

Optimasi *solar tracking system* pada PLTS di lahan pertanian menggunakan *polynomial regression*

Ni'ma Kholila¹, Kumala Mahda Habsari², Citta Anindya³, Kristinanti Charisma⁴

e-mail: lila@akb.ac.id, kumalamahda@pnm.ac.id, citta.anindya@gmail.com, kristinanti@akb.ac.id

¹Program Studi Administrasi Server dan Jaringan Komputer, AKN Putra Sang Fajar Blitar, Indonesia

²Jurusan Teknik, Program Studi Teknik Listrik, Politeknik Negeri Madiun, Indonesia

³Innovative Electronics, Surabaya, Indonesia

⁴Program Studi Penyuntingan Audio dan Video, AKN Putra Sang Fajar Blitar, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diterima 30 September 2024

Direvisi 20 Oktober 2024

Diterbitkan 30 Oktober 2024

Kata kunci:

Mean Squared Error

Optimasi

Regresi Polinomial

Solar Tracking System

ABSTRAK

Berbagai pendekatan baik pendekatan algoritma maupun pendekatan mekanik, telah dilakukan untuk optimasi *Solar Tracking System*. Pada penelitian ini, tema optimasi dikembangkan menggunakan pendekatan *machine learning*. Optimasi diperoleh dengan memanfaatkan pemodelan *polynomial regression* dengan variabel Hours dan Angle sebagai data input dan variabel Voltage sebagai data output. Berdasarkan data historis yang direkam dari penggunaan *Solar Tracking System*, diperoleh hasil berupa optimasi penggunaan *Solar Tracking System*. Hasil implementasi model *polynomial regression* diuji menggunakan *mean squared error* dan menunjukkan nilai error dalam kategori baik. Model *polynomial regression* orde 3 ini cocok untuk memprediksi *Voltage* berdasarkan *Hours* dan *Angle*. Dengan dataset yang memadai, model ini dapat memberikan prediksi yang akurat tentang kondisi optimal untuk menghasilkan tegangan maksimum. Dengan memanfaatkan hasil optimasi, diharapkan penggunaan *Solar Tracking System* menjadi lebih optimal dan dapat dimanfaatkan secara maksimal guna meningkatkan produktivitas lahan pertanian.

ABSTRACT

Various approaches, both algorithmic and mechanical approaches, have been carried out to optimize the Solar Tracking System. In this research, the optimization theme was developed using a machine learning approach. Optimization is obtained by utilizing polynomial regression modeling with Hours and Angle variables as input data and Voltage variables as output data. Based on historical data recorded from the use of the Solar Tracking System, results were obtained in the form of optimization of the use of the Solar Tracking System. The results of implementing the polynomial regression model were tested using mean squared error and showed error values in the good category. This 3rd order polynomial regression model is suitable for predicting Voltage based on Hours and Angle. With sufficient datasets, this model can provide accurate predictions about optimal conditions to produce maximum stress. By utilizing the optimization results, it is hoped that the use of the Solar Tracking System will be more optimal and can be utilized optimally to increase agricultural land productivity.

Penulis Korespondensi:

Ni'ma Kholila,

Program Studi Administrasi Server dan Jaringan Komputer,

Akademi Komunitas Negeri Putra Sang Fajar Blitar,

Jl. dr. Sutomo No. 29, Blitar, Jawa Timur, Indonesia.

Email: lila@akb.ac.id

1. PENDAHULUAN

Inovasi teknologi pertanian erat hubungannya dengan kebutuhan sumber energi yang sangat besar dan berpotensi sebagai salah satu penghasil gas rumah kaca, sebagaimana tertulis dalam [1]. Salah satu solusi adalah pengaplikasian pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) sebagai salah satu sumber energi terbarukan yang melimpah dan minim dampak lingkungan, seperti pada [2][3]. Berdasarkan referensi [4], PLTS merupakan sumber energi terbaik karena dapat dihasilkan pada hampir seluruh permukaan di bumi, bebas polusi, dan hemat biaya. Meskipun berasal dari sumber yang melimpah, optimasi diperlukan untuk mengoptimalkan penyerapan energi surya oleh solar panel. Bentuk optimasi sangat beragam, mulai dari peningkatan jumlah kapasitas seperti pada [5], peningkatan jumlah solar panel seperti pada [6], hingga penggunaan pendekatan teknologi lainnya seperti pada [7].

Salah satu upaya optimasi kerja PLTS menggunakan *solar tracker* untuk memaksimalkan penyerapan cahaya oleh panel surya. Optimalisasi *solar tracker* pada PLTS dapat dilakukan menggunakan *machine learning*. Machine learning melibatkan proses perancangan dan pengembangan algoritma yang membolehkan sistem untuk belajar dari data sejarah dengan cara yang memungkinkan peningkatan kinerja secara otomatis sebagaimana referensi [8]. Metode statistik termasuk model *polynomial regression*, dapat diterapkan untuk memproyeksikan produksi energi matahari dalam suatu wilayah pada periode waktu tertentu, seperti pada [9][10]. Untuk mengembangkan optimalisasi *solar tracker*, peneliti melakukan optimasi *solar tracking system* pada PLTS di lahan pertanian menggunakan metode *Polynomial Regression*

Beberapa pengembangan *solar tracker* PLTS serta penerapan metode untuk optimalisasi solar tracking PLTS ditunjukkan dengan beberapa referensi penelitian terdahulu pada Tabel 1. berikut:

Tabel 1. Penelitian Terdahulu

Judul Penelitian	Hasil Penelitian
Advances in solar photovoltaic tracking systems: A review [11]	Banyak faktor lingkungan seperti lokasi geografis penyinaran matahari, suhu dan cuaca lingkungan, serta sudut datang matahari dapat mempengaruhi penyerapan energi. Pengembangan <i>solar tracker</i> menjadi tantangan terbesar dalam mencapai efisiensi dan performa <i>solar photovoltaic</i> .
Solar tracking methods to maximize PV system output – A review of the methods adopted in recent decade [12]	Diantara beberapa tracking methods yang diujicobakan, active trackers with dual-axis system merupakan tracking methods dengan performa terbaik, cepat dan efektif dalam proses penyerapan energi.
Photovoltaic system optimization by new maximum power point tracking (MPPT) models based on analog components under harsh condition [13]	Sistem MPPT analog dapat bekerja dalam kondisi yang buruk dengan respon cepat terhadap variasi penyinaran matahari dalam rentang suhu yang luas dan radiasi matahari yang intens. Dengan struktur yang stabil, MPPT analog merupakan kandidat kompetitif untuk optimalisasi sistem PV dalam berbagai aplikasi.
Research on the maximum power point tracking method of photovoltaic based on Newton interpolation- assisted particle swarm algorithm [14]	Peningkatan kapasitas algoritma particle swarm optimization dilakukan untuk melakukan pelacakan titik daya maksimum pada photovoltaic dengan lebih cepat dan akurat, jika dibandingkan dengan algoritma particle swarm optimization konvensional.
Rancang Bangun Dual-Axis <i>Solar tracker</i> menggunakan Mikrokontroler Arduino Mega 2560 [15]	<i>Solar tracker</i> mekanik yang dibangun dapat dikendalikan dan digerakkan sesuai kebutuhan menggunakan rancangan sistem elektrik yang dikelola oleh mikrokontroler.
Optimization of Single-Axis Tracking of Photovoltaic Modules for Agrivoltaic Systems [16]	Mengeksplorasi <i>single-axis tracking</i> pada PV untuk dapat memberikan keseimbangan sinar matahari yang tepat antara PV dan tanaman dengan dua orientasi arah yang berbeda yaitu Barat-Timur dan Utara-Selatan. Dengan pemodelan variasi bayangan jatuh (drop shadows) pada tanaman

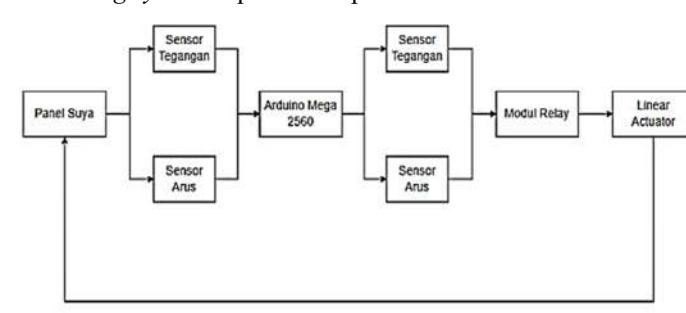
Judul Penelitian	Hasil Penelitian
Perancangan Dual-Axis <i>Solar tracker</i> untuk PLTS dengan Analisis Pengaruh Jumlah Sensor dan <i>Tracking Delay</i> [17]	<p>dan kebutuhan <i>photosynthetically active radiation</i> (PAR). Algoritma yang optimal memastikan bahwa PAR yang tersedia untuk tanaman tetap mendekati PAR yang dibutuhkan sehingga kelebihan sinar matahari dapat dipanen oleh PV.</p> <p>Sebuah dual-axis <i>solar tracker</i> menggunakan mikrokontroler dipasang dengan sensor Light Dependent Resistor (LDR), dan motor servo. Penelitian ini menganalisis pengaruh jumlah sensor dan tracking delay untuk mengetahui daya keluaran panel surya dengan konfigurasi yang berbeda. Selama pengujian didapatkan bahwa dual-axis solar tracker menghasilkan daya 16,89% lebih besar dari pada sudut kemiringan 30 derajat dan 11,42% lebih besar daripada sudut 0 derajat.</p>
Optimization a Small Scale Dual-Axis Solar Tracking System using Nanowatt Technology [18]	<p>Panel surya diposisikan terlebih dahulu di utara, timur, barat atau selatan. Kemudian susunan PV akan secara otomatis mencari dan berhenti pada arus tertinggi yang diperoleh oleh PV. Perpindahan ini terjadi setiap 30 menit dari pukul 06.00 hingga pukul 18.00. Pada tiap perpindahan posisi, nilai arus, tegangan dan daya akan diukur. Desain difokuskan pada berbagai aplikasi dalam pengaturan pertanian kecil dengan kipas, inkubator, motor pompa akuarium dan pencahayaan. Penelitian ini berfokus pada konsep teknik tenaga surya untuk pmbangkitan listrik.</p>

Berbagai pendekatan baik pendekatan algoritma maupun pendekatan mekanik, telah dilakukan. Pada penelitian ini, peneliti menggunakan algoritma *machine learning* sebagai salah satu pendekatan optimasi *solar tracker system* pada PTLIS dual axis. Berdasarkan literatur review yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya, penggunaan algoritma machine learning merupakan salah satu pilihan optimasi yang paling efisien dikerjakan dengan biaya yang lebih hemat (karena tidak membutuhkan perangkat tambahan lain untuk kebutuhan optimasi), tingkat adaptasi yang lebih tinggi terhadap perubahan kondisi lingkungan, serta tingginya tingkat akurasi dengan harapan nilai optimasi yang berkelanjutan.

Dalam optimasi *solar tracking system*, peneliti menggunakan model *polynomial regression*. Beberapa alasan penggunaan model *polynomial regression* adalah kemampuan *polynomial regression* dalam menangkap nonlinieritas dalam hubungan antara variabel respon dan variabel prediktor, peningkatan akurasi model, *polynomial regression* dapat disesuaikan agar sesuai dengan kebutuhan spesifik analisis, sehingga diperoleh *solar tracking* yang lebih akurat untuk titik data baru yang tidak disertakan dalam kumpulan data asli sekalipun. Selain untuk memutakhirkan upaya pengembangan *solar tracker*, penggunaan *machine learning* diharapkan mampu mengoptimalkan kinerja *solar tracker* lebih maksimal.

2. METODE PENELITIAN

Optimasi *Solar Tracking System* pada PLTS akan dirancang untuk diaplikasikan pada Lahan Pertanian. Pada penelitian ini, akan dirancang rangkaian *solar tracker* dengan memanfaatkan penyerapan energi oleh panel surya. *Solar tracker* yang dirancang adalah jenis *solar tracker* dual axis dimana bergerak menggunakan dua motor berupa *linear actuator*. Pada prinsipnya, solar panel dipasang dalam kondisi tetap sebagai pembanding dari *solar tracker* kronologis. *Solar tracker* kronologis dikontrol penuh melalui sistem AI menggunakan mikrokontroler dan raspberry pi menggunakan metode *Polynomial Regression*. Secara lebih jelas diagram kerja *solar tracking system* dapat dilihat pada Gambar 1. di bawah ini :



Gambar 1. Diagram Kerja Solar Tracking System

Metode regresi polinomial/*polynomial regression* diterapkan untuk mencari pemodelan algoritma yang memfokuskan pada optimasi *Solar Tracking System* (STS). Pemodelan ini dapat digunakan untuk memaksimalkan penerimaan cahaya matahari sepanjang hari. Model *polynomial regression* diolah dari dataset yang telah dimiliki. Model ini dapat disesuaikan untuk memprediksi secara lebih akurat pergerakan matahari dan mengoptimalkan penyesuaian posisi panel surya dengan mengikuti pola tersebut di setiap jam. Sehingga *solar tracking system* dapat meningkatkan efisiensi pengumpulan energi surya secara maksimal.

Langkah pertama dalam pendekatan ini adalah mengumpulkan data historis terkait performa PLTS di lokasi tersebut. Data ini mencakup variabel-variabel seperti intensitas cahaya matahari, suhu lingkungan, dan produksi energi listrik berupa tegangan. Selanjutnya, analisis regresi polinomial dilakukan untuk mengidentifikasi pola-pola yang mungkin terdapat dalam hubungan antara variabel-variabel ini.

Adapun tahapan metode yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan Gambar 2. berikut:



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

1. Identifikasi variabel, adapun variabel yang menentukan sistem kerja *Solar Tracking System* (STS) antara lain intensitas cahaya matahari, suhu lingkungan, arah angin, dan posisi matahari.
2. Pengumpulan data, mengumpulkan data historis yang diperoleh meliputi waktu, arah/derajat kemiringan, dan tegangan diperoleh. Data historis yang dimaksud diperoleh dan direkam dari pemasangan PLTS. Data diambil dari pukul 06.00 hingga 18.00 WIB. Setiap 60 menit, solar panel akan diarahkan pada sudut 0°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150°, dan 180°. Masing-masing akan direkam jumlah tegangan yang diperoleh.
3. Preprocessing data, membersihkan dan mengolah data untuk menangani nilai-nilai yang hilang atau outliers. Kemudian menormalisasi data jika diperlukan untuk memastikan setiap variabel memiliki bobot yang sebanding dalam suatu model.
4. Pemilihan model *Polynomial Regression*, memilih derajat polinomial yang sesuai untuk model *Polynomial Regression* serta mengeksplorasi berbagai tingkat derajat untuk kinerja model. Setelah itu, menentukan apakah model *polynomial regression* univariat atau multivariat yang sesuai untuk STS.
5. Pembagian data, menjadi dua bagian yaitu data pelatihan dan data pengujian. Data Pelatihan akan digunakan untuk melatih model dan data pengujian digunakan untuk menguji kinerja model.
6. Pelatihan model, menggunakan data pelatihan untuk melatih model *Polynomial Regression* dan menyesuaikan parameter model untuk mencapai kinerja yang optimal.
7. Validasi model, menggunakan data pengujian untuk memastikan generalisasi yang baik dan menggunakan *mean squared error* untuk menilai performa model. *Mean squared error* secara umum digunakan untuk mengecek estimasi berapa nilai kesalahan pada peramalan. Selain itu, *mean squared error* sering kali dimanfaatkan dalam evaluasi metode pengukuran dengan model regresi.
8. Implementasi model pada STS, menerapkan model *Polynomial Regression* yang telah dilatih pada sistem kontrol STS dan menyesuaikan setiap parameter atau aturan kontrol berdasarkan prediksi model.
9. Pengukuran efisiensi PLTS, memantau dan merekam data efisiensi PLTS sebelum dan setelah implementasi STS yang dioptimalkan serta membandingkan hasilnya untuk mengevaluasi dampak dari optimasi STS.
10. Fine-Tuning, jika dalam praktiknya diperlukan, perlu adanya fine-tuning pada model atau pengaturan STS untuk meningkatkan kinerja dan mempertimbangkan melakukan iterasi pada proses ini berdasarkan evaluasi kinerja secara berkala.
11. Analisa hasil, untuk memahami faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja PLTS setelah optimasi STS dan mengidentifikasi apakah ada keuntungan signifikan dalam efisiensi energi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, variabel yang digunakan dalam optimasi *Solar Tracking System* (STS) yaitu waktu, arah/derajat kemiringan, dan tegangan. Tujuan dari pemodelan adalah untuk memprediksi tegangan yang dihasilkan oleh panel surya berdasarkan waktu dan sudut kemiringan. pemodelan menggunakan *polynomial regression* orde 3.

Pengumpulan data, mengumpulkan data historis mencakup waktu (*hours*), derajat kemiringan (*angles*), dan tegangan (*voltage*), sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 3. berikut:

```
import pandas as pd
data = pd.read_csv('datasets/solar_tracker_generated.csv')
print(data)
```

Unnamed: 0	hour	angle	voltage
0	0	6	0 1.879183
1	1	6	30 1.132039
2	2	6	60 0.321187
3	3	6	90 0.306121
4	4	6	120 0.187761
...
86	86	18	60 1.157423
87	87	18	90 3.994562
88	88	18	120 6.515675
89	89	18	150 7.091866
90	90	18	180 6.966025

[91 rows x 4 columns]

Gambar 3. Data Historis

Preprocessing data, Sebelum melakukan training model, data perlu dipersiapkan dalam format yang sesuai untuk regresi polinomial. Data Input: *Hours* dan *Angle* digabungkan menjadi satu matriks fitur 2D. Target Output: *Voltage* merupakan target yang ingin diprediksi. Regresi polinomial pada data ini dilakukan dengan orde 3, sehingga model akan mencoba menemukan hubungan polinomial tingkat 3 antara *Hours*, *Angle*, dan *Voltage*. Untuk melakukan ini, digunakan *PolynomialFeatures* dari library *scikit-learn*, yang akan mengubah fitur input menjadi bentuk polinomial. Pembagian data, menjadi dua bagian yaitu data pelatihan dan data pengujian. Data Pelatihan akan digunakan untuk melatih model dan data pengujian digunakan untuk menguji kinerja model. Model regresi polinomial akan dilatih menggunakan data yang telah dilakukan preprocessing. Pada tahap ini, model akan mempelajari hubungan antara *Hours*, *Angle*, dan *Voltage*, lalu menghasilkan model yang dapat memprediksi tegangan berdasarkan input jam dan sudut.

Pelatihan model, menggunakan data pelatihan untuk melatih model *Polynomial Regression* dan menyesuaikan parameter model untuk mencapai kinerja yang optimal, sebagaimana diimplementasikan dalam kode pada Gambar 4.:

```
import numpy as np
import pandas as pd
import joblib
from sklearn.preprocessing import PolynomialFeatures
from sklearn.linear_model import LinearRegression
from sklearn.pipeline import make_pipeline
data = pd.read_csv('datasets/solar_tracker_generated.csv')
xin = data[['angle', 'hour']]
yin = data[['voltage']]
n = 3
model = make_pipeline(PolynomialFeatures(degree=n), LinearRegression())
model.fit(xin, yin)
joblib.dump(model, 'models/model_solar_tracker.pkl')
y_pred = model.predict(xin)
y_pred = pd.DataFrame(y_pred)
print("Nilai prediksi:", y_pred)
```

Nilai prediksi:	0
0	1.478939
1	1.274910
2	1.169108
3	0.933868
4	0.341526
...	...
86	2.409369
87	4.920928
88	6.678152
89	7.453376
90	7.018935

[91 rows x 1 columns]

Gambar 4. Kode Implementasi

Implementasi model pada STS, menerapkan model *Polynomial Regression* yang telah dilatih pada sistem kontrol STS dan menyesuaikan setiap parameter atau aturan kontrol berdasarkan prediksi model.

```
import numpy as np
import pandas as pd
import joblib
from datetime import datetime
model = joblib.load('models/model_solar_tracker.pkl')
current_time = datetime.now()
int_time = current_time.hour + (current_time.minute / 60)
def get_angle_suggestion(hour, return_expected_voltage = False):
    x = []
    for i in range(0,180):
        x.append([i, hour])
    X = pd.DataFrame(x, columns=['angle', 'hour'])
    y = model.predict(X)
    if return_expected_voltage: return np.argmax(y), max(y)[0]
    else: return np.argmax(y)
angle_suggestion, expected_voltage = get_angle_suggestion(int_time, True)
```

Gambar 5. Implementasi Model pada STS

Adapun hasil penerapan model *Polynomial Regression* yang telah dilatih pada sistem kontrol STS dengan menyesuaikan setiap parameter atau aturan kontrol berdasarkan prediksi model, diperoleh data hasil sebagai berikut:

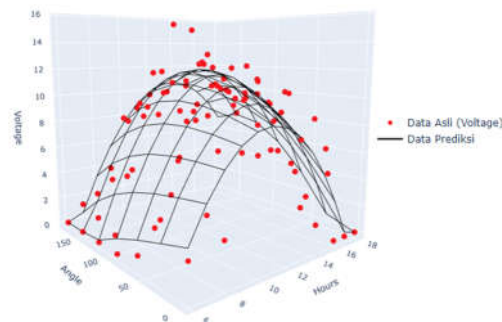
Tabel 2. Hasil Optimasi *Solar Tracking System*

No	Timestamp	Saran Sudut	Ekspektasi Tegangan	No	Timestamp	Saran Sudut	Ekspektasi Tegangan
1	06:00:00	0	1,652089	26	12:15:00	110	12,0718
2	06:15:00	0	2,244223	27	12:30:00	112	12,21637
3	06:30:00	0	2,8124	28	12:45:00	114	12,33282
4	06:45:00	0	3,355979	29	13:00:00	116	12,42061
5	07:00:00	0	3,87432	30	13:15:00	118	12,47923
6	07:15:00	0	4,366782	31	13:30:00	120	12,50817
7	07:30:00	0	4,832725	32	13:45:00	122	12,50691
8	07:45:00	48	5,338002	33	14:00:00	124	12,47492
9	08:00:00	56	5,875486	34	14:15:00	126	12,4117
10	08:15:00	62	6,401872	35	14:30:00	128	12,31673
11	08:30:00	67	6,913709	36	14:45:00	129	12,18962
12	08:45:00	72	7,408987	37	15:00:00	131	12,02983
13	09:00:00	76	7,886183	38	15:15:00	133	11,83678
14	09:15:00	79	8,344281	39	15:30:00	135	11,60993
15	09:30:00	82	8,782203	40	15:45:00	137	11,34878
16	09:45:00	85	9,199217	41	16:00:00	138	11,05301
17	10:00:00	88	9,59459	42	16:15:00	140	10,72209
18	10:15:00	91	9,967587	43	16:30:00	142	10,35535

No	Timestamp	Saran Sudut	Ekspektasi Tegangan	No	Timestamp	Saran Sudut	Ekspektasi Tegangan
19	10:30:00	94	10,31748	44	16:45:00	144	9,95227
20	10:45:00	96	10,64376	45	17:00:00	145	9,512661
21	11:00:00	99	10,94572	46	17:15:00	147	9,035855
22	11:15:00	101	11,22293	47	17:30:00	149	8,521195
23	11:30:00	103	11,47462	48	17:45:00	150	7,968349
24	11:45:00	106	11,70031	49	18:00:00	152	7,377002
25	12:00:00	108	11,8996				

Tabel 2 menunjukkan hasil optimasi *Solar Tracking System* yang direkam setiap 15 menit dalam kurun waktu 12 jam, dimulai dari jam 06.00 - 18.00 WIB. Hasil optimasi menunjukkan saran sudut yang menghasilkan tegangan optimal.

Berikut adalah Gambar 6. model yang dibuat (garis *meshgrid* hitam) berdasarkan pengambilan data solar panel (titik-titik merah) :



Gambar 6. Model *Polynomial Regression*

Gambar ini menunjukkan model prediksi tegangan (*Voltage*) pada panel surya berdasarkan waktu (*Hours*) dan sudut orientasi panel surya (*Angle*). Dalam grafik, titik merah mewakili data aktual hasil pengukuran tegangan pada berbagai waktu dan sudut, sedangkan kurva mesh hitam menunjukkan hasil prediksi dari model. Sebaran data aktual menunjukkan bahwa tegangan dipengaruhi oleh posisi matahari sepanjang hari, dengan nilai tegangan tertinggi terjadi pada waktu tertentu, biasanya di sekitar tengah hari, dan pada sudut panel yang optimal. Kurva mesh hitam, yang dihasilkan dari model prediksi, secara umum berhasil menangkap pola distribusi tegangan pada data aktual, meskipun terdapat beberapa penyimpangan kecil di beberapa titik.

Validasi model, menggunakan data pengujian untuk memastikan generalisasi yang baik dan menggunakan *mean squared error* sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 7. berikut:

```
from sklearn.metrics import mean_squared_error
mse = mean_squared_error(yin, y_pred)
print(f"Mean Squared Error: {mse}")
```

Mean Squared Error: 0.6585130301826737

Gambar 7. *Mean Squared Error*

Evaluasi akurasi model menggunakan Mean Squared Error (MSE) menghasilkan nilai sebesar 0.6585. Nilai ini menunjukkan rata-rata kuadrat selisih antara nilai aktual dan nilai prediksi, di mana nilai yang lebih kecil menunjukkan performa model yang lebih baik. Dengan MSE sebesar 0.6585, dapat disimpulkan bahwa model memiliki akurasi yang cukup baik dalam memprediksi tegangan berdasarkan waktu dan sudut panel surya. Meskipun terdapat beberapa perbedaan antara data aktual dan prediksi, model ini tetap dapat diandalkan untuk memberikan gambaran pola tegangan yang cukup akurat. Dengan demikian, model ini dapat digunakan sebagai panduan untuk menyesuaikan sudut panel surya secara dinamis sepanjang hari guna mengoptimalkan tegangan yang dihasilkan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan data historis yang diperoleh dari penggunaan *Solar Tracking System*, diperoleh hasil berupa optimasi penggunaan *Solar Tracking System*. Optimasi diperoleh menggunakan pemodelan *polynomial regression* dengan variabel *Hours* dan *Angle* sebagai data input dan variabel *Voltage* sebagai data output. Hasil implementasi model *polynomial regression* diuji menggunakan *mean squared error* dalam kategori baik.

Model *polynomial regression* orde 3 ini cocok untuk memprediksi *Voltage* berdasarkan *Hours* dan *Angle*. Dengan dataset yang memadai, model ini dapat memberikan prediksi yang akurat tentang kondisi optimal untuk menghasilkan tegangan maksimum. Dengan memanfaatkan hasil optimasi, diharapkan penggunaan *Solar Tracking System* menjadi lebih optimal dan dapat dimanfaatkan secara maksimal guna meningkatkan produktivitas lahan pertanian.

Sebagaimana tujuan penggunaan algoritma machine learning, yaitu optimasi berkelanjutan, maka penelitian ini masih dapat dikembangkan dengan memanfaatkan data histori yang berasal dari implementasi hasil optimasi *solar tracker system* sebelumnya. Data histori dapat kembali dimanfaatkan untuk kegiatan optimasi berikutnya menggunakan pendekatan *machine learning* lainnya. Sehingga diharapkan dapat memperoleh hasil optimasi yang jauh lebih optimal.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Artikel ini ditulis oleh tim berdasarkan hasil penelitian “Optimasi *Solar Tracking System* pada PLTS di Lahan Pertanian menggunakan *Polynomial Regression*” yang dibiayai melalui Program Hibah Penelitian Dosen Pemula melalui platform BIMA oleh Direktorat Akademik Pendidikan Tinggi Vokasi Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia. Isi sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Farajian L, Moghaddasi R, Hosseini S. Agricultural energy demand modeling in Iran: Approaching to a more sustainable situation. *Energy Reports*. 2018 Nov; 4: 260–5, <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2018.03.002>.
- [2] Hazboun SO, Howe PD, Layne Coppock D, Givens JE. The politics of decarbonization: Examining conservative partisanship and differential support for climate change science and renewable energy in Utah. *Energy Research & Social Science*. 2020 Dec;70:101769, DOI:10.1016/j.erss.2020.101769.
- [3] S. Aroonsrimorakot, M. Laiphrakpam, W. Paisantanakij Solar panel energy technology for sustainable agriculture farming: A review. [Internet]. 2020 [cited 2024 Jan 15]; Available from: <https://repository.li.mahidol.ac.th/handle/123456789/59826>
- [4] Sayam Aroonsrimorakot, Meena Laiphrakpam. Application of solar energy technology in agricultural farming for sustainable development: a review article. *International Journal of Agricultural Technology*. 2019 Jan 1;15(5):685–692. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/341251208>
- [5] Partaonan Harahap, Adam M, Oktrialdi B. Optimasi Kapasitas Rooftop Pv Off Grid Energi Surya Berakselerasi di Tengah Pandemi Covid-19 untuk Diimplementasikan pada Rumah Tinggal. *Resistor*. 2022 May 28;5(1):31–1, <https://doi.org/10.24853/resistor.5.1.31-38>.
- [6] Aldian Dwi Putra, Ali Basrah Pulungan, Ichwan Yelfianhar. Optimalisasi Penyerapan Energi Matahari Menggunakan Sistem Solar Tracking Dua Sumbu. *JTEV (Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional)* [Internet]. 2020 [cited 2024 Aug 28];6(2):187–97. Available from: <https://ejournal.unp.ac.id/index.php/jtev/article/view/108552/103597>
- [7] Muhammad Zainal Rois, Riska Fitri Lestari, Bambang Sri Kaloko, Adi Mulyadi. Maximum Power Point Tracking (MPPT) sebagai Pelacak Daya Puncak pada Panel Surya untuk Optimasi Pengisian Baterai. *Jurnal Arus Elektrok Indonesia* [Internet]. 2022 Aug 21 [cited 2024 Aug 28];8(2):56–6, DOI: <https://doi.org/10.19184/jaei.v8i2.32586>.
- [8] El-Aal S, Maha A, Alqabli, Naim A. FORECASTING SOLAR PHOTOVOLTAIC ENERGY PRODUCTION USING LINEAR REGRESSION-BASED TECHNIQUES. 2023;101(9). Available from: <http://www.jatit.org/volumes/Vol101No9/9Vol101No9.pdf>
- [9] Pavan A, Kalogirou SA, Davide De Pieri, Somchai Wongwises. A comparison between BNN and regression polynomial methods for the evaluation of the effect of soiling in large scale photovoltaic plants. 2013 Aug 1;108:392–401, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.03.023>.
- [10] Panda G, Naayagi RT, Mishra S. *Sustainable Energy and Technological Advancements*. Springer Nature; 2022, ISBN 9811690332.
- [11] AL-Rousan N, Isa NAM, Desa MKM. Advances in solar photovoltaic tracking systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018 Feb;82:2548–69, DOI: 10.1016/j.rser.2017.09.077.
- [12] Sumathi V, Jayapragash R, Bakshi A, Kumar Akella P. Solar tracking methods to maximize PV system output – A review of the methods adopted in recent decade. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017 Jul;74:130–8, DOI:10.1016/j.rser.2017.02.013.
- [13] Minh Long Hoang. Photovoltaic system optimization by new maximum power point tracking (MPPT) models based on analog components under harsh condition. *Energy harvesting and systems*. 2019 Jul 1;6(3-4):57–67, DOI:10.1515/ehs-2020-0001.

-
- [14] Wei L, Li K. Research on the maximum power point tracking method of photovoltaic based on Newton interpolation-assisted particle swarm algorithm. *Clean energy*. 2022 Jun 1;6(3):496–502, <https://doi.org/10.1093/ce/zkac028>.
- [15] Hakim TD, Sukma M. Rancang Bangun Dual-axis *Solar tracker* Menggunakan Mikrokontroler Arduino Mega 2560. *Jurnal Elektro*. 2022 Jul 15;10(2):106–118, ISSN: 2302–4712..
- [16] H. Imran, M. H. Riaz, and N. Z. Butt, “Optimization of Single-Axis Tracking of Photovoltaic Modules for Agrivoltaic Systems,” *Conf. Rec. IEEE Photovolt. Spec. Conf.*, vol. 2020-June, pp. 1353–1356, 2020, doi: 10.1109/PVSC45281.2020.9300682.
- [17] Dewanto, M. Ridho, Priyanto, Yun T.K., dan Salim, Thomas D.P. Perancangan Dual-Axis *Solar tracker* untuk PLTS dengan Analisis Pengaruh Jumlah Sensor dan Tracking Delay. *Jurnal Sistem Informasi dan Teknologi*. 2022 des; Vol.4(4), <https://doi.org/10.37034/jsisifotek.v4i4.181>.
- [18] J. R. B. del Rosario, R. C. Gustilo, and E. P. Dadios, “Optimization of A Small Scale Dual-Axis Solar Tracking System Using Nanowatt Technology,” *J. Autom. Control Eng.*, vol. 2, no. 2, pp. 134–137, 2014, doi: 10.12720/joace.2.2.134-137