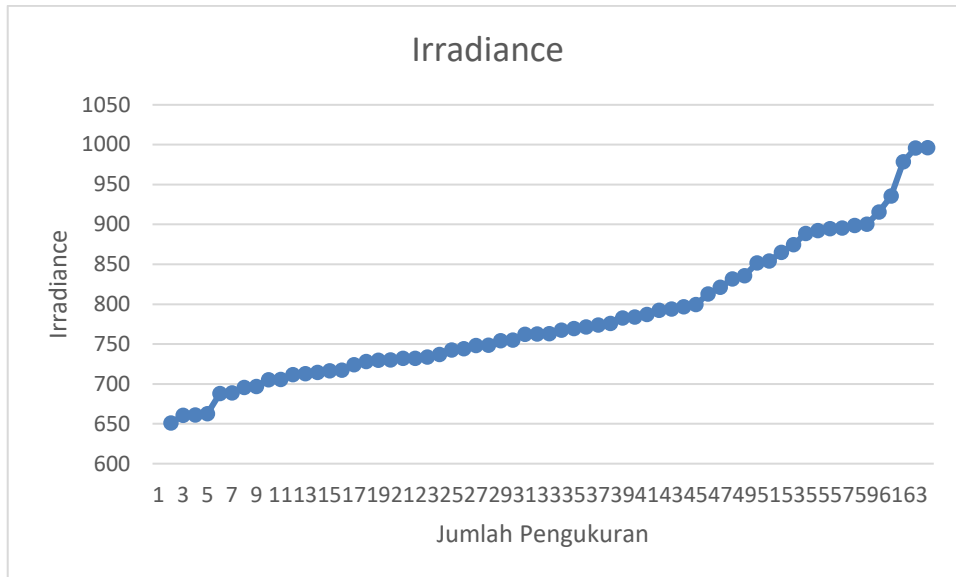
Pemodelan dengan sistem dinamik akan dibandingkan dengan hasil dari pengukuran di lapangan, terlihat pada tabel berikut:

Tabel 5 Data Hasil Simulasi

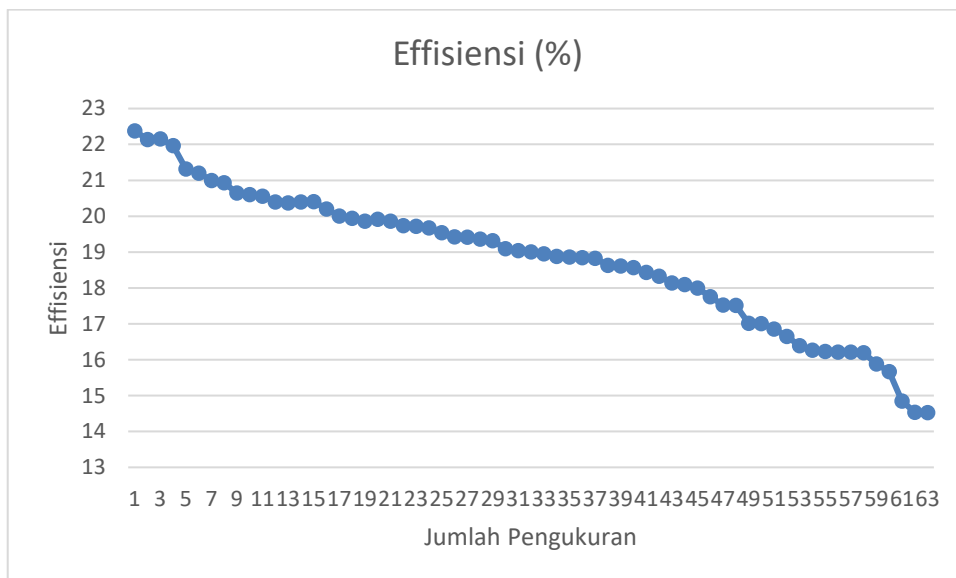
No	Irradiance	Fill Factor	Data Hasil Simulasi			Data hasil pengujian		
			Pin (W)	P _{out} (W)	Efisiensi (%)	Pin (W)	P _{out} (W)	Efisiensi (%)
1.	650,9	0,97	444,83	99,53	22,38	444,82	99,52	22,3
2.	660,7	0,95	451,52	99,95	22,14	451,52	99,94	22,1
3.	660,8	0,97	451,59	100,05	22,16	451,59	100,05	22,1
4.	662,5	0,97	452,75	99,47	21,97	452,75	99,46	21,9
5.	687,8	0,98	470,04	100,22	21,32	470,04	100,22	21,3
6.	688,8	0,88	470,73	99,79	21,20	470,72	99,79	21,1
7.	695,3	0,97	475,17	99,79	21,00	475,16	99,79	21,0
8.	696,7	0,96	476,12	99,66	20,93	476,12	99,65	20,9
9.	705,0	0,93	481,8	99,49	20,65	481,79	99,49	20,6
10.	705,3	0,95	482,00	99,29	20,60	482,00	99,29	20,5

No	Irradiance	Fill Factor	Data Hasil Simulasi			Data hasil pengujian		
			Pin (W)	P _{out} (W)	Efisiensi (%)	Pin (W)	P _{out} (W)	Efisiensi (%)
11.	711,4	0,94	486,17	99,98	20,56	486,17	99,97	20,5
12.	712,7	0,95	487,06	99,35	20,40	487,05	99,35	20,3
13.	714,2	0,95	488,08	99,42	20,37	488,08	99,42	20,3
14.	716,5	0,95	489,65	99,89	20,40	489,65	99,89	20,4
15.	717,3	0,93	490,20	100,04	20,41	490,20	100,03	20,4
16.	724,1	0,95	494,85	99,95	20,20	494,84	99,94	20,1
17.	728,0	0,95	497,52	99,56	20,01	497,51	99,55	20,0
18.	729,4	0,94	498,47	99,37	19,94	498,47	99,37	19,9
19.	730,1	0,96	498,95	99,11	19,86	498,95	99,11	19,9
20.	731,8	0,93	500,11	99,62	19,92	500,11	99,62	19,9
21.	731,9	0,98	500,18	99,52	19,86	500,18	99,52	19,8
22.	733,7	0,92	501,41	99,27	19,74	501,41	99,27	19,7
23.	736,9	0,93	503,59	99,36	19,72	503,59	99,36	19,7
24.	742,6	0,98	507,49	99,95	19,68	507,49	99,95	19,6
25.	744,1	0,91	508,51	99,36	19,54	508,51	99,35	19,5
26.	748,1	0,93	511,25	99,44	19,43	511,25	99,44	19,4
27.	748,3	0,92	511,39	100,01	19,42	511,38	100,01	19,4
28.	754,1	0,95	515,35	99,82	19,36	515,35	99,82	19,3
29.	754,8	0,93	515,84	99,68	19,32	515,83	99,68	19,3
30.	762,2	0,91	520,88	99,70	19,10	520,88	99,70	19,1
31.	762,6	0,94	521,16	99,33	19,04	521,16	99,33	19,0
32.	762,8	0,93	521,29	99,21	19,01	521,29	99,21	19,0
33.	767,1	0,91	524,24	99,54	18,95	524,23	99,54	18,9
34.	769,2	0,93	525,67	99,09	18,88	525,67	99,09	18,8
35.	771,3	0,95	527,10	99,83	18,86	527,10	99,82	18,8
36.	773,8	0,92	528,82	99,47	18,85	528,81	99,47	18,8
37.	775,7	0,93	530,11	99,99	18,83	530,11	99,99	18,8
38.	782,7	0,94	534,89	99,56	18,63	534,89	99,56	18,6
39.	783,7	0,92	535,58	99,94	18,61	535,58	99,93	18,6
40.	786,9	0,97	537,77	99,94	18,57	537,76	99,94	18,5

No	Irradiance	Fill Factor	Data Hasil Simulasi			Data hasil pengujian		
			Pin (W)	P _{out} (W)	Efisiensi (%)	Pin (W)	P _{out} (W)	Efisiensi (%)
41.	792,3	0,90	541,45	99,99	18,44	541,45	99,99	18,4
42.	793,6	0,93	542,34	99,52	18,33	542,34	99,51	18,3
43.	796,8	0,93	544,53	99,09	18,14	544,53	99,09	18,1
44.	799,5	0,97	546,38	99,87	18,10	546,37	99,87	18,1
45.	812,7	0,94	555,39	100,01	18,00	555,39	100,01	18,0
46.	821,2	0,97	561,20	99,40	17,76	561,20	99,40	17,7
47.	831,4	0,95	568,17	99,49	17,53	568,17	99,49	17,5
48.	835,7	0,96	571,11	100,13	17,52	571,11	100,13	17,5
49.	851,8	0,92	582,12	99,12	17,02	582,12	99,12	17,0
50.	854,0	0,97	583,62	99,54	17,01	583,62	99,54	17,0
51.	864,7	0,88	590,93	99,43	16,86	590,93	99,43	16,8
52.	874,5	0,97	597,63	99,63	16,65	597,63	99,62	16,6
53.	888,7	0,97	607,30	99,13	16,39	607,30	99,13	16,3
54.	892,1	0,87	609,66	98,94	16,27	609,66	98,94	16,2
55.	894,4	0,97	611,23	99,74	16,23	611,23	99,74	16,2
56.	895,4	0,96	611,91	99,64	16,21	611,91	99,64	16,2
57.	898,6	0,98	614,10	99,93	16,21	614,10	99,93	16,2
58.	900,2	0,95	615,18	99,70	16,20	615,19	99,70	16,2
59.	915,4	0,85	625,58	99,00	15,88	625,58	99,00	15,8
60.	935,7	0,95	639,45	99,87	15,67	639,45	99,87	15,6
61.	978,4	0,85	668,63	99,36	14,85	668,63	99,36	14,8
62.	995,8	0,85	680,52	99,11	14,54	680,52	99,11	14,5
63.	996,0	0,84	680,66	99,11	14,53	680,66	99,11	14,5



Gambar 4 Grafik *Irradiance* Hasil Simulasi



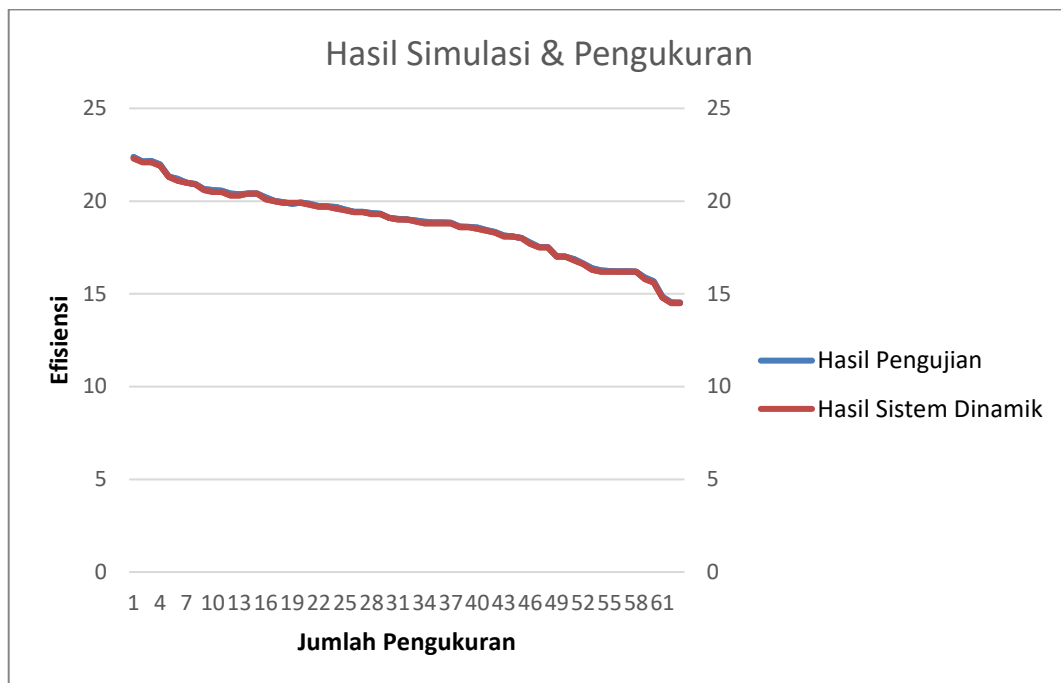
Gambar 5 Grafik Efisiensi Hasil Simulasi

Validasi dari sebuah mode setelah dilakukan simulasi bertujuan untuk mengetahui kesesuaian antara hasil simulasi dengan keadaan yang diproses. Menurut Barlas (1996) terdapat dua proses dari validasi model yang harus dilakukan, yaitu pertama validasi struktur model dan kedua validasi behavior atau perilaku model[16].

Setelah model dari sistem dinamik selesai dibuat, maka langkah berikutnya adalah melakukan pengujian atau validasi pada model tersebut. Validasi model merupakan suatu cara yang dilakukan agar dapat melakukan pengecekan pada model secara konseptual simulasi agar dapat merepresentasikan hasil yang akurat seperti pada keadaan yang diinginkan. Validasi model dapat dilakukan dengan membandingkan kesesuaian antara data yang didapat dari sumber dengan

data dari hasil simulasi. Perbandingan ini perlu dilakukan untuk dapat membuktikan secara nyata pada data dari hasil simulasi yang telah sesuai dengan maka dapat dinyatakan telah valid.

Validitas behavior model merupakan sebuah metode untuk menguji perilaku dari model yang telah disusun, dirancang dan dibuat sehingga model dan kinerja dari model dapat memiliki hasil yang akurat dan maksimal dengan kinerja dari sistem yang nyata sehingga dapat memenuhi seluruh syarat dari sebuah model ilmiah. Validitas perilaku seperti ini dapat dilakukan dengan membandingkan data hasil pengujian secara langsung dengan hasil atau *output* simulasi model. Dalam pemodelan ini juga telah benar dari segi perilaku ketika model tersebut dimasukkan persamaan matematis yang sesuai dengan rumus.



Gambar 6 Grafik hasil pengukuran dan simulasi

Pada gambar 6 dapat dilihat hasil dari data sekunder dan data hasil simulasi memiliki nilai akhir yang hampir sama dan mencapai tingkat validitas yang baik, kemudian dari tiap data sekunder dan hasil simulasi di uji validitas dengan :

$$E1 = \left| \frac{S-A}{A} \right| \times 100\%$$

Dimana : S = Data rata - rata pengukuran

A= Data rata – rata hasil simulasi

Didapatkan pada data hasil simulasi sistem dinamik sebesar 2,6% dan pada data hasil pengukuran sebesar 2%, hal ini dianggap valid menurut “*Multiple Test for Validation of Systems Dynamics Type of Simulation Model*” bahwa model akan dianggap valid bila hasilnya <5%. [14]

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari pembahasan pada penelitian maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada perhitungan hasil dari pengujian dapat dilihat bahwa nilai dari irradiasi matahari akan mempengaruhi efisiensi dari panel surya, nilai daya input yang semakin tinggi akan menyebabkan nilai efisiensi yang menurun jika tidak dibarengi dengan kenaikan daya output, efisiensi dari panel surya akan stabil dan baik pada rentang suhu 34,8°C hingga 49,6°C dengan rata-rata efisiensi sebesar 19,25% dengan uji validitas sebesar 2% dan kemudian terjadi penurunan efisiensi saat suhu melewati dari 50°C ke atas.
2. Pemodelan menggunakan model sistem dinamik pada data sekunder dan hasil dari pengujian mendapatkan rata-rata efisiensi sebesar 18,75% dengan uji validitas sebesar 2,6%. Hasil ini dapat dikatakan valid berdasarkan hasil dari uji validitas “*Multiple Test for Validation of Systems Dynamics Type of Simulation Model*” bahwa model akan dianggap valid bila hasilnya <5%. Sehingga pemodelan dengan Sistem Dinamik ini dapat membantu kita dalam mengambil kebijakan dan skenario untuk penelitian berikutnya.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada LPPM ITPLN dan Institut Teknologi PLN yang telah memberi dukungan yang membantu pelaksanaan penelitian dan atau penulisan artikel.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Samsurizal, A. Makkulau, and C. Christiono, “Analisis Pengaruh Sudut Kemiringan Terhadap Arus Keluaran Pada Photovoltaic Dengan Menggunakan Regretion Quadratic Method,” *Energi & Kelistrikan*, vol. 10, no. 2, pp. 137–144, 2019, doi: 10.33322/energi.v10i2.286.
- [2] R. Mochammad Arif, “Evaluasi Sudut Kemiringan Pada Panel Surya Untuk Mendapatkan Nilai Irradiance Terbaik Dengan Arus Tertinggi,” Jakarta, 2019.
- [3] M. A. Samsurizal, Christiono, “Evaluasi Sudut Kemiringan Terhadap Pengaruh Irradiance Pada Array Photovoltaic Jenis Monocrystalline,” *J. Ilm. Setrum*, vol. 8, no. 1, pp. 28–34, 2019, doi: <http://dx.doi.org/10.36055/setrum.v8i1.5135>.
- [4] A. Makkulau, Samsurizal, and M. Fikri, “Pengaruh Intensitas Matahari Terhadap Karakteristik Sel Surya Jenis Polycrystalline Menggunakan Regresi Linear,” vol. 10, no. 1, pp. 69–76, 2021, doi: 10.33322/kilat.v10i1.994.
- [5] A. Makkulau and Christiono; Samsurizal, “Characteristics of Temperature Changes Measurement on Photovoltaic Surfaces Against Quality of Output Current on Solar Power Plants,” in *2019 International Conference on Technologies and Policies in Electric Power and Energy, TPEPE 2019*, 2019, pp. 20–23, doi: 10.1109/IEEECONF48524.2019.9102630.
- [6] A. S. S. K. Makkulau, “KARAKTERISTIK TEMPERATUR PADA PERMUKAAN SEL SURYA POLYCRYSTALLINE TERHADAP EFEKTIFITAS DAYA KELUARAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA. JURNAL ILMIAH SUTET, 10(2). <https://doi.org/10.33322/sutet.v10i2.1291>,” *Sutet*, vol. 10 No. 2, 2020, doi: 10.33322/sutet.v10i2.
- [7] A. MAKKULAU, K. T. Mauriraya, R. Afrianda, and N. Pasra, “Pengembangan Lampu Jalan

- Umum Dengan Listrik Tenaga Surya Di Desa Cilatak Kecamatan Ciomas Kabupaten Serang Banten,” *Terang*, vol. 3, no. 2, pp. 171–176, 2021, doi: 10.33322/terang.v3i2.1025.
- [8] K. T. Mauriraya, R. Afrianda, A. Fernandes, A. Makkulau, D. P. Sari, and N. Kurniasih, “Edukasi Pemanfaatan PLTS untuk Penerangan Jalan Umum Di Desa Cilatak Kecamatan Ciomas Kabupaten Serang Banten,” *Terang*, vol. 3, no. 1, pp. 92–99, 2020, doi: 10.33322/terang.v3i1.535.
- [9] S. Samsurizal, R. Afrianda, and A. Makkulau, “Simulasi optimalisasi kapasitas pembangkit listrik tenaga surya pada atap gedung Optimization of solar power plant capacity on the roof of the building,” *J. Penelit. Saintek*, vol. 27, no. 1, pp. 31–37, 2022, doi: 10.21831/jps.v1i1.44461.
- [10] R. Samsurizal, Afrianda and A. Makkulau, “Optimizing the Potential of Solar Energy PT PJB UP Muara Karang Rooftop Area Using HelioScope,” *Elkha J. Tek. Elektro*, vol. 14, no. 1, pp. 1–6, 2022, doi: <http://dx.doi.org/10.26418/elkha.v14i1.49910>.
- [11] Samsurizal, H. Husada, A. Makkulau, and Christiono, “Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpusat Di Kecamatan Embaloh Hulu,” *Epsil. J. Electr. Eng. Inf. Technol.*, vol. 18, no. 2, pp. 41–49, 2020.
- [12] A. Makkulau, Andi; Pasra, Nurmiati; Kumala Sultan BP, “Pendeteksi Objek Pada Permukaan Modul Surya Menggunakan Simulasi Perangkat Lunak,” 2022, pp. 93–96, [Online]. Available: <https://eng.unhas.ac.id/electrical/sneti/prosiding/prosiding.html>.
- [13] A. F. M. S. Makkulau, “Pengaruh Iradiasi Matahari Terhadap Arus Keluaran Pada Permukaan Modul Surya Dengan Menggunakan Simulasi Matlab,” 2022, pp. 38–42, [Online]. Available: <https://eng.unhas.ac.id/electrical/sneti/prosiding/prosiding.html>.
- [14] E. Octaviani, Shinta. Suryani, “Simulasi dan Pemodelan Sistem Persediaan Pada Perusahaan Retail Dengan Metode Sistem Dinamik (Studi Kasus : Distribution Center Hypermart Surabaya),” vol. 1, no. 1, pp. 2–7, 2014.
- [15] Sugiyono, *Research Method Quantitative & Qualitative and R&D*. Bandung: PT Alfabet, 2017.
- [16] Y. Barlas, “Formal aspects of model validity and validation in system dynamics,” *Syst. Dyn. Rev.*, vol. 12, no. 3, pp. 183–210, 1996, doi: 10.1007/BF01305369.