



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**PREDIKSI DAYA KELUARAN PV PADA MUSIM
PANCAROA BERBASIS MODEL BILSTM DENGAN
MEKANISME ATTENTION**

TESIS

Diajukan oleh :
Muhammad Imam Rafi
NIM : 2309511010

PROGRAM STUDI

MAGISTER TERAPAN TEKNIK ELEKTRO

REKAYASA KONTROL INDUSTRI

PASCA SARJANA POLITEKNIK NEGERI JAKARTA DEPOK

JULI 2025



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis ini saya susun tanpa tindakan plagiarisme sesuai dengan peraturan yang berlaku di Politeknik Negeri Jakarta.

Jika di kemudian hari ternyata saya melakukan tindakan plagiarisme, saya akan bertanggung jawab sepenuhnya dan menerima sanksi yang diajukan oleh Politeknik Negeri Jakarta kepada saya.

Depok, 14 Juli 2025

Muhammad Imam Rafi

NIM 2309511010



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa
tesis yang saya susun ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik
yang dikutip maupun yang dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Muhammad Imam Rafi

NIM : 2309511010

Tanda Tangan :

Tanggal : 14 Juli 2025

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis yang diajukan oleh:

Nama : Muhammad Imam Rafi

NIM : 2309511010

Program Studi : Magister Terapan Teknik Elektro – Rekayasa Kontrol Industri

Judul : Prediksi Daya Keluaran PV Pada Musim Pancaroba Berbasis Model BiLSTM Dengan Mekanisme *Attention*

Telah diuji oleh Tim Penguji dalam Sidang Tesis pada hari senin tanggal 14 Juli tahun 2025 dan dinyatakan **LULUS** untuk memperoleh derajat gelar Magister Terapan pada Program Studi Magister Terapan Teknik Elektro Politeknik Negeri Jakarta.

Disetujui oleh :

Pembimbing I : Nana Sutarna, S.T., M.T., Ph.D

(*Nana Sutarna*)

Pembimbing II : Dr. Prihatin Oktivasari, S.Si., M.Si.

(*Prihatin Oktivasari*)

Penguji I : Dr. Isdawimah, S.T., M.T.

(*Isdawimah*)

Penguji II : Dr. Murie Dwiyaniti, S.T., M.T.

(*Murie Dwiyaniti*)

Penguji III : Mera Kartika Delimayanti, S.Si., M.T., Ph.D.

(*Mera Kartika Delimayanti*)

Diketahui oleh

Ketua Program Pascasarjana Politeknik Negeri Jakarta



Dr. Isdawimah, S. T., M. T.

NIP. 196305051988112001



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas rahmat dan ridho Allah SWT yang telah memberikan karunia kesehatan, waktu, ilmu, kekuatan dan kesempatan, sehingga dapat menyelesaikan Tesis kami yang berjudul “Prediksi Daya Keluaran PV Pada Musim Pancaroba Berbasis Model BiLSTM Dengan Mekanisme *Attention*”. Tesis ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Magister Terapan Teknik Elektro Politeknik Negeri Jakarta.

Dalam proses pembuatan tesis ini tidak luput dari keterlibatan beberapa pihak sehingga dapat diselesaikan. Untuk itu saya ber terima kasih kepada :

1. Kedua Orang tua kami Ayah **Ir. Nahwalloh HS**, Ibunda **Eulis Lisdasari A.Md.A.B.** Serta kakak dan keluarga besar, yang selalu memberikan dukungan moril, motivasi dan do’a yang tidak terhingga.
2. Bapak **Nana Sutarna, S.T., M.T., Ph.D.** selaku Ketua Program Studi Magister Terapan Teknik Elektro Politeknik Negeri Jakarta sekaligus sebagai dosen pembimbing 1.
3. Ibu **Dr. Prihatin Oktivasari, S.Si., M.Si.** selaku dosen pembimbing 2, yang telah memberikan bimbingan dan dukungan dalam penyusunan tesis ini.
4. Ibu **Dr. Isdawimah, S.T., M.T.** selaku Ketua Program Pasca Sarjana Politeknik Negeri Jakarta yang telah memberikan kesempatan mengikuti program beasiswa selama berkuliah.
5. Bapak **Ir. Christianto Tjahyadi, M.Tr.T** selaku Pembimbing Ekstrenal dan Praktisi di bidang Deep Learning yang telah memberikan banyak ilmu, wawasan, serta bimbingan publikasinya yang sangat berarti selama proses penelitian ini.
6. Segenap Dosen dan Staff Program Studi Magister Terapan Teknik Elektro atas kontribusinya baik secara langsung, maupun tidak langsung yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu selama menjalani perkuliahan dan penyusunan tesis ini.
7. **Muhamad Taufik Kurohman S.Tr.T.** yang meminjamkan laptop nya dalam penyusunan Tesis ini serta rekan – rekan Program Studi Magister Terapan Teknik Elektro, Program Pascasarjana Politeknik Negeri Jakarta.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Hasil penelitian ini tentu masih sangat banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan saran dan masukan yang dapat memperkaya keilmuan di dalam laporan tesis ini.

Semoga tulisan tesis ini dapat bermanfaat bagi kita semua akademika, khususnya bagi penulis dan masyarakat pada umumnya, karena sebaik – baiknya ilmu adalah ilmu yang bermanfaat bagi orang lain.

Depok, 14 Juli 2025

Muhammad Imam Rafi





© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIK

Sebagai civitas akademik Politeknik Negeri Jakarta, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muhammad Imam Rafi
NIM : 2309511010
Program Studi : Magister Terapan Teknik Elektro – Rekayasa Kontrol Industri
Jenis Karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Politeknik Negeri Jakarta Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Rights*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Prediksi Daya Keluaran PV Pada Musim Pancaroba Berbasis Model BiLSTM
Dengan Mekanisme *Attention*

Beserta perangkat yang ada. Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Politeknik Negeri Jakarta berhak menyimpan, mengalihmediakan/mengalihformatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Depok, 10 Juli 2025

Muhammad Imam Rafi
2309511010



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

ABSTRAK

Daya yang dihasilkan PV sangat bergantung pada intensitas radiasi matahari yang keberadaannya sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca dan iklim. Di musim pancaroba, intensitas cahaya matahari sangat fluktuatif yang berdampak pada daya keluaran PV yang tidak stabil dan sulit diprediksi. Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi daya keluaran PV jangka pendek pada musim pancaroba menggunakan model *deep learning Bidirectional Long Short-Term Memory* (BiLSTM) dengan mekanisme *attention*. Model ini dikembangkan menggunakan *TensorFlow* dan *Keras* dengan Bahasa pemrograman *Python*. Model dilatih menggunakan data historis dari sensor iradiasi matahari, suhu udara, kelembapan, suhu permukaan panel, kecepatan angin, dan daya keluaran PV. Data ini dicuplik setiap 30 detik. Sebelum model BiLSTM diberikan pembobotan dilakukan proses kombinasi fungsi aktivasi, *optimizer* dan nilai *learning rate*. Untuk fungsi aktivasi meliputi 3 jenis yaitu *tanh*, *relu*, dan *swish* dengan *optimizer* menggunakan *adam* dan *rmsprop* serta nilai *learning rate* di setting di 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} . Model BiLSTM diberikan pembobotan *attention* yang meliputi tiga jenis model. Ketiga jenis model tersebut adalah *Bahdanau*, *Luong*, dan *Simple Attention*. Data ini dievaluasi menggunakan MAE, RMSE, dan R^2 . Hasil menunjukkan konfigurasi terbaik adalah *Bahdanau Attention* dengan fungsi aktivasi *Tanh*, *optimizer Adam*, dan *learning rate* 0.001, dengan capaian MAE sebesar 0.001412394, RMSE 0.004666106, dan R^2 sebesar 0.999726415. Evaluasi menunjukkan bahwa model BiLSTM dengan *attention* mampu mengikuti tren daya aktual dengan akurasi tinggi hal ini ditunjukkan nilai MAE dan RMSE, baik pada kondisi cuaca normal maupun kondisi fluktuatif di musim pancaroba.

Kata kunci: *photovoltaic*, prediksi daya, musim pancaroba, BiLSTM, *attention*.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIK.....	vi
ABSTRAK.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
BAB II.....	3
2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Surya.....	3
2.2. Teknologi PV	3
2.3. Panel Surya <i>Polycrystalline</i> dan <i>Monocrystalline</i>	4
2.4. Variable Lingkungan Terhadap Daya Panel Surya.....	4
2.4.1. Iradiasi Matahari	5
2.4.2. Kecepatan Angin.....	6
2.4.3. Suhu Lingkungan (<i>Ambient Temperature</i>).....	6



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.4.4.	Kelembapan Udara (<i>Humidity</i>)	7
2.4.5.	Suhu Permukaan Panel Surya	7
2.5.	Musim Pancaroba Dan Dampaknya Pada Panel Surya	7
2.6.	Komponen Sistem Akuisi Data	7
2.5.1.	Sensor Power Monitoring PZEM017	8
2.5.2.	Sensor Suhu Permukaan Thermocouple	9
2.5.3.	Sensor Suhu dan Kelembapan DHT22	10
2.5.4.	Sensor Radiasi SEM228	11
2.5.5.	Sensor Kecepatan Angin	12
2.5.6.	Mikrokontroler ESP32 Dalam Sistem IoT	13
2.7.	Prediksi Daya PV Menggunakan Deep Learning	14
2.8.	Model LSTM dalam prediksi <i>Time Series</i>	14
2.9.	Model BiLSTM dalam prediksi <i>Time Series</i>	15
2.10.	Mekanisme <i>Attention</i> Dalam <i>Deep Learning</i>	16
2.9.1.	<i>Simple Attention</i>	16
2.9.2.	<i>Bahdanau Attention</i>	17
2.9.3.	<i>Luong Attention</i>	18
2.11.	Pengaturan <i>Hyperparameter</i> pada Model <i>Deep Learning</i>	19
BAB 3		20
3.1.1	Alur Penelitian	20
3.2	Sistem Akuisisi Data	23
3.2.1.	Desain Hardware	24
3.2.2.	Desain Software	25
3.3	Pra Pemrosesan Data	27
3.3.1.	<i>Resampling Data</i>	27
3.3.2.	<i>Smoothing Data</i>	28
3.3.3.	Normalisasi Data	28



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3.3.4.	Konversi ke Format <i>Supervised</i>	28
3.3.5.	Membagi Dataset	28
3.4	Implementasi Hyperparameter	29
3.5	Proses Deep Learning	29
3.6	Evaluasi Model	32
3.7	Visualisasi Hasil dan Analisis	33
BAB 4		35
4.1.	Identifikasi Anomali dan Peristiwa Fluktuasi Data	35
4.2.	Pra-Pemrosesan Data	36
4.2.1.	Resampling Dan Smoothing	37
4.2.2.	Penanganan <i>Outlier</i>	37
4.2.3.	Normalisasi Data	39
4.3.	Kinerja Model	39
4.4.	<i>Ablation Test</i>	43
4.5.	Komparasi Model	45
4.6.	Kurva Loss	46
4.6.1.	Bahdanau Attention	47
4.6.2.	Luong Attention	47
4.6.3.	Simple Attention	48
4.6.4.	Analisis <i>Overfitting</i> dan <i>Early Stopping</i>	48
4.7.	Prediksi Data	49
4.7.1.	Prediksi Data di Cuaca Normal	50
4.7.2.	Prediksi Data di Saat Fluktuatif	51
4.7.3.	Prediksi Data di Depok Pada Bulan Juli 2025	52
BAB 5		54
5.1.	Kesimpulan	54
5.2.	Saran	54
DAFTAR PUSTAKA		55

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Ilustrasi sel PV [11]	3
Gambar 2. 2. Perbedaan Solar Panel Polycrystalline dan Monocrystalline	4
Gambar 2. 3. Komponen radiasi surya dan komponen relevan untuk PV [15].	5
Gambar 2. 4. Kurva I-V dan P-V sel surya pada intensitas iradiasi yang berbeda pada suhu konstan 25° C [13]	5
Gambar 2. 5. Kurva I-V dan P-V sel surya pada suhu yang berbeda pada intensitas iradiasi konstan 1000 W/m ² [13].....	6
Gambar 2. 6. Sensor Energy Power PZEM017	8
Gambar 2. 7. Sensor Suhu Permukaan Thermocouple.....	9
Gambar 2. 8. Sensor Suhu dan Kelembapan DHT22.....	10
Gambar 2. 9. Sensor Iradiasi SEM228	11
Gambar 2. 10. <i>Wind Speed</i> Sensor SN-3000-FSA-N01	12
Gambar 2. 11. Mikrokontroler ESP-32	13
Gambar 2. 12. Struktur sel LSTM [24]	14
Gambar 2. 13. Arsitektur Model Bidirection LSTM [25]	15
Gambar 2. 14. Prinsip Mekanisme <i>Attention</i> [26]	16
Gambar 3. 1. Alur Penelitian.....	20
Gambar 3. 2. <i>Flowchart</i> Penelitian	21
Gambar 3. 3. Sistem Akuisi Data.....	23
Gambar 3. 4. <i>Wiring Diagram</i> Sistem Akuisisi Data.....	24
Gambar 3. 5. Hasil Integrasi Hardware Tampak Belakang	25
Gambar 3. 6. Hasil Integrasi Hardware Tampak Depan	25
Gambar 3. 7. Tampilan Dashboard Blynk	26
Gambar 3. 8. Tampilan Google Sheet.....	27
Gambar 3. 9. Sistem Arsitektur BiLSTM Dengan Mekanisme <i>Attention</i>	29
Gambar 3. 10. Plot Rancangan Model BiLSTM – <i>Attention</i>	30
Gambar 4. 1. Fluktuasi Iradiasi dan Daya PV pada 6 Oktober 2023	35
Gambar 4. 2. Fluktuasi Iradiasi dan Daya PV pada 10 Oktober 2023	36



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 4. 3. Fluktuasi Kelembapan dan Daya PV pada 6 Oktober 2023.....	36
Gambar 4. 4. Perbandingan <i>Smoothed</i> dan <i>Raw</i> Data 6 Oktober 2023.....	37
Gambar 4. 5. Perbandingan <i>Outlier Marked</i> , <i>Smoothed</i> , dan <i>Raw</i> Data 6 Oktober 2023.....	38
Gambar 4. 6. Perbandingan <i>Outlier Winsorized</i> , <i>Smoothed</i> , dan <i>Raw</i> Data 6-10-2023.....	38
Gambar 4. 7. Perbandingan <i>Normalized</i> , <i>Smoothed</i> , dan <i>Raw</i> Data 6-10-2023 ...	39
Gambar 4. 8. Heatmap MAE.....	41
Gambar 4. 9. Heatmap RMSE	42
Gambar 4. 10. Heatmap R^2	42
Gambar 4. 11. Kurva Loss Dari Fitur Iradiasi Yang dihilangkan.....	44
Gambar 4. 12. Kurva Loss Dari Fitur Suhu Permukaan Yang dihilangkan.....	44
Gambar 4. 13. Kurva Loss Dari Fitur Suhu Permukaan Yang dihilangkan.....	44
Gambar 4. 14. Kurva Loss Dari Fitur Kecepatan Angin Yang dihilangkan.....	44
Gambar 4. 15. Kurva Loss Dari Fitur Kelembapan Yang dihilangkan.....	45
Gambar 4. 16. Kurva <i>Loss Bahdanau Tanh Adam</i> 0.001	47
Gambar 4. 17. <i>Kurva Loss Luong Relu Adam</i> 0.001.....	47
Gambar 4. 18. Kurva <i>Loss Simple Tanh Adam</i> 0.001	48
Gambar 4. 19. Perbandingan Daya Aktual dengan Prediksi	49
Gambar 4. 20. Prediksi vs Aktual daya 23 November 2023.....	50
Gambar 4. 21. Prediksi vs Aktual daya 5 November 2023.....	51
Gambar 4. 22. Raw Data pada 17 Juli 2025 di Depok.....	52
Gambar 4. 23. Perbandingan prediksi daya dengan daya aktual.....	53



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Spesifikasi PZEM017	8
Tabel 2. 2. Spesifikasi Thermocouple.....	9
Tabel 2. 3. Spesifikasi Modul DHT 22	10
Tabel 2. 4. Spesifikasi SEM228.....	11
Tabel 2. 5. Spesifikasi SN-3000-FSA-N01.....	12
Tabel 2. 6. Spesifikasi ESP32	13
Tabel 4. 1. Kinerja Model BiLSTM kombinasi Attention dan hyperparameter ...	40
Tabel 4. 2. Hasil <i>Ablation Test</i>	43
Tabel 4. 3. Perbandingan Model terbaik BiLSTM tanpa mekanisme <i>attention</i> dengan Model terbaik BiLSTM dengan mekanisme <i>attention</i>	45
Tabel 4. 4. Perbandingan Daya Aktual dan Prediksi pada 23 November 2023	50
Tabel 4. 5. Perbandingan Daya Aktual dan Prediksi pada 10 Oktober 2023.....	51

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Meningkatnya permintaan akan energi terbarukan dan upaya global untuk mengurangi emisi karbon menjadikan energi surya sebagai alternatif utama untuk menggantikan energi fosil dalam memenuhi kebutuhan listrik di masa depan [1][2]. Proses konversi energi matahari menjadi listrik dilakukan melalui panel surya atau *photovoltaic* (PV). Daya listrik yang dihasilkan oleh PV sangat dipengaruhi oleh iradiasi matahari, yakni jumlah energi matahari yang mencapai permukaan bumi. Namun, Ketika di musim pancaroba di Indonesia sering kali terjadi dalam waktu singkat dan tidak terduga, sehingga daya yang dihasilkan dapat berfluktuasi bergantung pada iradiasi matahari. Oleh karena itu, dibutuhkan prediksi jangka pendek (*short-term*) yang cepat dan akurat agar produksi energi dari sistem PV dapat dievaluasi dan industri terkait dapat mengambil tindakan untuk menjaga keseimbangan antara produksi dan konsumsi energi [3].

Fluktuasi daya PV di musim pancaroba membutuhkan pendekatan prediktif yang tidak hanya mampu menangkap pola data yang dinamis tetapi juga responsif terhadap perubahan mendadak. Hal ini dapat membantu meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan sistem PV, sekaligus meminimalisir dampak negatif dari ketidakstabilan daya [4]. *Deep learning* telah menawarkan solusi inovatif untuk menghadapi tantangan prediksi ini [5]. Model seperti *Bidirectional Long Short-Term Memory* (BiLSTM) telah terbukti mampu menangani data sekuensial yang kompleks dan mengenali pola non-linear dalam data [6]. Keunggulan BiLSTM terletak pada kemampuannya mempelajari pola temporal baik dari masa lalu maupun masa depan secara simultan, sehingga menghasilkan prediksi yang lebih akurat [7]. Namun, model ini menghadapi kendala berupa tingkat kesalahan atau *error* yang tinggi ketika terjadi fluktuasi.

Kondisi data yang fluktuatif terjadi dalam waktu singkat di musim pancaroba menghadirkan tantangan khusus karena pola data yang tidak teratur. Untuk mengatasi keterbatasan ini, mekanisme *attention* dapat diintegrasikan ke dalam model BiLSTM. Mekanisme *attention* memberikan bobot lebih tinggi terhadap



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

informasi historis yang lebih relevan dalam konteks prediksi, sehingga membantu model fokus pada fitur-fitur penting dalam data [8]. Integrasi BiLSTM dengan mekanisme *attention* ini merupakan kontribusi utama dari penelitian untuk menghadirkan sistem prediksi daya PV yang lebih adaptif terhadap fluktuasi data.

1.2 Rumusan Masalah

- a. Bagaimana pengaruh penambahan mekanisme *attention* (*Simple*, *Bahdanau*, dan *Luong*) pada model BiLSTM terhadap kemampuan prediksi daya PV, terutama dalam pada musim pancaroba?
- b. Bagaimana kinerja BiLSTM model *Baseline* dibandingkan dengan BiLSTM dengan mekanisme *attention* pada data yang fluktuatif?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi daya keluaran PV jangka pendek pada musim pancaroba menggunakan model *deep learning* BiLSTM dengan mekanisme *attention*.

1.4 Batasan Penelitian

- a. Fokus pada pembuatan model *deep learning Bidirectional LSTM* dengan mekanisme *attention*.
- b. Melibatkan proses pengumpulan dataset hasil pengukuran sensor pada system PV.
- c. Dataset yang digunakan adalah dataset musim pancaroba di bulan Oktober - November 2023.

1.5 Manfaat Penelitian

Data hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai referensi untuk meprediksi potensi daya keluaran PV saat musim pancaroba dengan memanfaatkan *deep learning* model BiLSTM dengan mekanisme *attention*.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Pendekatan model BiLSTM dengan integrasi mekanisme *attention*, khususnya *Bahdanau Attention*, memberikan performa yang sangat baik dalam memprediksi daya keluaran sistem PV. Evaluasi performa model dilakukan secara menyeluruh dengan menggunakan metrik RMSE, MAE, dan R^2 . Model terbaik diperoleh dari kombinasi *Bahdanau Attention* dengan aktivasi *tanh*, *optimizer Adam*, dan *learning rate* 0.001 yang menghasilkan nilai MAE sebesar 0.0014, RMSE sebesar 0.0047, dan R^2 sebesar 0.9997, menunjukkan tingkat akurasi yang sangat tinggi. Hasil prediksi pada kondisi cuaca normal menunjukkan error yang sangat kecil (<1), sedangkan pada kondisi cuaca yang berfluktuatif, meskipun terjadi peningkatan *error*, model tetap dapat mengikuti tren daya aktual dengan cukup baik, meski sedikit tertinggal dalam merespon perubahan mendadak. Hasil *ablation test* menunjukkan bahwa fitur iradiasi memiliki pengaruh paling signifikan terhadap akurasi model, diikuti oleh suhu permukaan PV, suhu lingkungan, kecepatan angin, dan kelembapan. *Kurva loss* pada seluruh model terbaik menunjukkan konvergensi yang cepat dan stabil tanpa indikasi *overfitting*, yang diperkuat dengan penerapan *early stopping* sebagai strategi pencegahan pelatihan berlebih. Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa penggabungan BiLSTM dan mekanisme *attention* sangat efektif dalam menangkap dinamika temporal daya PV, dan dapat diandalkan untuk digunakan dalam sistem prediksi daya pada berbagai kondisi cuaca dengan tingkat akurasi yang tinggi.

5.2. Saran

Model BiLSTM dengan mekanisme *attention* telah menunjukkan kinerja prediksi yang baik. Meskipun demikian, model tersebut perlu diuji lebih lanjut dalam skenario realtime untuk mengevaluasi efektivitasnya secara langsung. Pengujian dalam penelitian ini memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut pada wilayah atau negara dengan probabilitas cuaca ekstrem yang tinggi, mengingat variabilitas cuaca di wilayah tersebut dapat memberikan kontribusi penting terhadap kebutuhan model dalam menangkap dinamika lingkungan yang kompleks.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Christianto Tjahyadi, "Rancang Bangun Model Deep Learning Bidirectional LSTM untuk Peramalan Daya Keluaran Photovoltaic Berbasis Internet of Things", Tesis Magister, Politeknik Negeri Jakarta, Depok, Indonesia, Aug. 2024.
- [2] V. Knapp, "On the Future of Fission and Solar Energy", *J. Energy - Energ.*, vol. 70, no. 1, pp. 3–6, Mar. 2021, doi: 10.37798/202170157.
- [3] Nana Sutarna, Christianto Tjahyadi, Prihatin Oktivasari, Murie Dwiyaniti, Tohazen, "Hyperparameter Tuning Impact on Deep Learning Bi-LSTM for Photovoltaic Power Forecasting", *Journal of Robotics and Control (JRC)*, vol. 5, no. 3, Mar. 2024. [Online]. Available: <https://journal.umy.ac.id/index.php/jrc/article/view/21120>
- [4] Y. Zhao, B. Wang, S. Wang, W. Xu, G. Ma, "Photovoltaic Power Generation Power Prediction under Major Extreme Weather Based on VMD-KELM", *Energy Engineering*, vol. 121, no. 12, pp. 3711–3733, Nov. 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.32604/ee.2024.054032>
- [5] N. Zrira, A. Kamal-Idrissi, R. Farssi, H. A. Khan, "Time Series Prediction of Sea Surface Temperature Based on BiLSTM Model with Attention Mechanism", *Journal of Sea Research*, vol. 198, Art. no. 102472, Apr. 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.seares.2024.102472>
- [6] K. A. Sathi, M. K. Hosain, M. A. Hossain, A. Z. Kouzani, "Attention-Assisted Hybrid 1D CNN-BiLSTM Model for Predicting Electric Field Induced by Transcranial Magnetic Stimulation Coil", *Scientific Reports*, vol. 13, no. 1, pp. 2494, Feb. 2023, doi: 10.1038/s41598-023-29695-6.
- [7] Ongorn Rattananattawon, Nattavit Piamvilai, Somporn Sirisumrannukul, "Forecasting Solar Photovoltaic Power Production with Hybrid Approach of Multilayer CNNs-GRU-BiLSTMs", in *Proc. IEEE APPEEC*, 2023, doi: 10.1109/APPEEC57400.2023.10561952.
- [8] D. Naik, C. D. Jaidhar, "A Novel Multi-Layer Attention Framework for Visual Description Prediction Using Bidirectional LSTM", *Journal of Big*



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- Data, vol. 9, no. 104, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1186/s40537-022-00664-6>
- [9] Ida Bagus Krishna Yoga Utama, ByungDeok Chung, Yeong Min Jang, "Forecasting Daily Power Generation of a PV Power Plant Based on Deep Learning", in Proc. Int. Conf. on Artificial Intelligence in Information and Communication (ICAIIIC), 2024, doi: 10.1109/ICAIIIC60209.2024.10463317.
- [10] Alisha Paudel, Armando Y. Montoya, Paras Mandal, "Short-Term and Rolling Solar PV Power Forecasts Performance Evaluation and Hyperparameter Tuning of Deep Learning Models", in Proc. IEEE IAS Annual Meeting, 2023, doi: 10.1109/IAS54024.2023.10406513.
- [11] Rodríguez Licea, M.A.; Pérez Pinal, F.J.; Soriano Sánchez, A.G. An Overview on Electric-Stress Degradation Empirical Models for Electrochemical Devices in Smart Grids. *Energies* 2021, 14, 2117. <https://doi.org/10.3390/en14082117>.
- [12] M. Benganem et al., "Evaluation of the Performance of Polycrystalline and Monocrystalline PV Technologies in a Hot and Arid Region: An Experimental Analysis", *Sustainability*, vol. 15, no. 20, p. 14831, Oct. 2023, doi: 10.3390/su152014831.
- [13] O. Bamisile, C. Acen, D. Cai, Q. Huang, I. Staffell, "The Environmental Factors Affecting Solar Photovoltaic Output", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 208, 2025, Art. no. 115073. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.115073>
- [14] B. Irawan, W. Wirawan, B. A. Ikawanty, and A. Takwim, "Analysis of the season effect on energy generated from hybrid PV/WT in Malang Indonesia," *Eastern-European J. Enterprise Technol.*, vol. 5, no. 8, pp. 70-78, 2022. doi: 10.15587/1729-4061.2022.266082.
- [15] M. A.N. Korevaar, 'Measuring Solar Irradiance for Photovoltaics', *Solar Radiation - Measurement, Modeling and Forecasting Techniques for Photovoltaic Solar Energy Applications*. IntechOpen, Oct. 26, 2022. doi: 10.5772/intechopen.105580.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- [16] M. A. Hossain, M. M. Rahman, M. M. Hasan, "Design and Development of a Solar Energy Monitoring System Using Modbus RTU and ESP32", *Int. J. Eng. Trends Technol.*, vol. 69, no. 8, pp. 174–179, 2021. <https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V69I8P222>
- [17] P. Çulun, "Experimental investigation of photovoltaic panel surface temperatures and electricity production in summer," *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, vol. 13, no. 2, pp. 77–87, 2024.
- [18] R. Ghosh, S. Mandal, S. Roy, "Development of a Low-Cost IoT-Based Environmental Monitoring System Using DHT22 and ESP32", *Int. J. Sci. Technol. Res.*, vol. 10, no. 5, pp. 98–102, 2021.
- [19] P. Megantoro et al., "Analysis of instrumentation system for photovoltaic pyranometer used to measure solar irradiation level," *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, vol. 11, no. 6, pp. 3239–3248, Dec. 2022, doi: 10.11591/eei.v11i6.4390.
- [20] Zhengzhou Lontek Sensor Co. Ltd., "SN-3000-FSA-N01 Wind Speed Sensor RS485 – Technical Datasheet", Version 2.0, 2023.
- [21] R. Saini, A. Mahajan, "IoT-Based Smart Home Automation Using ESP32", *Int. J. Adv. Res. Comput. Commun. Eng.*, vol. 10, no. 3, pp. 74–78, 2021. <https://doi.org/10.17148/IJARCCE.2021.10314>
- [22] R. M. Rizk-Allah, L. M. Abouelmagd, A. Darwish, V. Snasel, "Explainable AI and Optimized Solar Power Generation Forecasting Model Based on Environmental Conditions", *PLOS ONE*, 2024. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0308002>
- [23] Y. Chen, J. Shi, X. Cheng, X. Ma, "Hybrid Models Based on LSTM and CNN Architecture with Bayesian Optimization for Short-Term Photovoltaic Power Forecasting", in *Proc. IEEE IAS Industrial and Commercial Power System Asia*, 2021.
- [24] I. Ihianle, A. Nwajana, S. Ebebuwa, R. Otuka, K. Owa, M. Orisatoki, "A Deep Learning Approach for Human Activities Recognition from Multimodal Sensing Devices", *IEEE Access*, vol. 8, pp. 179028–179038, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3027979.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- [25] X. Huang et al., "Time Series Forecasting for Hourly Photovoltaic Power Using Conditional Generative Adversarial Network and Bi-LSTM", *Energy*, vol. 246, Art. no. 123403, 2022.
- [26] M. Liu, X. Wang, Z. Zhong, "Ultra-Short-Term Photovoltaic Power Prediction Based on BiLSTM with Wavelet Decomposition and Dual Attention Mechanism", *Electronics*, vol. 14, Art. no. 306, 2025. <https://doi.org/10.3390/electronics14020306>
- [27] Y. Zhong, T. He, and Z. Mao, "Enhanced solar power prediction using attention-based DiPLS-BiLSTM model," *Electronics*, vol. 13, no. 23, p. 4815, 2024. doi: 10.3390/electronics13234815.
- [28] F. Hu, L. Zhang, and J. Wang, "A hybrid convolutional-long short-term memory-attention framework for short-term photovoltaic power forecasting, incorporating data from neighboring stations," *Appl. Sci.*, vol. 14, p. 5189, 2024.
- [29] W. Gunawan, H. Sujaini, and Tursina, "Analisis perbandingan nilai akurasi mekanisme attention Bahdanau dan Luong pada neural machine translation bahasa Indonesia ke bahasa Melayu Ketapang dengan arsitektur recurrent neural network," *Jurnal Edukasi dan Penelitian Informatika (JEPIN)*, vol. 7, no. 3, pp. 488-496, Dec. 2021. [Online]. Available: <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jepin/article/view/50287>
- [30] X. Lei, "A Photovoltaic Prediction Model with Integrated Attention Mechanism", *Mathematics*, vol. 12, no. 2103, 2024. <https://doi.org/10.3390/math12132103>
- [31] C. Tjahyadi, N. Sutarna, and P. Oktivasari, "Optimized BiLSTM-Dense Model for Ultra-Short-Term PV Power Forecasting," *KINETIK*, vol. 10, no. 2, pp. 187–196, May 2025. [Online]. Available: <https://doi.org/10.22219/kinetik.v10i2.2127>
- [32] V. Romanuke, "Time Series Smoothing Improving Forecasting," *Applied Computer Systems*, vol. 26, no. 1, pp. 60–70, Jun. 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.2478/acss-2021-0008>
- [33] D. Anelli, P. Morano, F. Tajani, and M. R. Guarini, "The Interpretative Effects of Normalization Techniques on Complex Regression Modeling: An



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Application to Real Estate Values Using Machine Learning,” Information, vol. 16, no. 6, p. 486, Jun. 2025. [Online]. Available:

<https://doi.org/10.3390/info16060486>

- [34] N. Sutarna, C. Tjahyadi, P. Oktivasari, M. Dwiyantri, Tohazen, "Feature Optimization for Short-Term Solar Power Forecasting Using Bidirectional LSTM Networks", in Proc. 7th Int. Conf. of Computer and Informatics Engineering (IC2IE), Bali, Indonesia, 2024, pp. 1–6, doi: 10.1109/IC2IE63342.2024.10748231
- [35] I. O. Muraina, "Ideal Dataset Splitting Ratios in Machine Learning Algorithms: General Concerns for Data Scientists and Data Analysts", Computer Science Department, School of Science, Adeniran Ogunsanya College of Education, Lagos, Nigeria. ORCID: 0000-0002-9633-6080.
- [36] Hussein, Bootan & Shareef, Shareef. (2024). An Empirical Study on the Correlation between Early Stopping Patience and Epochs in Deep Learning. ITM Web of Conferences. 64. 10.1051/itmconf/20246401003.
- [37] M. Abdelsattar, M. A. Ismeil, K. Menoufi, A. AbdelMoety, and A. Emad-Eldeen, “Evaluating machine learning and deep learning models for predicting wind turbine power output from environmental factors,” PLoS ONE, vol. 20, no. 1, Art. no. e0317619, Jan. 2025, doi: 10.1371/journal.pone.0317619.
- [38] J. Gao, “R-squared (R^2) – How much variation is explained?,” Research Methods in Medicine & Health Sciences, vol. 5, 2023, doi: 10.1177/26320843231186398.