



Evaluasi Reanalysis Solar Radiation Product Untuk Estimasi Intensitas Radiasi Matahari Saat Peralihan Monsun Di Nusa Tenggara Timur Periode 2023 – 2024

Rafli Iqbal Taufiqi¹, Ardia Hafiz Alzahra², dan Khisom Adi Purwanto³

^{1,2,3}Program Studi Meteorologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Kota Tangerang, Banten, Indonesia.

e-mail: rafliqbal060204@gmail.com

ABSTRAK. Peningkatan suhu telah terjadi di berbagai wilayah Indonesia. Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT) merupakan salah satu wilayah Indonesia yang mengalami peningkatan suhu akibat peralihan musim. Fenomena yang terjadi saat peralihan musim disebabkan oleh interaksi daratan dan lautan dengan radiasi matahari sebagai sumber energi utama, memengaruhi pola distribusi intensitas radiasi di wilayah ini. Keterbatasan jumlah pengukuran intensitas radiasi matahari di NTT menjadi tantangan dalam analisis distribusi radiasi secara menyeluruh. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi akurasi dua produk reanalysis, ERA-5 dan NCEP/DOE Reanalysis II dalam memvisualisasikan distribusi radiasi matahari selama peralihan monsun pada 2023-2024. Data dari kedua produk dibandingkan dengan pengukuran oleh AWS Stamet Digital Kupang menggunakan analisis statistik, seperti Mean Bias Error (MBE), Root Mean Square Error (RMSE), dan koefisien korelasi. Hasil menunjukkan bahwa ERA-5 memiliki performa lebih baik dengan RMSE 56,456 W/m² dan koefisien korelasi 0,48 meskipun nilai biasanya sedikit lebih tinggi dibandingkan NCEP/DOE. Distribusi intensitas radiasi menunjukkan nilai tertinggi di wilayah Merauke dan sebagian besar perairan dengan intensitas lebih dari 350 W/m², sementara nilai terendah ditemukan di Pulau Flores bagian selatan, barat laut Pulau Sumba, dan sebagian besar wilayah daratan, dengan intensitas kurang dari 300 W/m². Nilai rata-rata intensitas matahari meenurun sebesar 50 W/m² pada tahun 2023 dibandingkan tahun 2024 pada bulan peralihan monsun Maret - April dan November - Desember.

Kata kunci: Radiasi Matahari, Produk Reanalysis, Peralihan Monsun, Nusa Tenggara Timur, ERA-5, NCEP/DOE Reanalysis II.

PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun terakhir, peningkatan suhu global telah menimbulkan kekhawatiran terhadap fenomena gelombang panas (*heat wave*) yang dapat berdampak pada lingkungan, kesehatan masyarakat, dan pasokan energi di berbagai wilayah dunia termasuk Indonesia. Berdasarkan definisi dari WMO (World Meteorological Organization), *heat wave* terjadi ketika suhu maksimum harian pada lebih dari lima hari berturut-turut melebihi suhu maksimum rata-rata sebesar 5°C dengan periode normal tahun 1961-1990 (Piticar dkk., 2019). Berdasarkan pernyataan Kepala BMKG Dwikorita Karnawati, faktanya fenomena *heat wave* jarang terjadi di Indonesia karena lebih dari 60% wilayahnya adalah lautan yang berperan sebagai radiator pendingin (Ramadhan, 2023).

Di Indonesia, kenaikan suhu di beberapa wilayah lebih disebabkan oleh peralihan musim. Selain 2 musim utama kemarau dan penghujan terdapat musim peralihan, yaitu bulan April-Mei dan Oktober-November yang diidentifikasi dari perubahan arah angin (Suhery dkk., 2023). Fenomena ini erat kaitannya dengan monsun yang terjadi akibat perbedaan sifat fisis (panas jenis) daratan dan lautan serta interaksinya dengan sumber energi utama, yaitu radiasi matahari. Monsun diidentifikasi menggunakan beberapa indeks, seperti *Australia Monsoon Index* (AUSMI) yang digunakan untuk mengukur sirkulasi monsun di wilayah Australia dan *Western North Pacific Monsoon*

Index (WNPMI) untuk sirkulasi monsun di barat laut Pasifik (Wang dkk, 2001; Kajikawa dkk., 2010). Penelitian Mulsandi dkk. (2021) menunjukkan adanya korelasi positif untuk indeks AUSMI yang signifikan pada beberapa wilayah yang berdekatan dengan Australia diantaranya Bali, Jawa Timur, dan Nusa Tenggara Timur.

Radiasi matahari merupakan gelombang elektromagnetik yang dihasilkan dari proses fusi nuklir di inti matahari. Intensitasnya bervariasi sepanjang tahun, bergantung pada jarak objek terhadap matahari, dan menjadi faktor penting dalam berbagai aspek kehidupan. Dalam meteorologi, data radiasi matahari diperlukan untuk memodelkan cuaca dan menganalisis energi panas yang berpindah dari permukaan bumi ke atmosfer (Munawar dkk., 2022). Di sisi lain, faktor seperti tutupan awan, aerosol, dan uap air mempengaruhi intensitas radiasi yang sampai ke permukaan bumi dengan tutupan awan menjadi penyebab utama bias estimasi radiasi (Reni dkk., 2018; Peng dkk., 2019).

Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT) menjadi salah satu wilayah di Indonesia yang terdampak oleh peralihan musim dan memiliki potensi energi surya yang tinggi. Berdasarkan data pengukuran BMKG Eltari Kupang, radiasi matahari harian horizontal tertinggi di NTT terjadi pada bulan Oktober, yaitu 5,87 kWh/m²/d (Royana, 2020). Namun, keterbatasan alat pengukuran intensitas radiasi matahari, yaitu hanya terdapat 12 titik Automatic Weather Station (AWS) BMKG di seluruh wilayah NTT. Jumlah ini belum mencukupi untuk memetakan distribusi radiasi di wilayah NTT dengan luas 46.446 km² (BPS Provinsi NTT, 2024).

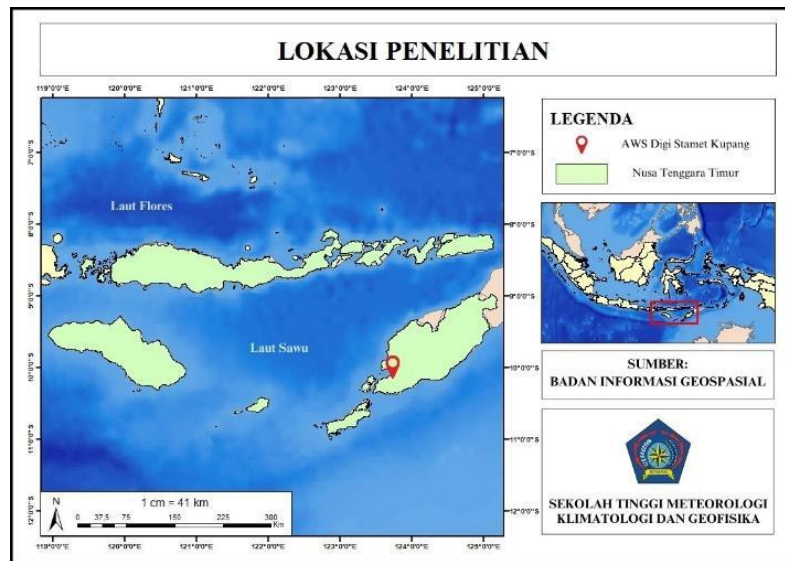
Oleh karena itu, data reanalisis menjadi alternatif untuk mengisi kekosongan data. Data reanalisis adalah hasil analisis ulang prediksi menggunakan data observasi dan model numerik yang memberikan hasil lebih konsisten dan dinamis. Beberapa produk reanalisis diantaranya adalah ERA-5 dari European Center for Medium-Range Weather Forecasting (ECMWF) dan NCEP/DOE Reanalysis II dari National Centers for Environmental Prediction (NCEP) yang telah banyak digunakan dalam evaluasi iklim dan radiasi matahari di berbagai belahan dunia. Evaluasi terhadap akurasi produk ini menunjukkan bahwa bias estimasi sebagian besar disebabkan oleh ketidaktepatan parameterisasi tutupan awan (Zhang dkk., 2016; Peng dkk., 2019).

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi data reanalisis dalam menggambarkan distribusi intensitas radiasi matahari di wilayah NTT dibandingkan dengan data pengukuran langsung (AWS) yang tersedia berdasarkan nilai evaluasi statistik. Hasilnya didapatkan keluaran visualisasi estimasi intensitas radiasi matahari di Nusa Tenggara Timur (NTT) periode bulan peralihan monsun tahun 2023-2024 pada area yang tidak terdapat pengukuran langsung intensitas matahari menggunakan data reanalisis terbaik.

METODE

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di wilayah Nusa Tenggara Timur dengan satu titik pengukuran sebagai evaluasi yang terletak di Stasiun Meteorologi Klas II Eltari Kupang yang ditunjukkan **Gambar 1**. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada ketersediaan data intensitas matahari menggunakan alat otomatis Automatic Weather Station (AWS) yang terletak pada titik koordinat -10.16 LS dan 123.67 BT. Waktu pada penelitian ini dilakukan pada periode 2023-2024 dengan fokus utama saat terjadi peralihan monsun. Provinsi NTT terletak pada titik koordinat 8°–12° LS dan 118°–125° BT.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

Pendekatan Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan pada penelitian ini adalah deskriptif-komparatif. Pendekatan komparatif pada penelitian ini dilakukan dengan membandingkan dua produk reanalisis intensitas radiasi matahari. Berdasarkan evaluasi kedua produk tersebut menggunakan data pengukuran (AWS) dapat dianalisis produk yang menunjukkan hasil evaluasi terbaik untuk divisualisasikan.

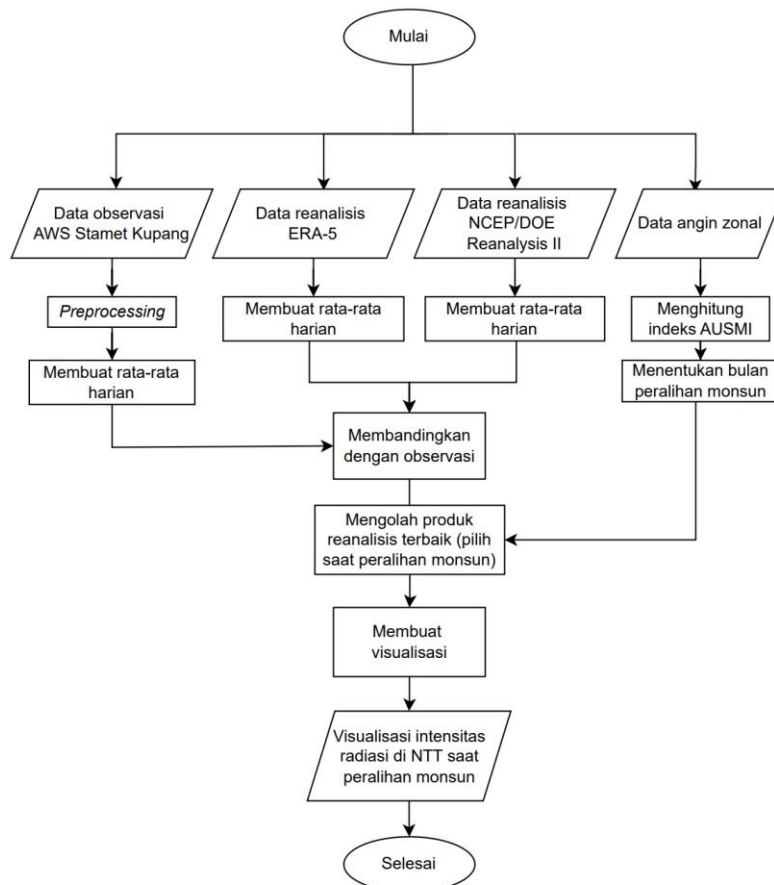
Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder antara lain data untuk indeks monsun AUSMI, data reanalisis, dan data observasi. Data indeks monsun menggunakan data reanalisis angin zonal *pressure level* European Center for Medium-Range Weather Forecasting (ECMWF) ERA-5 sebagai identifikasi kejadian monsun AUSMI pada ketinggian 850 hPa dan wilayah (110° – 130° BT & 15° - 5° LS) (Kajikawa dkk., 2010). Indeks monsun AUSMI digunakan berdasarkan penelitian Mulsandi dkk. (2021) bahwa indeks monsun akan signifikan apabila berada di cakupan wilayahnya. Data reanalisis radiasi matahari permukaan yang digunakan adalah data reanalisis oleh European Center for Medium-Range Weather Forecasting (ECMWF) ERA-5 dan National Centers for Environmental Prediction (NCEP) NCEP/DOE Reanalysis II. Kemudian untuk data observasi permukaan intensitas radiasi matahari berasal dari Automatic Weather Station (AWS) pada salah satu titik di Nusa Tenggara Timur, yaitu AWS Digital Stamet Kupang. Data ini digunakan untuk membandingkan dengan data reanalisis atau sebagai variabel kontrol. Satuan yang digunakan adalah (W/m^2).

Pengolahan Data

Diagram alir penelitian dalam pengolahan ditunjukkan oleh **Gambar 2.** yang diawali dengan *preprocessing* data observasi (AWS) untuk memastikan tidak ada data anomali dan dilakukan rata-rata harian pada data observasi (AWS). Selanjutnya data angin zonal pressure level diolah menggunakan Climate Data Operator (CDO) untuk mengekstrak data menjadi harian lalu diekstraksi hingga format menjadi tabular kemudian dan diseminasi menjadi grafik. Kemudian Data ERA-5 dan NCEP Reanalysis II ini diproses menggunakan CDO untuk mendapatkan nilai intensitas radiasi matahari pada titik sesuai AWS. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan data reanalisis dari ERA-5 dan NCEP/DOE Reanalysis II dengan data observasi (AWS) menggunakan metode statistik. Metode statistik yang digunakan adalah *Mean Bias Error (MBE)*, *Root Mean Square*

Error (RMSE), dan koefisien korelasi (r) dihitung untuk menilai akurasi masing-masing produk reanalisis. Produk dengan performa terbaik pada periode peralihan monsun dipilih untuk pengolahan dan visualisasi lebih lanjut. Data hasil evaluasi produk reanalisis terbaik intensitas radiasi matahari kemudian dipetakan menggunakan salah satu dari python *library* yaitu Cartopy. Visualisasi ini dilakukan dalam bentuk peta spasial yang menggambarkan pola distribusi radiasi matahari di wilayah NTT pada periode rata-rata bulan peralihan monsun AUSMI.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Pengolahan Data

Teknik analisis data yang dilakukan pada penelitian ini adalah dengan cara membaca tabel, grafik, hasil evaluasi, dan visualisasi intensitas radiasi matahari. Analisis yang dilakukan pertama dengan menganalisis hasil indeks monsun AUSMI untuk menentukan peralihan monsun berdasarkan nilai indeks yang sudah diolah pada periode 2023-2024. Selanjutnya analisis hasil evaluasi metode statistik untuk mendapatkan produk reanalisis terbaik yang akan dibuat visualisasi. Kemudian terakhir dengan menganalisis visualisasi estimasi intensitas radiasi saat bulan peralihan monsun di Nusa Tenggara Timur.

Evaluasi Data

Evaluasi yang dilakukan dengan menggunakan metode statistik untuk membandingkan hasil luaran produk reanalisis terhadap data observasi (AWS). Beberapa metode statistik yang digunakan pada penelitian ini antara lain (Turkish State Meteorological Service):

Mean Bias Error (MBE)

MBE digunakan untuk mengukur simpangan rata-rata antara hasil prediksi reanalisis dan data observasi. Nilai MBE yang mendekati nol menunjukkan akurasi yang lebih baik. Jika nilai MBE positif keluaran reanalisis cenderung *overestimate* dan *underestimate* ketika MBE bernilai negatif. Rumus perhitungan MBE dapat dilihat pada persamaan 1.

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (c_i - o_i) \quad (1)$$

Keterangan

MBE : *Mean Bias Error*

n : jumlah data

c : data model

o : data observasi

Root Mean Square Error (RMSE)

Metode RMSE digunakan untuk mengevaluasi tingkat penyebaran kesalahan antara data reanalisis dan observasi. Semakin kecil nilai RMSE maka tingkat kesalahan dalam reanalisis semakin rendah dan menunjukkan bahwa hasil keluaran reanalisis semakin baik. Rumus perhitungan RMSE sesuai dengan dapat dilihat pada persamaan 2.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (c_i - o_i)^2} \quad (2)$$

Keterangan:

RMSE : *Root Mean Square Error*

n : jumlah data

c : data model

o : data observasi

Koefisien korelasi (r)

Metode ini digunakan untuk mengukur hubungan pola antara hasil reanalisis dan data observasi. Nilai korelasi berada dalam rentang -1 hingga +1 dimana nilai +1 menunjukkan hubungan pola positif, 0 menunjukkan tidak adanya hubungan linear, dan -1 menunjukkan hubungan pola negatif. Rumus perhitungan koefisien korelasi (r) sesuai dengan dapat dilihat pada persamaan 3.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (c_i - c)(o_i - o)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (c_i - c)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (o_i - o)^2}} \quad (3)$$

Keterangan:

r : koefisien korelasi

n : jumlah data

c : data model

o : data observasi

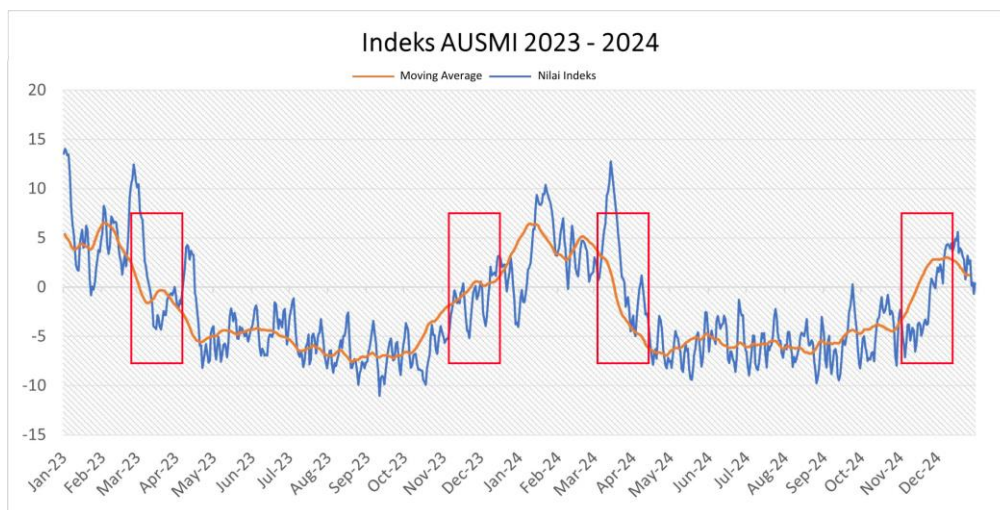
Menurut Prastyo (2017) kekuatan hubungan antara dua variabel dapat dikategorikan ke dalam lima kriteria, ditunjukkan dalam **Tabel 1.** berikut.

Tabel 1. Klasifikasi kekuatan hubungan antara dua variabel

Nilai	Keterangan
< 0.2	Koreksi sangat lemah
0.2 - 0.39	Koreksi lemah
0.4 - 0.59	Korelasi cukup/sedang
0.6 - 0.79	Korelasi kuat
> 0.8	Korelasi sangat kuat

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 3. merupakan grafik Indeks AUSMI dari 01 Januari 2023 hingga 31 Desember 2024. Nilai tersebut didapatkan dari rerata angin zonal pada wilayah lintang yang ditentukan. Grafik tersebut menunjukkan pola naik dan turun nilai indeks sepanjang waktu yang mana sumbu horizontal mewakili rentang waktu selama dua tahun dan sumbu vertikal menunjukkan nilai indeks yang berkisar dari sekitar -15 m/s hingga 15 m/s. Bulan peralihan monsun AUSMI ditunjukkan dengan perubahan nilai positif (+) ke negatif (-) atau sebaliknya pada rata-rata bergerak (*moving average*). Berdasarkan grafik tersebut, bulan peralihan monsun AUSMI ditandai dengan kotak warna merah yang berada pada bulan Maret – April 2023, November – Desember 2023, Maret – April 2024, dan November – Desember 2024.

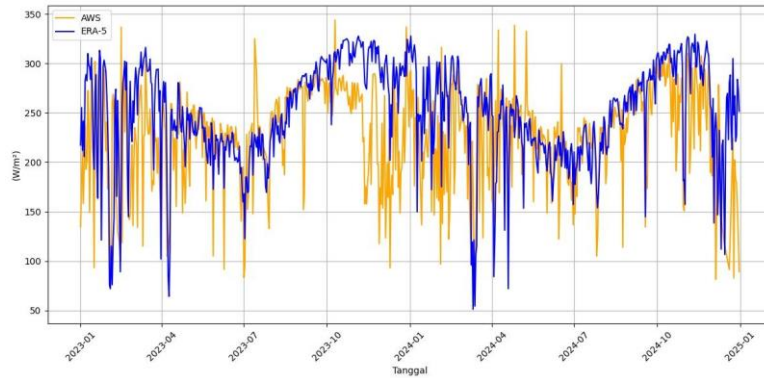


Gambar 3. Indeks AUSMI

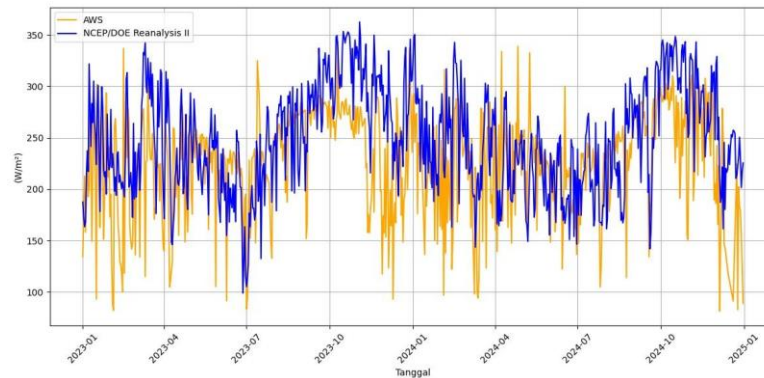
Gambar 4.a merupakan grafik perbandingan dua dataset, yaitu AWS ditandai dengan warna kuning dan ERA-5 ditandai dengan warna biru. Secara keseluruhan kedua dataset memiliki pola fluktuasi naik dan turun yang mirip. Secara umum, data AWS menunjukkan variabilitas yang lebih tinggi dengan fluktuasi yang lebih tajam dibandingkan dengan data ERA-5. Hal ini dapat mengindikasikan bahwa data observasi langsung (AWS) lebih sensitif terhadap lingkungan sekitar dibandingkan ERA-5 dalam memprediksi bias. Hal tersebut sesuai dengan penelitian Urraca (2018) menunjukkan bahwa kurang tepat ERA-5 dalam memprediksi awan.

Gambar 4.b merupakan grafik perbandingan dua dataset, yaitu AWS ditandai dengan warna kuning dan NCEP/DOE Reanalysis II ditandai dengan warna biru. Berbeda dengan perbandingan sebelumnya, AWS menunjukkan fluktuasi yang lebih kecil dibandingkan dengan

NCEP/DOE Reanalysis II. Data AWS setelah dilakukan *preprocessing* memiliki rentang intensitas radiasi matahari 90 W/m^2 hingga 345 W/m^2 . Kemudian rentang nilai dari ERA-5 adalah 50 W/m^2 hingga 320 W/m^2 serta NCEP/DOE Reanalysis II bernilai sekitar 100 W/m^2 hingga 370 W/m^2 .



(a)



(b)

Gambar 4. Perbandingan AWS dengan ERA-5 (a) dan NCEP/DOE Reanalysis II (b)

Berdasarkan **Tabel 2.** menunjukkan hasil evaluasi terhadap dua produk reanalisis ERA-5 dan NCEP/DOE Reanalysis II dengan data pengukuran (AWS). Evaluasi statistik dilakukan menggunakan tiga metode *Mean Bias Error* (MBE), *Root Mean Square Error* (RMSE), dan Koefisien Korelasi. Pada metode MBE hasil menunjukkan ERA-5 memiliki nilai sebesar $26,704 \text{ W/m}^2$ yang lebih tinggi dibandingkan dengan NCEP/DOE Reanalysis II sebesar $25,666 \text{ W/m}^2$. Hal ini menunjukkan bahwa ERA-5 cenderung memberikan bias yang sedikit lebih besar karena semakin rendah nilai MBE maka akurasi semakin bagus.

Pada metode RMSE hasil yang didapatkan adalah ERA-5 memiliki nilai lebih rendah dengan nilai $56,456 \text{ W/m}^2$ dibandingkan dengan NCEP/DOE Reanalysis II yang memiliki nilai sebesar $59,511 \text{ W/m}^2$. Nilai RMSE yang lebih kecil menunjukkan bahwa ERA-5 memiliki error kuadrat rata-rata yang lebih rendah sehingga menunjukkan akurasinya yang lebih baik. Tingginya nilai RMSE disebabkan data pengukuran yang memiliki rentang nilai yang cukup lebar dibandingkan dengan data model, akan tetapi untuk tujuan perbandingan dua model nilai relatif lebih dibutuhkan daripada nilai asli.

Selain itu, ERA-5 memiliki koefisien korelasi sebesar 0,48 yang sedikit lebih tinggi jika dibandingkan NCEP/DOE Reanalysis II dengan nilai 0,46. Nilai koefisien korelasi yang lebih tinggi menunjukkan hubungan yang lebih baik, sehingga ERA-5 lebih erat hubungannya dengan data

observasi (AWS). Kedua hasil koefisien korelasi tersebut berdasarkan **Tabel 2.** menunjukkan korelasi cukup/ sedang sehingga dapat diidentifikasi kedua dataset reanalisis memiliki hubungan yang cukup baik dengan data observasi (AWS).

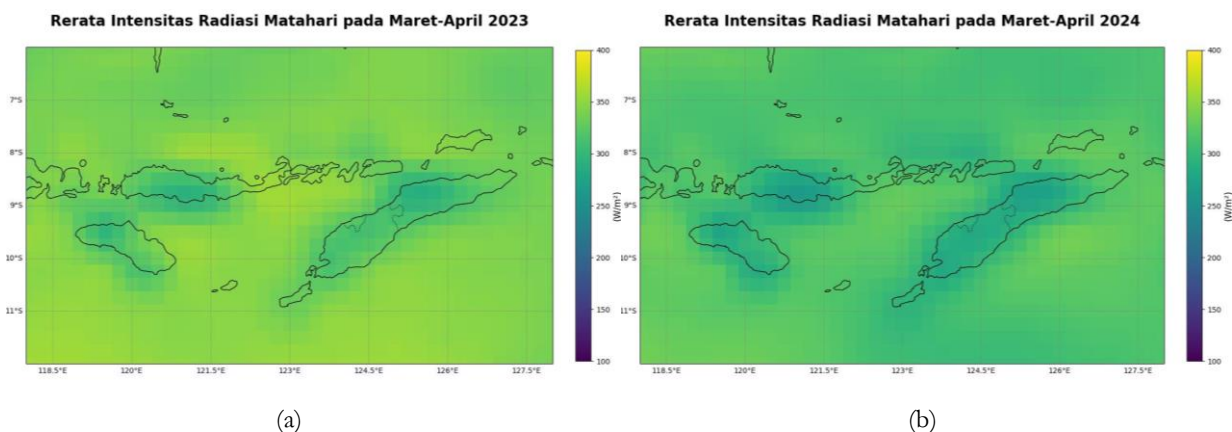
Berdasarkan hasil evaluasi menggunakan 3 metode dapat disimpulkan bahwa produk reanalisis ERA-5 memiliki kinerja atau performa yang lebih baik dibandingkan NCEP/DOE Reanalysis II. ERA-5 menunjukkan performa yang baik dalam nilai *RMSE* yang lebih rendah dan koefisien korelasi yang lebih kuat dengan data observasi (AWS) meskipun memiliki bias yang sedikit lebih tinggi. Hal ini juga didukung dengan penelitian Tahir dkk. (2020) yang menunjukkan analisis statistik menggunakan data sub-harian ERA-5 dan ERA-Interim menunjukkan kinerja keseluruhan terbaik di antara semua dataset pada wilayah penelitiannya. Oleh karena itu, ERA-5 akan lebih baik dalam mengestimasi intensitas radiasi matahari khususnya Provinsi NTT.

Tabel 2. Evaluasi produk reanalisis

Data Renalisis	Mean Bias Error (MBE) W/m ²	Root Mean Square Error (RMSE) W/m ²	Koefisien Korelasi
ERA-5	26,704	56,456	0.48
NCEP/DOE Reanalysis II	25,666	59,511	0,46

Gambar 5.a merupakan visualisasi estimasi rata-rata intensitas radiasi matahari untuk Maret-April 2023 di Provinsi Nusa Tenggara Timur. Wilayah dengan intensitas tertinggi ditandai dengan warna kuning dan terendah ditandai dengan warna ungu. Visualisasi tersebut menunjukkan distribusi yang relatif tinggi di wilayah sekitar Maumere dan perairan selatan NTT dengan intensitas lebih dari 350 W/m². Sementara itu, wilayah dengan distribusi relatif terendah berada di Pulau Flores bagian selatan dan Pulau Sumba bagian barat laut dengan nilai di bawah 300 W/m².

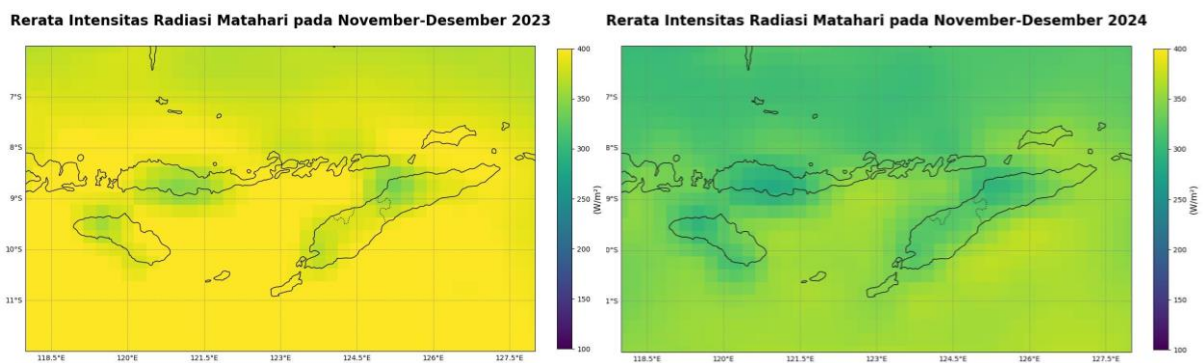
Visualisasi estimasi rata-rata intensitas radiasi matahari untuk Maret-April 2024 di Provinsi Nusa Tenggara Timur ditunjukkan oleh **Gambar 5.b**. Nilai rata-rata pada sebagian besar wilayah NTT mengalami penurunan dibandingkan tahun sebelumnya. Wilayah dengan intensitas tertinggi, yaitu wilayah sekitar Maumere dan perairan selatan NTT dengan nilai intensitas lebih dari 300 W/m² meskipun mengalami penurunan dibanding tahun 2023. Tidak berbeda dari tahun 2023, sebagian besar Pulau Flores bagian selatan dan Pulau Sumba bagian barat laut memiliki intensitas terendah dengan nilai kurang lebih 250 W/m². **Gambar 5.a** dan **5.b** menunjukkan perbedaan nilai estimasi intensitas radiasi matahari bulan Maret - April antar tahun dengan tahun 2023 menunjukkan potensi radiasi matahari yang lebih tinggi dibandingkan dengan tahun 2024.



Gambar 5. Visualisasi intensitas radiasi matahari Maret - April 2023 (a) dan 2024 (b)

Gambar 6.a menunjukkan rata-rata intensitas radiasi matahari di Provinsi Nusa Tenggara Timur untuk periode November-Desember 2023. Wilayah dengan intensitas tertinggi terdapat pada bagian selatan Pulau Timor, Merauke dan sebagian perairan selatan Pulau Timor yang ditandai dengan warna kuning dan memiliki nilai sekitar 400 W/m². Daerah dengan intensitas terendah ditunjukkan oleh warna hijau pada wilayah barat daya Pulau Flores dan barat Pulau Sumba dengan nilai kurang dari 300 W/m².

Pada **Gambar 6.b** rata-rata intensitas radiasi matahari untuk November-Desember 2024 menunjukkan pola yang hampir sama dibandingkan tahun sebelumnya. Wilayah dengan intensitas tertinggi masih berada di sekitar selatan Pulau Timor, Merauke, dan sebagian perairan selatan Pulau Timor namun dengan nilai yang lebih rendah di atas 350 W/m². Sementara itu, daerah dengan intensitas terendah tetap berada di sekitar barat daya Pulau Flores dan barat Pulau Sumba dengan nilai di bawah 300 W/m². Perbedaan estimasi antara **Gambar 6.a** dan **6.b** menunjukkan adanya penurunan intensitas radiasi matahari di sebagian besar wilayah Provinsi NTT pada 2024 dibandingkan 2023 periode November - Desember.



Gambar 6. Visualisasi intensitas radiasi matahari November - Desember 2023 (a) dan 2024 (b)

Berdasarkan **Gambar 5.a, 5.b, 6.a,** dan **6.b** visualisasi menunjukkan distribusi intensitas radiasi matahari maksimum lebih tinggi di wilayah perairan dibandingkan dengan daratan. Hal ini didukung dengan penelitian Graha dkk. (2024) bahwasanya wilayah perairan lebih banyak menyerap radiasi cahaya matahari dikarenakan kandungan material padatan tersuspensi (mpt) yang tinggi. Perbedaan lain antara tahun 2023 dan 2024 menunjukkan penurunan intensitas radiasi matahari dari 350 W/m² ke 300 W/m² pada bulan peralihan monsun baik April - Maret dan November - Desember.

Terdapat beberapa keterbatasan dalam penelitian ini yang perlu diperhatikan. Salah satunya adalah jumlah titik pengukuran Automatic Weather Station (AWS) yang digunakan, sehingga evaluasi reanalysis hanya dapat dilakukan pada area tertentu. Hal ini mungkin memengaruhi representasi distribusi intensitas radiasi matahari pada wilayah yang lebih luas. Data pengukuran juga memiliki kekurangan seperti tidak dilakukannya *control quality* dengan membandingkan data AWS dengan data AWS lain atau pengukuran lain sehingga kecacatan data sulit untuk dideteksi dan dapat menyebabkan tidak sesuainya nilai uji statistik.

Kekurangan dari data reanalysis adalah resolusi spasial mungkin tidak cukup untuk menangkap detail perubahan distribusi radiasi matahari secara lebih spesifik di wilayah-wilayah kecil. Kekurangan ini mengindikasikan perlunya pengembangan lebih lanjut seperti peningkatan resolusi model reanalysis, penggunaan alat ukur intensitas tambahan, dan kombinasi metode analisis lain yang dapat memberikan hasil yang lebih komprehensif.

KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa ERA-5 memiliki performa lebih baik dibandingkan NCEP/DOE Reanalysis II dengan nilai RMSE 56,456 W/m² dan koefisien korelasi yang lebih tinggi 0,48. Hal ini menunjukkan bahwa ERA-5 lebih akurat dalam mengestimasi data pengukuran (AWS) meskipun memiliki nilai bias yang sedikit lebih besar dengan nilai MBE 26,074 W/m². Analisis indeks AUSMI menunjukkan bulan peralihan monsun pada Maret – April 2023, Maret - April 2024, November - Desember 2024, dan November - Desember 2024. Visualisasi rata-rata intensitas radiasi matahari pada bulan peralihan monsun dapat disimpulkan bahwa wilayah Pulau Timor, Merauke, dan sebagian perairan selatan Pulau Timor memiliki intensitas radiasi matahari yang lebih tinggi dibandingkan wilayah lain dengan nilai di atas 350 W/m². Sementara itu, intensitas terendah ditunjukkan pada wilayah barat daya Pulau Flores dan barat Pulau Sumba dengan nilai di bawah 300 W/m². Distribusi nilai intensitas radiasi ini juga menunjukkan wilayah lautan memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan daratan. Visualisasi intensitas matahari pada tahun 2024 menunjukkan lebih rendah dibandingkan tahun 2023 dengan penurunan sekitar 50 W/m². Dengan demikian, produk yang direkomendasikan dalam estimasi distribusi intensitas radiasi matahari terutama di wilayah yang tidak memiliki pengukuran langsung di Provinsi Nusa Tenggara Timur khususnya saat peralihan monsun adalah produk reanalisis ERA-5.

REFERENSI

- Badan Pusat Statistik Provinsi Nusa Tenggara Timur. (2024). Luas daerah menurut pulau - Tabel Statistik. Badan Pusat Statistik Provinsi Nusa Tenggara Timur. Diakses dari <https://ntt.bps.go.id/id/statistics-table/2/OT11IzI=/luas-daerah-menurut-pulau.html>. Diakses 11 November 2024.
- Graha, D. S., Kunarso, K., & Zainuri, M. (2024). Variabilitas antar tahunan suhu permukaan laut dan klorofil-A terhadap hasil tangkapan ikan kembung (*Rastreligger sp.*) di perairan Demak. *Indonesian Journal of Oceanography*, 6(2), 148–158.
- Kajikawa, Y., Wang, B., & Yang, J. (2010). A multi-time scale Australian monsoon index. *International Journal of Climatology*, 30(8), 1114–1120.
- Mulsandi, A., Sopaheluwakan, A., Faqih, A., Hidayat, R., & Koesmaryono, Y. (2021). Evaluasi performa indeks Monsun AUSMI dan WNPMI di wilayah Indonesia. *Jurnal Sains dan Teknologi Modifikasi Cuaca*, 22(2), 61–70.
- Munawar, A. M., & Hidayat, A. M. (2022). Model estimasi data intensitas radiasi matahari untuk wilayah Banten. *Jurnal Sains dan Teknologi Modifikasi Cuaca*, 21(2), 53–61.
- Peng, X., She, J., Zhang, S., Tan, J., & Li, Y. (2019). Evaluation of multi-reanalysis solar radiation products using global surface observations. *Atmosphere*, 10(42), 1–16.
- Piticar, A., Cheval, S., & Frighenciu, M. (2019). A review of recent studies on heat wave definitions, mechanisms, changes, and impact on mortality. *Forum Geografic. Studii și Cercetări de Geografie și Protecția Mediului*, 18(2), 96–114.
- Prastyo, H. (2017). *Statistik Dasar: Sebuah panduan untuk peneliti pemula*. Mojokerto: Lembaga Pendidikan dan Pelatihan: International English Institute of Indonesia. ISBN: 978-602-61737-0-6.
- Ramadhan, D. N. (2023). BMKG sebut Indonesia tak terdampak gelombang panas karena luas lautan. *ANTARA News*. Diakses dari <https://www.antaraneews.com/berita/3640641/bmkg-sebut-indonesia-tak-terdampak-gelombang-panas-karena-luas-lautan>. Diakses 11 November 2024.
- Reni, A., Muliadi, & Adriat, R. (2018). Analisis pengaruh tutupan awan terhadap radiasi matahari di Kota Pontianak. *PRISMA FISIKA*, 6(3), 214–219.



- Royana, I. (2020). Perancangan teknologi energi surya untuk mengatasi kekeringan di daerah perbatasan (Studi kasus di Desa Sulamu, Kabupaten Kupang, Nusa Tenggara Timur). *Jurnal Dialog Penanggulangan Bencana*, 11(2), 123–137.
- Urraca, R., Huld, T., Gracia-Amillo, A., Martinez-de-Pison, F. J., Kaspar, F., & Sanz-Garcia, A. (2018). Evaluation of global horizontal irradiance estimates from ERA5 and COSMO-REA6 reanalyses using ground and satellite-based data. *Solar Energy*, 164, 339–354.
- Suhery, N., & Jaya, M. M. (2023). Keterkaitan musim hujan dan musim angin dengan musim penangkapan ikan lemuru yang berbasis di PPN Pengambengan. *Marine Fisheries*, 14(1), 77–90.
- Tahir, Z. U. R., Azhar, M., Mumtaz, M., Asim, M., Moeenuddin, G., Sharif, H., & Hassan, S. (2020). Evaluation of the reanalysis surface solar radiation from NCEP, ECMWF, NASA, and JMA using surface observations for Balochistan, Pakistan. *Journal of Renewable Sustainable Energy*, 12(2), 023703.
- Turkish State Meteorological Service. Model Evaluation. Diakses dari <http://www.sdswa.mgm.gov.tr>, Diakses 11 November 2024.
- Wang, B., Wu, R., & Lau, K. M. (2001). Interannual variability of the Asian summer monsoon: Contrasts between the Indian and the Western North Pacific–East Asian monsoons. *American Meteorological Society*, 14, 4073–4090.
- Zhang, X., Liang, S., Wang, G., Yao, Y., Jiang, B., & Cheng, J. (2016). Evaluation of the reanalysis surface incident shortwave radiation products from NCEP, ECMWF, GSFC, and JMA using satellite and surface observations. *Remote Sensing*, 8(225), 1–24.