

Prediksi Kecepatan Angin untuk Mengetahui Potensi Sumber Energi Alternatif menggunakan Model Regresi Lasso: Studi Kasus Kota Makassar pada Tahun 2024

Siti Nurjanah¹, Yoan Purbolingga², Dila Marta Putri³, Asde Rahmawati⁴, Fahrizal Fahrizal⁵, Bastul Wajhi Akramunnas⁶

¹⁻⁶Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Bisnis Riau, Pekanbaru
E-mail: sitinurjanah180495@gmail.com¹, johanyurik@gmail.com², putri.dilamarta@gmail.com³, iamtitiuin@gmail.com⁴, fahrizal.upp@gmail.com⁵, bastulwajhiakramunnas@gmail.com⁶

Abstract. This research explores the potential of wind energy as an alternative energy source in Makassar City. The researcher used daily climate data from BMKG Martim Paotere Meteorological Station Makassar City for 2023 to January 2024. The research method uses the Lasso regression model to predict wind speed. The results of data processing, through tests with an MSE value of 0.334 and an R^2 value of 0.97, show the high validity of the model. Wind speed predictions for 2024 were then generated and converted into estimates of the electrical power that could be generated. Based on this prediction, the maximum wind speed reached 10.76 m/s, with the maximum electrical power reaching 1597 Watts. The results of this study indicate that Makassar City has considerable potential to be developed as a Wind Power Plant location as an alternative source of electrical energy. This potential can contribute to reducing dependence on conventional energy in Makassar City.

Keywords: Wind Speed Prediction, Lasso Regression Model, Alternative Energy Source, Makassar.

Abstrak. Penelitian ini mengeksplorasi potensi energi angin sebagai sumber energi alternatif di Kota Makassar. Peneliti menggunakan data iklim harian dari BMKG Stasiun Meteorologi Martim Paotere Kota Makassar untuk tahun 2023 hingga Januari 2024. Metode penelitian menggunakan model regresi Lasso untuk memprediksi kecepatan angin. Hasil pengolahan data, melalui uji dengan nilai MSE sebesar 0.334 dan nilai R^2 sebesar 0.97, menunjukkan validitas model yang tinggi. Prediksi kecepatan angin untuk tahun 2024 kemudian dihasilkan dan dikonversi menjadi perkiraan daya listrik yang dapat dihasilkan. Berdasarkan prediksi ini, kecepatan angin maksimal mencapai 10.76 m/s, dengan daya listrik maksimal mencapai 1597 Watt. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa Kota Makassar memiliki potensi yang cukup besar untuk dikembangkan sebagai lokasi Pembangkit Listrik Tenaga Angin sebagai sumber energi listrik alternatif. Potensi ini dapat berkontribusi untuk mengurangi ketergantungan pada energi konvensional di Kota Makassar.

Kata kunci: Prediksi Kecepatan Angin, Model Regresi Lasso, Sumber Energi alternatif, Makassar.

PENDAHULUAN

Saat ini, Provinsi Sulawesi Selatan, termasuk Kota Makassar, sangat bergantung pada pasokan energi listrik dari Perusahaan Listrik Negara (PLN), yang berasal dari Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) yang memanfaatkan debit aliran air. Pada tahun 2023, sejumlah daerah, termasuk Provinsi Sulawesi Selatan, mengalami cuaca ekstrem, terutama cuaca panas yang berkepanjangan menyebabkan kekeringan. Hal ini mengakibatkan penurunan drastis pasokan dan debit aliran air, yang menghambat operasional beberapa PLTA dan memaksa dilakukannya pemadaman listrik bergilir. Pada November 2023, durasi pemadaman bergilir yang diterapkan oleh PLN UID Sulselrabar berlangsung semakin lama, mencapai 5-6 jam di Kota Makassar (Reza Rifaldi, 2023). Pemadaman bergilir ini secara signifikan menghambat berbagai aktivitas masyarakat dan pemerintah di berbagai sektor.

Received Desember 17, 2023; Accepted Januari 09, 2024; Published Februari 12, 2024

*Siti Nurjanah, sitinurjanah180495@gmail.com

Untuk meningkatkan kapasitas pembangkit listrik, pemerintah Provinsi Sulawesi Selatan perlu mencari sumber energi alternatif di Kota Makassar selain air, mengingat kondisi cuaca panas yang berkepanjangan dapat mempengaruhi pasokan listrik. Salah satu sumber energi alternatif yang baru dan berpotensi adalah energi angin (Rawal et al., 2023). Adanya krisis energi listrik di Provinsi Sulawesi Selatan, khususnya di Kota Makassar, menjadi dasar penyelenggaraan penelitian ini. Penelitian ini bertujuan untuk menilai potensi energi angin yang dapat dikonversi menjadi energi listrik. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi pemerintah daerah dalam mengatasi krisis energi listrik di Kota Makassar, dengan merencanakan pembangunan instalasi listrik di titik-titik potensial pemanfaatan energi angin sebagai pembangkit listrik. Peningkatan penggunaan sumber energi alternatif, seperti energi angin, yang ramah lingkungan dapat mengurangi polusi udara di Kota Makassar. Oleh karena itu, melalui penelitian ini, penulis melakukan prediksi kecepatan angin untuk menentukan potensi energi angin di Kota Makassar.

Dalam upaya memprediksi kecepatan angin dengan tujuan mengidentifikasi sumber energi alternatif, keakuratan prediksi menjadi krusial. Salah satu metode yang telah terbukti memberikan hasil prediksi akurat, terutama dalam konteks kecepatan angin, adalah penggunaan metode Machine Learning (Putri et al., 2024; Wardhana et al., 2023).

Metode Machine Learning memanfaatkan algoritma dan model matematika yang dapat dipelajari dari data masa lalu untuk meramalkan kecepatan angin di masa depan (Darmawan, 2019). Keunggulan utama metode ini terletak pada kemampuannya untuk menangani data kompleks dan memahami pola yang mungkin sulit diidentifikasi oleh metode konvensional. Dalam konteks prediksi kecepatan angin, Machine Learning dapat mengintegrasikan berbagai faktor seperti data cuaca, topografi, dan variabel lainnya yang mempengaruhi kecepatan angin.

Sejumlah penelitian terkait telah menguatkan keefektifan metode Machine Learning dalam prediksi kecepatan angin. Sebagai contoh, penelitian oleh (Karaman, 2023) menunjukkan bahwa model machine learning mampu memberikan prediksi yang lebih akurat dibandingkan dengan pendekatan tradisional, terutama dalam menanggapi fluktuasi kecepatan angin yang cepat. Pada penelitiannya Ali juga membandingkan beberapa model machine learning untuk mendapatkan hasil yang paling akurat.

Dalam konteks model Machine Learning, salah satu metode yang dapat diterapkan adalah regresi Lasso. Model regresi Lasso (Least Absolute Shrinkage and Selection Operator) adalah varian dari regresi linier yang mengintegrasikan regularisasi L1, yang memungkinkan pemilihan variabel secara otomatis dan dapat mengatasi masalah multikolinieritas. Penelitian oleh (Fitria & Rozci, 2023) menunjukkan keefektifan regresi Lasso dalam meningkatkan

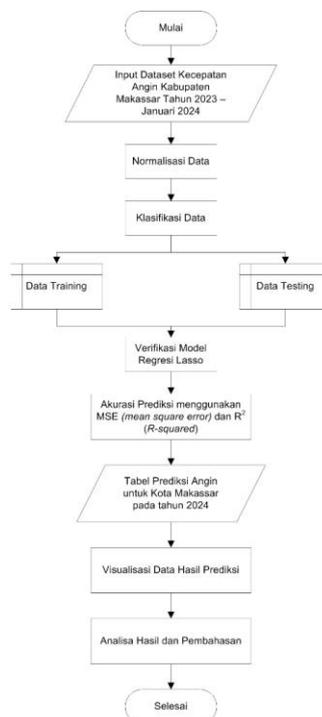
ketepatan prediksi tingkat kemiskinan di Indonesia dengan meminimalkan overfitting dan mempertahankan keakuratan model.

Dengan merinci keberhasilan metode Machine Learning, terutama model regresi Lasso, penelitian ini akan menerapkan pendekatan tersebut untuk meramalkan kecepatan angin di Kota Makassar. Integrasi model regresi Lasso diharapkan tidak hanya memberikan prediksi yang lebih presisi, tetapi juga akan memberikan kontribusi signifikan dalam pemahaman potensi energi angin di wilayah tersebut, memungkinkan identifikasi lokasi yang optimal untuk pengembangan infrastruktur pembangkit listrik tenaga angin. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan pandangan mendalam yang dapat mendukung kebijakan pemerintah dalam mengatasi krisis energi listrik di Kota Makassar melalui pemanfaatan sumber energi alternatif yang berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Alir Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan studi literatur dengan cakupan variabel angin serta model regresi Lasso untuk memodelkan dataset yang didapat, pengumpulan data, pengolahan data, serta Analisa potensi kecepatan angin di Kota Makassar sebagai potensi energi alternatif. Secara rinci alur penelitian dapat dilihat pada gambar di bawah.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Dataset

Dataset merupakan suatu kumpulan data yang terdiri dari informasi-informasi pada periode sebelumnya, yang dapat diolah menjadi informasi baru dengan menerapkan metode supervised learning (Sachi et al., 2023). Dataset ini dimanfaatkan dalam konteks prediksi sistem sebagai alat bantu dalam pengambilan keputusan.

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data iklim harian dari BMKG Stasiun Meteorologi Martim Paotere Kota Makassar tahun 2023 sampai Januari 2024. Data ini diambil dari situs resmi Data Online Pusat Database BMKG (BMKG, 2023) dengan format file .xls. Variabel yang ada pada data cuaca ada 11, yaitu Tanggal, Suhu udara minimum (Tn), Suhu udara maksimum (Tx), Suhu udara rata-rata (Tavg), Kelembaban rata-rata (RH_avg), Curah hujan (RR), Durasi penyinaran matahari (ss), Kecepatan angin maksimal (ff_x), Arah mata angin saat kecepatan maksimal (ddd_x), Kecepatan angin rata-rata (ff_avg), dan Arah mata angin (ddd_car). Berikut ini adalah Tabel 1 yang menunjukkan contoh data cuaca pada bulan Januari 2023.

Tabel 1. Data Cuaca BMKG pada bulan Januari 2023

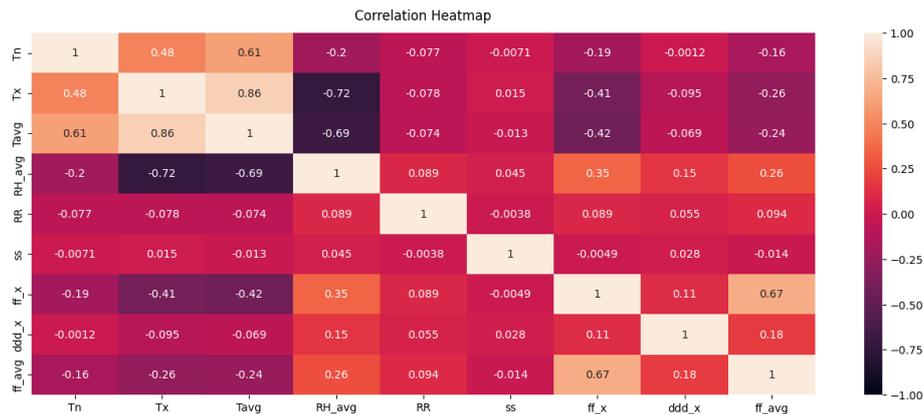
Tanggal	Tn	Tx	Tavg	RH_avg	RR	ss	ff_x	ddd_x	ff_avg	ddd_car
01-01-2023	24,8	31,2	28	82	1	9	5	300	3	W
02-01-2023	27	31,8	29,3	82	0	7,6	7	230	4	NW
03-01-2023	25,6	31,9	26,3	89	9,6	6,6	10	280	5	W
04-01-2023	24,6	29	26,1	89	42,1	0	8	280	4	W
05-01-2023	24	28	26,4	90	90,7	0	7	270	2	E
06-01-2023	24,4	29,2	26,5	88	28	0	8	280	2	N
07-01-2023	24,4	29,4	26,9	88	27,8	0	4	350	2	E
08-01-2023	24,9	31,8	27,9	87	22,6	0	7	300	4	NW
09-01-2023	25,4	29,2	26,7	85	12,5	3	3	300	2	E
10-01-2023	24,1	28,3	25,7	88	30,5	0	5	30	2	N

Sumber: (BMKG, 2023)

Data ini kemudian dibagi lagi menjadi dua jenis data, yaitu data training yang berisi 80% pertama dari data iklim harian tahun 2023 sampai Januari 2024 dan data testing berisi 20% pertama dari data iklim harian tahun 2023 sampai Januari 2024. Data training digunakan untuk melatih algoritma dalam mencari model yang sesuai, sedangkan data testing akan dipakai untuk menguji dan mengetahui performa model yang didapat dari tahap sebelumnya.

Korelasi Antarvariabel

Korelasi adalah suatu metode untuk mengidentifikasi hubungan antara dua variabel (Zhang et al., 2021). Dengan kata lain, korelasi merupakan salah satu bentuk dan ukuran yang menggambarkan hubungan antara beberapa variabel, dengan fokus pada korelasi positif yang menyatakan bahwa perubahan meningkat pada suatu objek atau variabel dapat terjadi.



Gambar 2. Heatmap untuk Mengukur Korelasi antar Variabel

Terlihat dari heatmap di atas, variabel `ff_x` memiliki korelasi positif yang kuat dengan variabel `Tx`, `Tavg`, dan `RH_avg`. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi `Tx`, `Tavg`, dan `RH_avg`, maka semakin tinggi pula `ff_x`.

Data Preprocessing

Data preprocessing (Hadi et al., 2022) dalam mining data melibatkan pengolahan awal data mentah sebelum tahap pemrosesan berikutnya. Langkah-langkah *preprocessing* melibatkan eliminasi data tidak sesuai dan transformasi ke format yang lebih dipahami oleh sistem. Tujuannya adalah mengatasi masalah format yang tidak konsisten, menjadi teknik awal sebelum data mining. Proses *preprocessing* melibatkan langkah-langkah seperti membersihkan, mengintegrasikan, mentransformasikan, dan mereduksi data. Normalisasi data dilakukan dalam tahap prapemrosesan untuk menjadi input model prediksi. Tahapan yang perlu dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Mengubah tipe data pada `ddd_car` menjadi data numerik.

Langkah pertama yang dilakukan untuk membaca data yang diproses adalah dengan merubah data pada variabel `ddd_car` (arah mata angin) sebagai data kategorikal (huruf) menjadi numerikal (angka) agar dapat dibaca oleh sistem google collab dalam proses training data. Notasi perubahan angka dapat dilihat dari tabel di bawah ini.

Tabel 2. Notasi Perubahan Arah Mata Angin dari Data Huruf ke Data Numerik

No	Arah Mata Angin	Derajat Arah Mata Angin	Notasi
1	C	-	0
2	N	0	1
3	NE	$0 < X < 90$	2
4	E	90	3
5	SE	$90 < X < 180$	4
6	S	180	5
7	SW	$180 < X < 270$	6
8	W	270	7
9	NW	$270 < X < 360$	8

Sumber: (BMKG, 2023)

2. Mengisi data pada kolom yang kosong

Dalam dataset cuaca, terdapat entri data yang kosong, dan data yang tidak dapat diukur, yang ditunjukkan dengan nilai 8888. Data ini akan diproses berdasarkan jenisnya. Jika seluruh variabel memiliki data yang kosong atau tidak terukur, maka data tersebut akan dihapus. Tindakan ini dilakukan untuk menghindari bias data yang dapat terjadi akibat pengisian nilai kosong atau tidak terukur pada semua variabel. Untuk data yang memiliki variabel yang kosong atau tidak terukur sebagian, nilai rata-rata dari hari sebelumnya dan hari berikutnya akan dimasukkan, atau nilai secara urut diantara nilai sebelumnya dan setelahnya akan diisi, tergantung pada apakah data yang kosong tersebut melibatkan lebih dari satu hari. Rumus penghitungan rata-rata dari hari sebelum dan sesudah dapat ditemukan pada rumus (1) berikut:

$$\text{Nilai Pengganti} = \frac{\text{Data hari sebelumnya} + \text{Data hari berikutnya}}{2} \quad (1)$$

Sedangkan rumus perhitungan nilai kosong antara data sebelum dan setelah urutan kosong lebih dari satu menggunakan rumus (2) berikut ini:

$$[U_1, U_2, \dots, U_m] = \text{Persentil ke } - \frac{100}{m} \times n \text{ dari } V_m \quad (2)$$

Keterangan:

U_m : Nilai pengganti data kosong ke- m

m : Jumlah data kosong antara nilai sebelum dan setelah data kosong

n : Iterasi proses pengisian data kosong

V_m : Urutan angka antara data sebelum dan setelah data kosong

Data cuaca yang telah di *preprocessing* kemudian dibagi menjadi dua yaitu data training dan data testing.

3. Integrasi Data (*Data Integration*)

Data cuaca yang diperoleh dari data online BMKG memiliki batas waktu 1 bulan untuk setiap data cuaca yang diunduh. Dalam mengatasi masalah tersebut semua tabel cuaca BMKG dari bulan Januari 2023 hingga Januari 2024 digabungkan menjadi satu table cuaca.

4. Reduksi Data (*Data Reduction*)

Pengurangan data dilakukan untuk menghapus variabel yang tidak akan digunakan dengan penelitian. Semua variabel pada dataset iklim dari BMKG ini tidak ada yang dihapus karena semua variabel digunakan dalam penelitian ini.

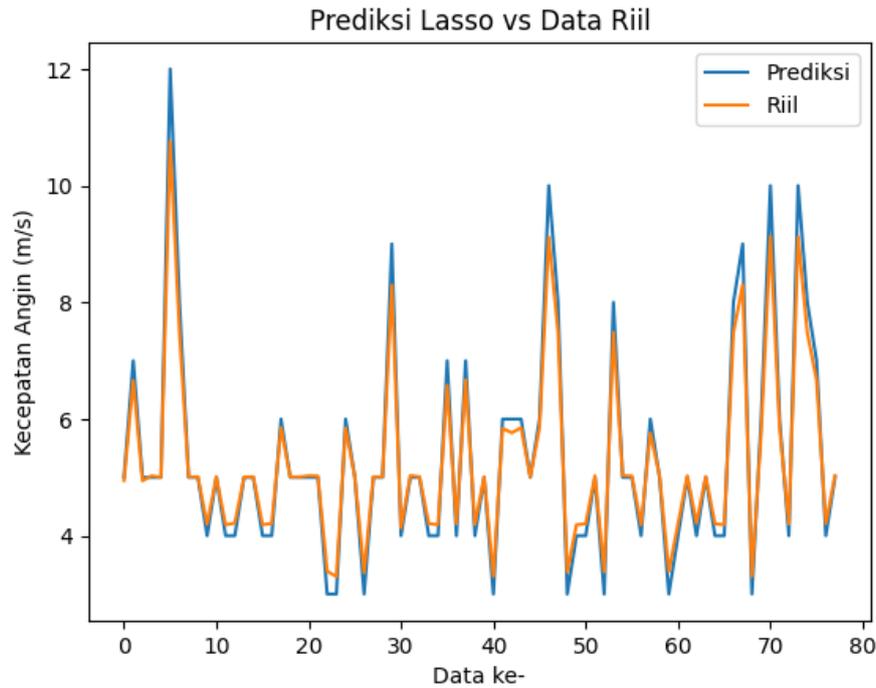
Visualisasi Data

Data iklim harian pada tahun 2023 memiliki Tingkat validitas yang tinggi karena memiliki kelengkapan data yang baik, meskipun terdapat beberapa kolom variabel yang memiliki nilai kosong (nol). Lalu dengan memperhatikan Tingkat korelasi yang sudah ditentukan dengan menggunakan modelling heatmap matplotlib menggunakan Google Collab, ditemukan bahwa kecepatan angin maksimum, suhu rata-rata dan tingkat kelembaban udara memiliki keterkaitan yang tinggi sebagaimana ditampilkan pada Gambar 2. Rentang skala yang digunakan untuk diagram pada Gambar 2 ditandai dengan 1.0 untuk tingkat korelasi tinggi dan skala -1.0 untuk tingkat korelasi rendah atau tidak berkorelasi. Dengan melihat skala tersebut, dapat disimpulkan bahwa terdapat dua variabel yang memiliki tingkat keterkaitan yang cukup tinggi, yaitu 0.67 poin untuk angin dan 0.86 poin untuk suhu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem konversi energi angin menjadi energi listrik terjadi karena tenaga angin merupakan energi kinetik yang mampu melakukan perpindahan molekul udara sehingga perpindahan tersebut yang melalui luasan waktu tertentu menentukan besaran daya yang dihasilkan.

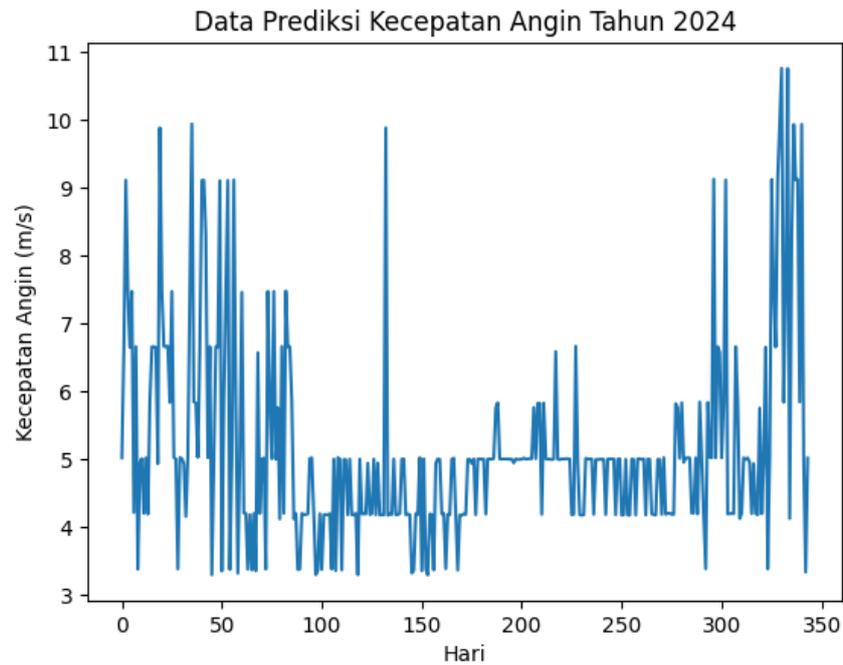
Untuk menentukan prediksi tahun 2024 dengan menggunakan menggunakan dataset tahun 2023, telah dilakukan uji coba untuk mendapatkan akurasi yang tinggi. Dari hasil yang didapatkan melalui proses modelling dengan melihat nilai R^2 (*R-squared*) dan MSE (*Mean Square Error*). Dengan menggunakan model regresi Lasso didapat nilai MSE untuk data training sebesar 0.300 sedangkan untuk data testing sebesar 0.334. Nilai MSE tersebut menunjukkan bahwa hasil prediksi jika dibandingkan dengan data riilnya memiliki error yang kecil. Jika ditinjau dari nilai R^2 adalah sebesar 0.97, dimana hasil ini menunjukkan hasil yang sangat bagus karena sudah hampir mendekati nilai 1. Secara visualisasi, hasil perbandingan data riil dan data prediksi menggunakan model regresi Lasso dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Perbandingan Data Riil dan Data Hasil Prediksi

Gambar 3 menunjukkan bahwa secara umum, model regresi Lasso mampu memprediksi kecepatan angin di Kota Makassar cukup akurat. Hal ini dapat dilihat dari nilai prediksi yang mengikuti tren data riil dengan cukup baik. Walaupun terdapat beberapa waktu dimana terdapat perbedaan yang cukup signifikan antara data riil dan data prediksi, seperti pada data diantara 5 dan 10, data prediksi menunjukkan kecepatan angin yang jauh lebih tinggi daripada data riil. Tetapi, secara keseluruhan model regresi Lasso mampu memprediksi kecepatan angin secara cukup akurat.

Setelah melakukan pengujian model yang telah maka selanjutnya adalah memprediksi kecepatan angin tahun 2024 yang yang dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Data Prediksi Kecepatan Angin tahun 2024

Dapat dilihat bahwa berdasarkan Gambar 4 nilai prediksi kecepatan angin paling tinggi mencapai 10.76 m/s. Data prediksi yang dihasilkan kemudian diformulasikan dengan menggunakan persamaan (3) untuk menghitung daya yang dihasilkan oleh angin sebagai energi kinetik untuk menggerakkan turbin sebagai output yang dihasilkan dari sistem pembangkit tenaga angin.

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (3)$$

dimana:

P : Daya listrik yang dihasilkan (Watt)

A : Luas penampang turbin (m^2)

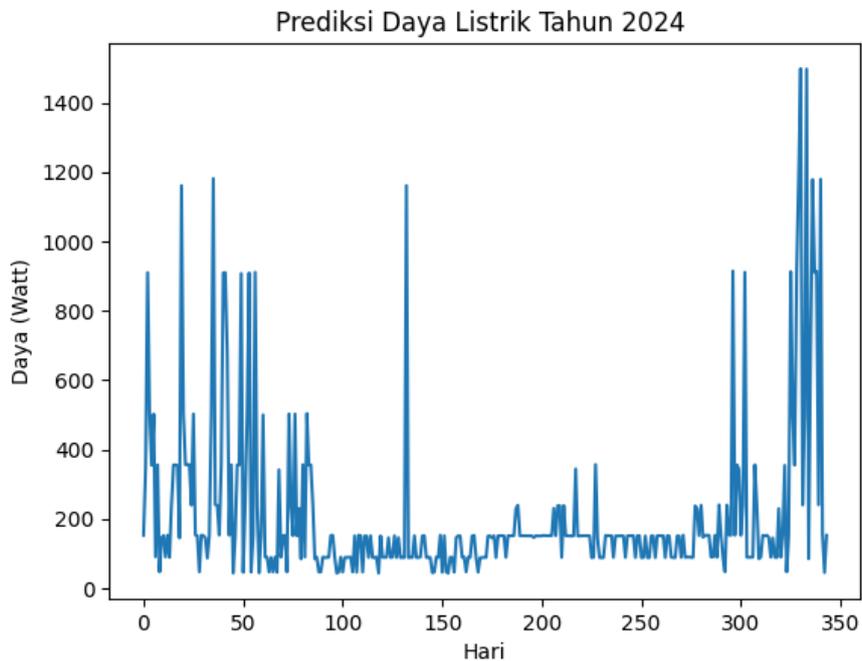
v : Kecepatan angin (m/s)

ρ : Konstanta kerapatan angin (kg/m^3)

Persamaan (3) digunakan menghitung daya listrik yang dihasilkan dengan menggunakan ketentuan berikut:

1. Luas penampang turbin angin tipe PIKASOLA 1000W 24V Permanent Magnet Wind Turbine Generator sebesar 2 meter.
2. Konstanta kerapatan angin sebesar 1.2 kg/m^3 .

Berdasarkan kedua ketentuan di atas didapat nilai prediksi daya listrik untuk tahun 2024 sebagai berikut:



Gambar 5. Data Prediksi Daya Listrik tahun 2024

Data prediksi daya listrik tahun 2024 pada Gambar 5 menunjukkan nilai yang baik karena nilai daya listrik maksimal sebesar 1597 Watt. Hal ini dikarenakan kecepatan angin di Kota Makassar berkisar antara 4 – 11 m/s, dimana ketentuannya angin itu dapat menggerakkan turbin angin dengan baik jika kecepatan angin diantara 5 – 20 m/s.

KESIMPULAN

Analisis data iklim harian Kota Makassar Provinsi Sulawesi Selatan dari tahun 2023 hingga Januari 2024 menunjukkan potensi baik untuk menggunakan energi angin sebagai alternatif pada tahun 2024. Keberhasilan ini didukung oleh kecepatan angin maksimal mencapai 10.76 m/s.

Berdasarkan hasil prediksi kecepatan angin tahun 2024 dapat dihitung bahwa daya listrik maksimal yang dapat dihasilkan adalah 1597 Watt. Kota Makassar memiliki potensi yang signifikan sebagai lokasi Pembangkit Listrik Tenaga Angin berdasarkan pola sebaran angin yang tinggi, terutama pada akhir tahun.

Kesimpulan ini memperkuat ide bahwa Kota Makassar bisa menjadi pusat pembangkit energi angin, berkontribusi dalam pengurangan terhadap ketergantungan pada energi

konvensional. Dengan eksplorasi lebih lanjut, diharapkan dapat memberikan kontribusi positif pada penerapan energi bersih dan berkelanjutan di Kota Makassar.

DAFTAR REFERENSI

- BMKG. (2023). *Pusat Database BMKG - Data Online*.
https://dataonline.bmkg.go.id/data_iklim
- Darmawan, N. R. (2019). *Prediksi Kondisi Cuaca Kota Surabaya Menggunakan Metode Artificial Neural Network* [Institut Teknologi Sepuluh Nopember].
https://repository.its.ac.id/60532/1/05211440000193-Undergraduate_Theses.pdf
- Fitria, E. R., & Rozci, F. (2023). Penerapan Metode Regresi Least Absolute Shrinkage and Selection Operator (LASSO) dan Regresi Linier untuk Memprediksi Tingkat Kemiskinan di Indonesia. *Jurnal Ilmiah Sosio Agribis*, 22(2), 123.
<https://doi.org/10.30742/jisa2220222620>
- Hadi, S. I., Ermatita, & Chamidah, N. (2022). Penerapan Fuzzy C-Means dan Fuzzy Sugeno dalam Memprediksi Cuaca. *4221*(April), 11–22.
- Karaman, Ö. A. (2023). Prediction of Wind Power with Machine Learning Models. *Applied Sciences*, 13(20), 11455. <https://doi.org/10.3390/app132011455>
- Putri, I. P., Terttiaavini, T., & Arminarahmah, N. (2024). Analisis Perbandingan Algoritma Machine Learning untuk Prediksi Stunting pada Anak. *Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, 4.
<https://doi.org/https://doi.org/10.57152/malcom.v4i1.1078>
- Rawal, A. R., Hamzah, B., & Mulyadi, R. (2023). Analisis potensi angin dan penggunaan turbin angin pada bangunan tinggi yang terletak di sisi barat Kota Makassar (Studi kasus: Delft Apartemen). *17*, 252–261.
<https://doi.org/https://doi.org/10.24252/teknosains.v17i2.37677>
- Reza Rifaldi, D. A. R. (2023, November). Pemadaman Listrik Bergilir di Makassar Capai 5-6 Jam, PLN Beri Penjelasan. *Kompas.Com*.
<https://makassar.kompas.com/read/2023/11/27/172431478/pemadaman-listrik-bergilir-di-makassar-capai-5-6-jam-pln-beri-penjelasan>
- Sachi, H., Kevin, I., & Yonathan, A. (2023). Klasifikasi Jenis Kelamin Berdasarkan Citra Wajah menggunakan Metode Deep Learning. *The Journal on Machine Learning and Computational Intelligence (JMLCI)*, 9–17.
- Wardhana, R. G., Wang, G., & Sibuea, F. (2023). Penerapan Machine Learning Dalam Prediksi Tingkat Kasus Penyakit Di Indonesia. *Journal of Information System Management (JOISM)*, 5(1), 40–45. <https://doi.org/10.24076/joism.2023v5i1.1136>
- Zhang, W., Wang, D., Sun, Z., Song, J., & Deng, X. (2021). Robust superhydrophobicity: mechanisms and strategies. *Chem. Soc. Rev.*, 50(6), 4031–4061.
<https://doi.org/10.1039/D0CS00751J>