
Model Estimasi Data Intensitas Radiasi Matahari untuk Wilayah Banten

Modelling Estimation of Solar Intensity Radiation in Banten

Munawar¹, Adi Mulsandi²

¹Program Studi Geofisika, STMKG

²Program Studi Meteorologi, STMKG, Indonesia

ABSTRAK

Data intensitas radiasi matahari (R_s , $MJm^{-2}d^{-1}$) memiliki peran yang sangat penting dalam pemodelan cuaca dan iklim guna mengkuantifikasi panas yang dipertukarkan antara permukaan dan atmosfer. Data tersebut merupakan variabel penting yang digunakan dalam agrikultura, hidrologi, meteorologi, dan fisika tanah. Namun, keterbatasan jumlah titik pengamatan intensitas radiasi matahari menjadikan estimasi pemodelan sebagai alternatif solusi yang terbaik. Saat ini, telah banyak model pendekatan yang tersedia untuk mengestimasi besarnya intensitas radiasi matahari. Penelitian ini mengevaluasi dua model pendekatan yang berbeda, yaitu model empiris oleh Keiser, AR dan model deterministik dengan menggunakan tiga variabel utama cuaca sebagai input data, yaitu curah hujan (mm), suhu maksimum ($^{\circ}C$), dan suhu minimum ($^{\circ}C$). Hasil evaluasi prediksi dengan model terhadap data reanalisis, NCEP pada titik koordinat wilayah Stasiun Klimatologi Pondok Betung menunjukkan nilai korelasi yang cukup baik, yakni mencapai 0,72 (korelasi kuat) dengan nilai RMSE $2 MJm^{-2} d^{-1}$. Berdasarkan tinjauan secara spasial, model memiliki performa yang bervariasi di wilayah Provinsi Banten, di mana hasil prediksi intensitas radiasi matahari di wilayah bagian barat Banten memiliki performa yang lebih baik dibandingkan wilayah bagian timur.

Kata Kunci: intensitas radiasi matahari, model empiris, model deterministik

ABSTRACT

Solar radiation data (R_s , $MJm^{-2}d^{-1}$) has a significant role in weather and climate model in quantifying heat exchange between earth surfaces and the atmosphere. Solar radiation data also an important variable in agricultural sciences, hydrology, meteorology, and soil physics. However, the sparsity of weather stations spot in which solar radiation intensity can be observed makes model estimation as one of the best alternative solution for solar radiation intensity measurements. Today, there are many models that can be used to estimate the magnitude of solar radiation intensity. This study aims to investigate and evaluate two different modelling approach, first through an empirical model, represented by The Keiser AR (sama seperti abstrak Indonesia, apakah nama modelnya Keiser, AR atau AR itu singkatan dari Arkansas?, kalau singkatan uraikan dulu AR itu apa baru akronimkan) and two, through a deterministic model, which uses three main weather variables as the input data. These variables consists of rainfall (mm), maximum temperature ($^{\circ}C$), and minimum temperature ($^{\circ}C$) data. Evaluation results of predicted solar radiation intensity data by the model compared to daily reanalysis data of solar radiation from NCEP in coordinate point of Pondok Betung Climatological Station shows a correlation value of 0.72 (i.e a strong correlation value) and a root mean square error value (RMSE) of $2 MJm^{-2}d^{-1}$. Based on spatial review, the model performance varies over The Province of Banten, the predicted results of solar radiation data in the province's western region shows better performance than those in the province's eastern region.

Keywords: solar radiation intensity, empirical model, deterministic model

Munawar,
Program Studi Geofisika,
Sekolah Tinggi Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika, Indonesia,
Jl. Perhubungan I No.5 Pondok Betung, Bintaro, Kec. Pd. Aren, Kota Tangerang Selatan, Banten 15221.
Email: corresp-author@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Radiasi matahari pada permukaan bumi merupakan variabel penting yang digunakan dalam agrikultur, khususnya *crop modelling* dan estimasi evapotranspirasi tanaman, hidrologi, meteorologi, dan fisika tanah (Ball dkk., 2004). Data pengamatan intensitas radiasi matahari (R_s , $MJm^{-2}d^{-1}$) merupakan salah satu data yang sangat penting dalam pemodelan cuaca untuk mengkuantifikasi besarnya energi panas yang dipertukarkan dari permukaan ke atmosfer. Keberhasilan dalam mengkuantifikasi neraca panas konsep tersebut akan menentukan akurasi model dalam memprediksi cuaca. Namun sayangnya, data pengamatan intensitas radiasi masih sangat kurang dibandingkan luasan wilayah yang ada [1]. Hal ini disebabkan bukan hanya karena mahalnya harga komponen peralatan pengamatan radiasi matahari, tetapi juga tingginya biaya perawatan dan kalibrasi sensor radiasi matahari sehingga tidak jarang banyak ditemukan data kosong akibat kerusakan alat. Tidak hanya di Indonesia terbatasnya jumlah alat pengamatan radiasi tersebut juga diamati di Amerika Serikat, di mana jumlah alat pengamatan radiasi matahari jika dibandingkan jumlah alat pengamatan suhu di stasiun cuaca adalah 1:100, sementara di seluruh dunia perbandingannya mencapai 1:500 [2]. Di Ontario, Kanada, sebagai contohnya terdapat 35 stasiun yang melakukan pengamatan data meteorologi, namun hanya 8 dari total 35 stasiun yang mengamati data intensitas radiasi matahari selama lebih dari 5 tahun. Bahkan data radiasi matahari pada stasiun-stasiun tersebut banyak yang hilang akibat kerusakan alat dan permasalahan lain, dan banyak data pada hari-hari selanjutnya yang teramati berada di luar batas yang diharapkan [3].

Di Indonesia, pengukuran intensitas radiasi matahari utamanya dilakukan oleh stasiun klimatologi. Jumlah stasiun klimatologi di Indonesia sendiri cukup terbatas, yaitu hanya sekitar 27 stasiun sehingga pemodelan menjadi solusi yang paling memungkinkan dan sangat murah untuk dapat menyediakan data radiasi di seluruh wilayah Indonesia yang tidak terdapat titik pengamatan intensitas radiasi matahari. Berbagai model telah banyak dikembangkan untuk mengestimasi besarnya intensitas matahari [4]–[10]. Model-model estimasi intensitas matahari tersebut dibangun dari beberapa data parameter utama cuaca hasil pengukuran stasiun pengamatan yang notabene masih menjadi permasalahan utama di wilayah Indonesia akibat masih terbatasnya jumlah titik pengamatan stasiunnya. Kebanyakan model tersebut membutuhkan data observasi harian dari suhu, curah hujan, dan radiasi matahari [11]–[13].

Data observasi harian dari suhu maksimum dan minimum serta pengukuran curah hujan tersedia di banyak titik stasiun meteorologi atau klimatologi, namun pengukuran intensitas radiasi matahari hanya tersedia di titik-titik tertentu yang jumlahnya terbatas [1]. Oleh karena itu, data reanalisis akan digunakan dalam penelitian ini untuk membangun model dan mengestimasi besarnya intensitas radiasi di wilayah Provinsi Banten. Dua pendekatan model yang digunakan dalam penelitian ini adalah model empiris oleh Keiser, AR, dan model deterministik oleh Hunt [3] dengan menggunakan tiga variabel cuaca yang diperoleh dari data *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) sebagai input data, yang antara lain meliputi data-data curah hujan, suhu maksimum, dan suhu minimum. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengevaluasi performa model dalam mengestimasi nilai intensitas radiasi matahari di wilayah penelitian. Penelitian ini juga menjadi penting karena data reanalisis NCEP memiliki latensi waktu tiga hari sehingga tidak dapat tersedia secara *realtime*. Data *realtime* sangat dibutuhkan model sebagai data masukan terbaru untuk dapat melakukan analisis ataupun prediksi cuaca yang diharapkan dapat lebih baik.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan data reanalisis *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) di lokasi koordinat Stasiun Klimatologi Pondok Betung. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data harian selama 5 tahun mulai dari tahun 2015 – 2019. Data reanalisis NCEP merupakan keluaran dari model asimilasi atau prediksi yang melibatkan gabungan dari berbagai instrumen pengamatan cuaca seperti satelit, radar, dan pengamatan permukaan, serta udara atas [14]. Model dijalankan dengan menggunakan resolusi horizontal T62 atau sekitar $2^0 \times 2^0$ dengan 28 grid vertikal. Data curah hujan dan temperatur tersedia dalam *grid gaussian* dengan resolusi baik T62 maupun *grid MSLP* $2.5^0 \times 2.5^0$. Data reanalisis NCEP merupakan hasil analisis ulang dengan

menggunakan metode atau pendekatan yang paling mutakhir dan konsisten berdasarkan data yang telah tersedia selama periode tahun 1958-1997.

Pendekatan dengan dua model berbeda yang digunakan untuk memprediksi atau mengestimasi nilai intensitas radiasi matahari dalam penelitian ini adalah model empiris dan model deterministik. Hasil pendekatan kedua model ini kemudian dibandingkan dengan nilai radiasi matahari dari data reanalisis NCEP yang dalam hal ini digunakan sebagai representasi data observasi. Hal ini penting karena selama ini belum ada yang mampu menyediakan data radiasi matahari yang dapat diperoleh dan diperbaharui secara *realtime*, mengingat data NCEP sendiri memiliki latency selama 3 hari, sehingga pendekatan dengan kedua model tersebut diharapkan dapat menjadi alternatif baru dalam menyediakan data radiasi matahari untuk wilayah lain khususnya untuk wilayah-wilayah yang tidak memiliki alat pengamatan radiasi matahari.

Model empiris yang digunakan adalah model prediksi untuk wilayah spesifik (*site-specific model*) yang dibangun oleh Keiser, AR dari Universitas Arkansas Amerika Serikat dengan menggunakan persamaan regresi multivariabel. Himpunan data atau parameter cuaca yang dibutuhkan untuk menjalankan model tersebut meliputi suhu maksimum (T_x), suhu minimum (T_n), dan curah hujan. Model ini dibangun menggunakan *quadratic-response surface* dalam Prosedur Model Linear Umum dari software SAS (v.8.2, SAS Inst., Cary, NC). Variabel masukan atau input yang digunakan adalah hari dalam satu tahun (*day of year*, DOY), curah hujan (mm), $T_x(^{\circ}\text{C})$, dan $T_n(^{\circ}\text{C})$. Suku-suku tersebut kemudian dibuat untuk masing-masing variabel sebagai fungsi linear, kuadratik, dan perkalian silang (*cross product*) antara semua variabel. Suku-suku yang tidak signifikan kemudian dihapuskan berdasarkan konsep penjumlahan kuadrat tipe III, di mana nilai $P > 0,10$. Regresi kemudian dilakukan dua kali sampai semua suku yang tersisa adalah suku-suku yang penting dengan nilai $P < 0,10$. Hingga akhirnya didapatkan persamaan akhir model empiris yang digunakan untuk memprediksi radiasi matahari ($MJ m^{-2} d^{-1}$) ditunjukkan oleh persamaan (1).

$$R_s = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \dots + \beta_{12} X_{12} \quad (1)$$

Keterangan:

R_s	: intensitas radiasi matahari ($MJ m^{-2} d^{-1}$)
β_0	: titik potong/intersep (<i>intercept</i>)
$\beta_1 - \beta_{12}$: koefisien variabel $X_1 - X_{12}$

Sementara itu, model deterministik yang digunakan dalam penelitian ini adalah model yang dikembangkan oleh Hunt dkk. (1998). Model ini melibatkan perhitungan mekanisme proses transfer radiasi matahari ke permukaan bumi. Selanjutnya persamaan dibangun secara empiris menggunakan *stepwise* regresi yang diaplikasikan terhadap model persamaan umum dalam bentuk:

$$S = \sum a_i x_{1i} + b_j x_{2j} + c_k x_{3k} + e \quad (2)$$

Keterangan:

a_i, b_j, c_k	: koefisien regresi
e	: <i>error</i> , yang normalnya terdistribusi di antara nilai rata-ratanya yaitu 0 dan <i>varians</i> σ^2
x_{1i}	: variabel atmosfer seperti intensitas radiasi, suhu maksimum, suhu minimum, dan curah hujan
x_{2j}	: bentuk kuadrat dari variabel atmosfer
x_{3k}	: bentuk perkalian antara variabel atmosfer

Dalam model deterministik digunakan empat variabel atmosfer sebagai masukan, yaitu radiasi di atas atmosfer, suhu maksimum, suhu minimum dan curah hujan. bentuk persamaan model deterministik (3) untuk mengestimasi nilai intensitas radiasi adalah sebagai berikut:

$$S = a_0 S_0 (t_{max} - t_{min})^{0.5} + a_1 t_{max} + a_2 P + a_3 P^2 + a_4 \quad (3)$$

Keterangan:

S	: intensitas radiasi matahari harian ($MJ m^{-2} d^{-1}$)
a_0, a_1, a_2, a_3, a_4	: koefisien regresi
S_0	: data harian intensitas radiasi matahari di atas atmosfer ($MJ m^{-2} d^{-1}$)
t_{max}	: suhu maksimum harian ($^{\circ}\text{C}$)

t_{min} : suhu minimum harian ($^{\circ}\text{C}$)

Radiasi di atas atmosfer dihitung menggunakan persamaan (4) yang dikembangkan oleh Spitters dkk. (1986):

$$S_0 = S_{SC}[1 + 0.033 \cos(360t_d/365)] \sin \beta \quad (4)$$

Keterangan:

S_0 : intensitas radiasi ekstra-terrestrial ($\text{Jm}^{-2}\text{s}^{-1}$)

S_{SC} : konstanta matahari ($1370 \text{Jm}^{-2}\text{s}^{-1}$)

$\cos(360t_d/365)$: variasi jarak antara matahari dan bumi karena revolusi matahari (derajat)

t_d : hari kalender 365.

$\sin \beta$: sudut datang matahari terhadap horizon

Sudut datang matahari terhadap horizon di hitung dengan menggunakan persamaan (5):

$$\sin \beta = \sin \lambda \sin \delta + \cos \lambda \cos \delta \cos[15(t_h - 12)] \quad (5)$$

Keterangan:

λ : lintang tempat

t_h : jam dalam hari (waktu matahari bersinar)

δ : sudut deklinasi matahari harian dalam setahun (derajat)

Sudut deklinasi matahari (δ) harian dalam setahun diestimasi dengan persamaan (6), dengan t_d adalah jumlah hari terhitung sejak 1 Januari:

$$\sin \delta = -\sin(23.45) \cos\left[\frac{360(t_d+10)}{365}\right] \quad (6)$$

Nilai intensitas radiasi matahari ekstra terestrial (S_0) harian diperoleh dengan cara mengintegrasikan nilai intensitas radiasi dari mulai matahari terbit hingga terbenam dengan menggunakan persamaan:

$$D = 12 + \left(\frac{24}{180}\right) \arcsin(\tan \lambda - \tan \delta) \quad (7)$$

Keterangan:

D : panjang hari (jam)

λ : lintang tempat

δ : sudut deklinasi matahari harian dalam setahun (derajat)

Performa model dalam mengestimasi nilai intensitas radiasi matahari dapat diketahui dengan menghitung nilai korelasi dan *Root Mean Square Error* (RMSE). Nilai korelasi dihitung dengan persamaan [8] sementara interpretasi dari nilai korelasi yang dihasilkan ditunjukkan oleh Tabel 1:

$$r = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{n \sum X^2 - (\sum X)^2} \sqrt{n \sum Y^2 - (\sum Y)^2}} \quad (8)$$

Keterangan:

r : koefisien korelasi antara X dan Y

n : jumlah variabel X maupun Y

Nilai r (korelasi)	Keterangan
0,00 – 0,199	Sangat lemah
0,20 – 0,399	Lemah
0,40 – 0,599	Cukup kuat
0,60 – 0,799	Kuat
0,80 – 1,000	Sangat kuat

Sumber: [15]

Penelitian Hunt [3] dan Ball dkk. (2004) menggunakan nilai koefisien korelasi dan RMSE antara data radiasi matahari pada titik pengamatan dan hasil estimasi nilainya berdasarkan pemodelan. Merujuk pada kedua penelitian tersebut, nilai koefisien korelasi (R^2) antara nilai yang dihitung dan nilai sebenarnya dan RMSE kemudian juga dihitung dalam penelitian ini menggunakan data harian selama periode tahun 2015-2019. Analisis nilai *RMSE* digunakan untuk mengetahui tingkat kesalahan nilai prediksi terhadap nilai data observasi (Wilks, 2006). Apabila nilai *RMSE* mendekati nol, maka data estimasi atau prediksi radiasi matahari memiliki akurasi yang tinggi karena memiliki nilai galat yang relatif kecil terhadap data pembanding. Persamaan (9) digunakan untuk menghitung nilai *RMSE* yang diadopsi dari penelitian [16].

$$RMSE = \frac{\sum_{i=1}^N (f_i - o_i)^2}{N} \quad (9)$$

Keterangan:

N : jumlah data
 f_i : prediksi nilai radiasi matahari oleh model
 o_i : nilai pengamatan radiasi matahari

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

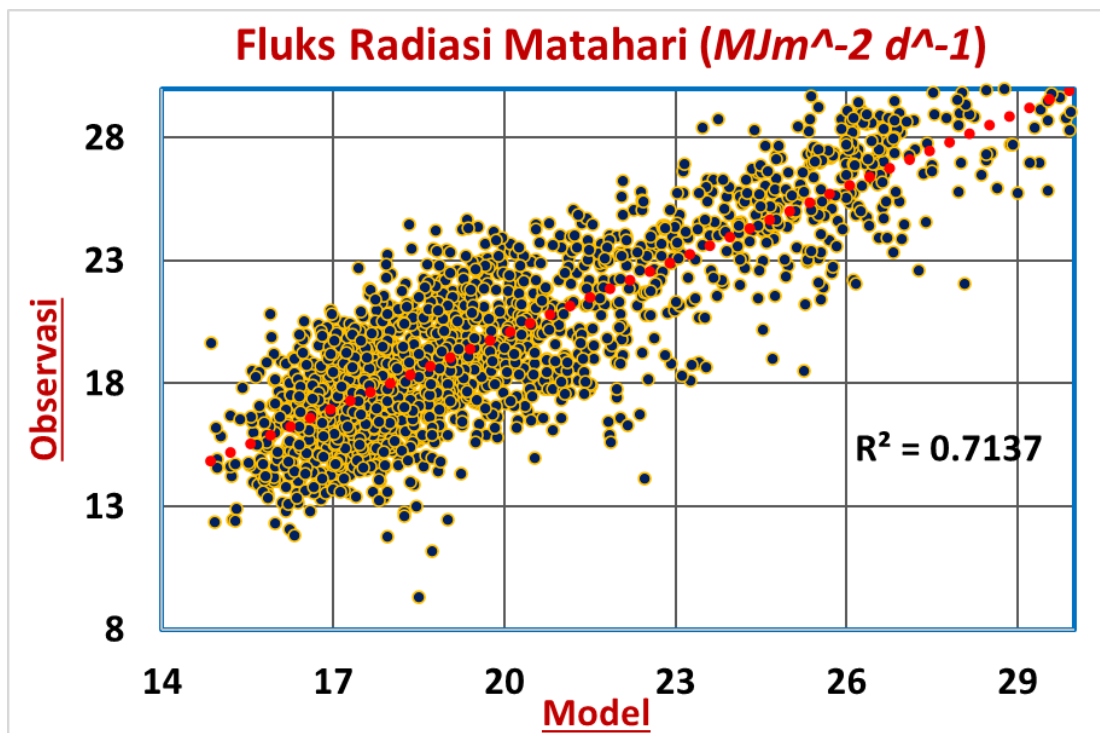
Koefisien model regresi multivariabel untuk wilayah spesifik oleh Keiser, AR ditunjukkan pada Tabel 1. Koefisien tersebut secara spesifik diperoleh dari hasil pembangunan model di koordinat wilayah Stasiun Klimatologi Pondok Betung, yaitu $6^{\circ}15'40''$ LS dan $106^{\circ}44'56''$ BT. Hasil prediksi atau estimasi nilai intensitas radiasi matahari pada titik pengamatan Stasiun Klimatologi Pondok Betung pada model empiris ditunjukkan pada Gambar 1. Model empiris regresi multi regresi menunjukkan nilai korelasi mencapai sebesar 0,71 (korelasi kuat) dengan nilai RMSE 2,035. Penggunaan model yang serupa juga dilakukan oleh Ball dkk. (2004), di mana hasil penelitiannya menunjukkan nilai korelasi yang lebih baik relatif dibandingkan hasil penelitian ini, yaitu 0,81 (sangat kuat) namun nilai RMSE yang lebih buruk relatif dibandingkan dengan hasil penelitian ini, yaitu 3,42.

Ball dkk. (2004) menjelaskan bahwa persamaan model oleh Keiser, AR yang berfokus pada lokasi spesifik menunjukkan adanya hubungan empiris yang dapat diturunkan dari data masukan atau input yang sederhana, meliputi suhu maksimum (T_x), suhu minimum (T_n), dan curah hujan, dengan syarat himpunan data inisial ketiga variabel tersebut setidaknya terdiri dari data observasi harian selama satu tahun lamanya. Utilitas persamaan tersebut masih terbatas pada tahun yang sama sehubungan dengan pola tahunan atau siklus dalam cuaca. Model seperti ini cocok digunakan untuk mengisi kembali data-data yang hilang (*missing data*) yang dapat terjadi ketika sensor pengamatan radiasi matahari tidak dapat berfungsi, namun data suhu masih dapat diamati dan tersedia. Persamaan ini juga dapat digunakan untuk mengestimasi nilai radiasi matahari (R_s) dalam radius tertentu dimana persamaan tersebut dibangun atau dibentuk, dengan mengasumsikan bahwa lokasinya memiliki topografi, elevasi, dan fitur geografi yang sama untuk lokasi-lokasi tambahan yang terdapat dalam batas radius. Allen (1997) mengevaluasi data cuaca dari berbagai lokasi dan kemudian menyimpulkan bahwa nilai koefisien empiris (k_{rs}) dapat ditentukan dari stasiun pengamatan cuaca dan menggunakan nilai ini dalam radius 400 km. Selanjutnya, persamaan empiris yang diturunkan dari stasiun pengamatan cuaca terdekat juga dapat digunakan untuk memprediksi atau mengestimasi besarnya nilai intensitas radiasi matahari (R_s).

Tabel 1. Koefisien model regresi multiple untuk prediksi radiasi matahari Keiser, AR (variabel X_1-X_{12}) di wilayah spesifik

Variabel X	Penjelasan	Koefisien untuk Pondok Betung
β_0	intersep	-147.9335
β_1	curah hujan (mm)	-0.3171

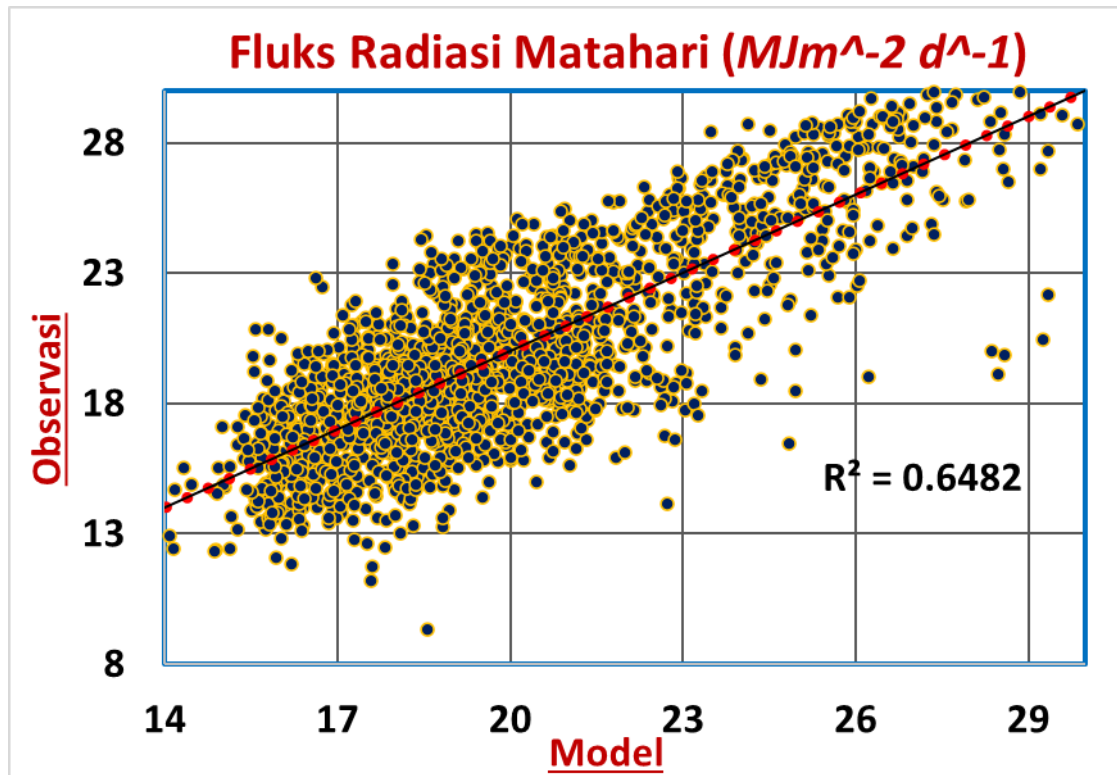
β_2	suhu maksimum ($^{\circ}\text{C}$)	9.5722
β_3	suhu minimum ($^{\circ}\text{C}$)	3.4076
β_4	hari dalam setahun	-0.0967
β_5	(curah hujan) ²	0.0002
β_6	(suhu maksimum) ²	-0.1444
β_7	(suhu minimum) ²	-0.1065
β_8	(hari dalam setahun) ²	0.00007
β_9	curah hujan \times suhu minimum	0.0345
β_{10}	suhu maksimum \times suhu minimum	-0.0103
β_{11}	curah hujan \times suhu maksimum	-0.0198
β_{12}	suhu maksimum \times hari dalam setahun	0.0026



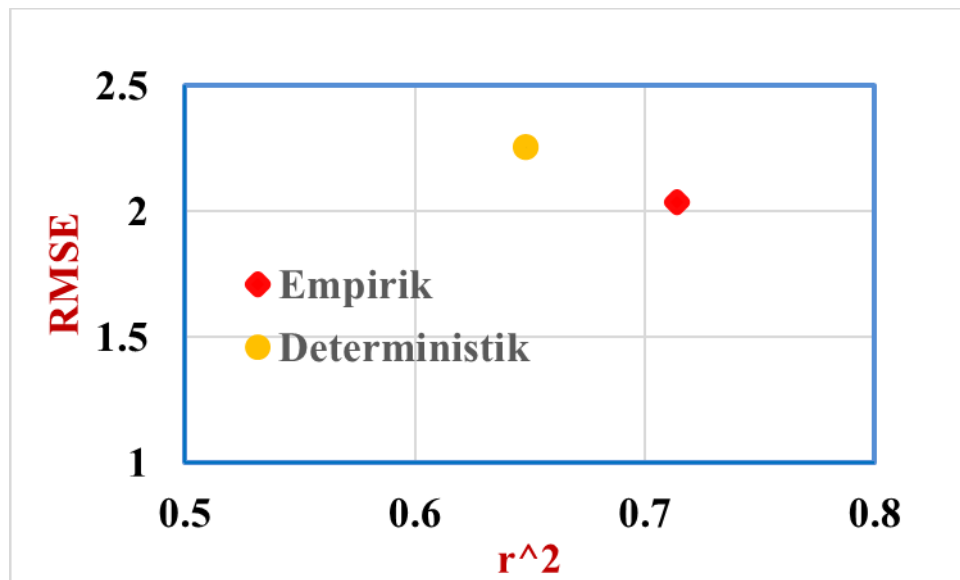
Gambar 1. Perbandingan antara intensitas radiasi matahari hasil estimasi dari model empiris dengan observasi

Hasil prediksi atau estimasi nilai intensitas radiasi matahari pada titik pengamatan Stasiun Klimatologi Pondok Betung pada model deterministik ditunjukkan pada Gambar 2. Hasil uji model deterministik menunjukkan nilai korelasi yang relatif lebih rendah dibandingkan penggunaan model empiris, yaitu sebesar 0,65 (korelasi kuat) dengan nilai RMSE yang sedikit lebih tinggi, yaitu sebesar 2,2552. Secara umum, hasil estimasi nilai radiasi matahari menggunakan model tersebut mengindikasikan bahwa pendekatan dengan menggunakan model empiris relatif lebih baik dibandingkan dengan pendekatan model deterministik. Penelitian serupa dengan menggunakan pendekatan model deterministik yang dilakukan oleh Reddy [6] justru menunjukkan hasil yang lebih buruk dibandingkan hasil yang didapat pada penelitian ini, di mana nilai koefisien korelasinya adalah 0,24 (korelasi lemah) dengan nilai RMSE 7,2. Oleh karena itu, metode Reddy [6] mungkin memiliki tingkat aplikasi yang rendah di wilayah lintang tinggi. Sementara itu, penggunaan persamaan model deterministik yang sama dengan penelitian ini dilakukan oleh Hunt [3] menunjukkan nilai koefisien korelasi yang relatif lebih tinggi mencapai 0,77 (korelasi kuat) namun nilai RMSE yang lebih besar, yaitu mencapai 4,1. Nilai korelasi pada penelitian Hunt [3] 12% lebih baik dibandingkan penggunaan metode Hargreaves (nilai korelasi 0,69), yang oleh Supit [10] dikategorikan sangat baik untuk mengevaluasi berbagai pendekatan yang bertujuan untuk mengestimasi nilai radiasi matahari menggunakan data dasar meteorologi (*basic meteorological data*). Namun, nilai korelasi pada penelitian ini lebih rendah 7% dibandingkan metode Hargreaves, yang oleh Supit [10] masih

dikategorikan cukup baik untuk mengestimasi besarnya nilai radiasi matahari di lokasi penelitian, dalam hal ini lokasi Stasiun Klimatologi Pondok Betung.



Gambar 2. Perbandingan antara intensitas radiasi matahari hasil estimasi dari model *deterministic* dengan observasi



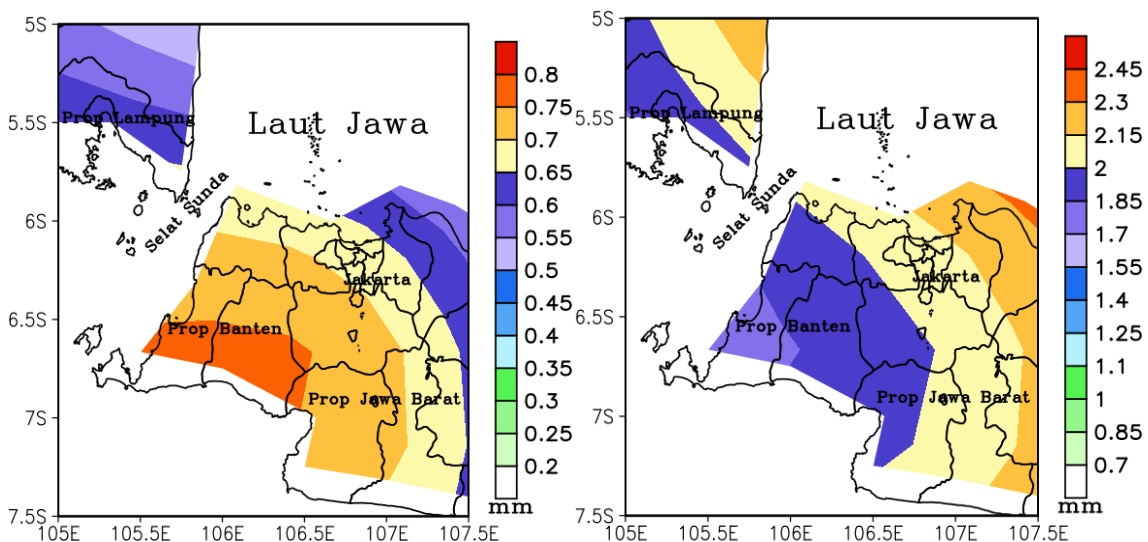
Gambar 3. Perbandingan performa model empiris dan deterministik ditinjau berdasarkan nilai korelasi dan RMSE

Rangkuman performa masing-masing model yang digunakan dalam penelitian ini, meliputi model empiris dan deterministik, ditunjukkan oleh Gambar 3. Berdasarkan gambar tersebut dapat diketahui jika penggunaan model empiris untuk mengestimasi atau memprediksi nilai radiasi matahari lebih baik dan lebih representatif diaplikasikan di wilayah penelitian karena memiliki nilai korelasi yang lebih tinggi dengan nilai RMSE yang lebih rendah dibandingkan penggunaan model

deterministik *ok*. Hunt [3] menjelaskan bahwa perbedaan performa model yang berbeda dapat memberikan alternatif pilihan pendekatan model yang paling optimal untuk mendapatkan data radiasi matahari untuk lokasi spesifik tertentu, di mana tidak ada data radiasi matahari yang terekam pada lokasi tersebut, dengan mempertimbangkan atau memilih model yang memiliki nilai korelasi (R^2) yang lebih tinggi dan nilai RMSE yang lebih rendah. Estimasi terbaik untuk menghitung nilai radiasi matahari didapatkan dari lokasi titik-titik di sekitar (*neighbouring site*) ketika jarak pisahnya relatif kecil, namun metode menggunakan persamaan model lebih baik digunakan ketika jarak lokasinya cukup jauh (lebih besar).

Analisis terhadap performa model secara spasial di wilayah Provinsi Banten dapat dilihat pada Gambar 4. Secara spasial, model empiris menunjukkan performa yang cukup baik dalam mengestimasi nilai radiasi matahari dengan nilai korelasi berkisar antara 0.5 – 0.75 dan nilai RMSE berkisar antara $1.5 - 2.3 \text{ MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$ di wilayah Provinsi Banten. Secara umum, berdasarkan pertimbangan nilai korelasi yang tinggi dan nilai RMSE yang lebih rendah, dapat diketahui bahwa performa model yang paling baik diamati di wilayah Provinsi Banten bagian Barat dibandingkan dengan di sisi timur Provinsi Banten. Ditinjau berdasarkan aspek topografis, nilai korelasi tinggi dan RMSE yang rendah paling dominan diamati di sisi barat daya Banten yang notabene memiliki topografi yang datar, memiliki ketinggian yang relatif sama.

Estimasi data solar radiasi di wilayah di mana data tersebut hilang atau tidak tersedia menjadi sangat penting dilakukan [8], [17], [18]. Penelitian ini menggunakan data di lokasi titik Stasiun Klimatologi Pondok Betung untuk dapat menunjukkan bahwa perhitungan atau estimasi data radiasi matahari dengan menggunakan data dasar meteorologi, meliputi suhu maksimum, suhu minimum, dan curah hujan, serta radiasi di atas atmosfer sangat mungkin untuk dilakukan dengan menggunakan persamaan sederhana yang merupakan fungsi linear dari kombinasi variabel cuaca dasar dan yang telah ditransformasikan. Koefisien untuk perhitungan model yang perlu ditentukan pada masing-masing kondisi geografis relatif mudah untuk diestimasi, sehingga memungkinkan persamaan untuk digunakan dalam skala yang lebih luas (Cengiz dkk., 1989; [10]. Christenses (1989) menyebutkan bahwa galat yang terkait dengan persamaan linear tersebut didistribusikan secara normal sehingga total kesalahan atau galat estimasi untuk periode di mana data radiasi matahari kosong atau hilang didistribusikan secara normal dengan nilai rata-rata nol.



Gambar 4. Hasil evaluasi model berdasarkan nilai korelasi (kiri) dan RMSE (kanan)

4. KESIMPULAN

Variabel radiasi matahari berperan penting sebagai gaya penggerak dinamika atmosfer. Keberhasilan dalam mengkuantifikasi variabel tersebut sangat mempengaruhi akurasi dalam prediksi cuaca dan iklim. Penelitian yang menggunakan data reanalisis NCEP ini, menunjukkan bahwa perhitungan nilai radiasi matahari menggunakan parameter utama atmosfer, seperti suhu maksimum,

suhu minimum, dan curah hujan, serta radiasi di atas atmosfer dengan persamaan empiris yang sangat sederhana cukup baik dalam mengestimasi nilai radiasi matahari di wilayah Provinsi Banten. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, penggunaan pendekatan model empiris memiliki performa yang lebih baik dalam mengestimasi besarnya nilai radiasi matahari dibandingkan dengan penggunaan model deterministik di wilayah penelitian, baik ditinjau berdasarkan nilai koefisien korelasi maupun nilai RMSE. Nilai koefisien korelasi dengan menggunakan model empiris mencapai 0,71 dan dikategorikan sebagai korelasi kuat dan nilai RMSE-nya relatif kecil, yaitu 2,035. Tinjauan secara spasial menunjukkan bahwa model prediksi atau estimasi radiasi matahari memiliki performa yang lebih baik pada sisi barat wilayah Provinsi Banten.

REFERENSI

- [1] S. Nonhebel, *The importance of weather data in crop growth simulation models and.* 1993.
- [2] P. E. Thornton and S. W. Running, "An improved algorithm for estimating incident daily solar radiation from measurements of temperature, humidity, and precipitation," *Agric. For. Meteorol.*, vol. 93, no. 4, pp. 211–228, 1999, doi: 10.1016/S0168-1923(98)00126-9.
- [3] L. A. Hunt, L. Kuchar, and C. J. Swanton, "Estimation of solar radiation for use in crop modelling," *Agric. For. Meteorol.*, vol. 91, no. 3–4, pp. 293–300, 1998, doi: 10.1016/S0168-1923(98)00055-0.
- [4] R. Brinsfield, M. Yaramanoglu, and F. Wheaton, "Ground level solar radiation prediction model including cloud cover effects," *Sol. Energy*, vol. 33, no. 6, pp. 493–499, 1984, doi: 10.1016/0038-092X(84)90003-3.
- [5] K. L. Briston and G. S. Campbell, "On the Relationship between Incoming Solar Radiation and Daily Maximum and Minimum Temperature," *Agric. For. Meteorol.*, vol. 31, no. 0427, pp. 159–166, 1984.
- [6] S. J. Reddy, "The estimation of global solar radiation and evaporation through precipitation-A note," *Sol. Energy*, vol. 38, no. 2, pp. 97–104, 1987, doi: 10.1016/0038-092X(87)90032-6.
- [7] M. S. Petersen, P. J. Lamb, and K. E. Kunkel, "Implementation of a semiphysical model for examining solar radiation in the Midwest," *J. Appl. Meteorol.*, vol. 34, no. 9, pp. 1905–1915, 1995, doi: 10.1175/1520-0450(1995)034<1905:IOASMF>2.0.CO;2.
- [8] J. E. Hook and R. W. McClendon, "Estimation of Solar Radiation Data Missing from Long-Term Meteorological Records," *Agron. J.*, vol. 84, no. 4, pp. 739–742, 1992, doi: 10.2134/agronj1992.00021962008400040036x.
- [9] D. Elizondo, G. Hoogenboom, and R. W. McClendon, "Development of a Neural Network Model to Predict Daily Solar Radiation," *Agric. For. Meteorol.*, vol. 71, no. 1–2, pp. 115–132, 1994, doi: 10.1016/0168-1923(94)90103-1.
- [10] I. Supit, *EUR 15745 ± Global Radiation*, Agricultur. Luxembourg: Office for Official Publication of the European Communities, 1994.
- [11] G. Hoogenboom, J. W. Jones, and K. J. Boote, "Modeling growth, development, and yield of grain legumes using soygro, pnugro, and beangro: a review," *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, vol. 35, no. 6, pp. 2043–2056, 1992, doi: 10.13031/2013.28833.
- [12] L. . Hunt, "Data Requirements for Crop modelling. In: Application of Modeling in the Semi-Arid Tropics," *Int. Counc. Sci. Unions*, pp. 15–25, 1994.
- [13] L. A. Hunt and S. Pararajasingham, "CROPSIM - WHEAT: A model describing the growth and development of wheat," *Can. J. Plant Sci.*, vol. 75, no. 3, pp. 619–632, 1995, doi: 10.4141/cjps95-107.
- [14] dan J. D. Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, Collins W, Deaven D, Gandin L, Iredell M, Saha S, White G, Woollen J, Zhu Y, Chelliah M, Ebisuzaki W, Higgins W, Janowiak J, Mo KC, Ropelewski C, Wang J, Leetmaa A, Reynolds R, Jenne R, "The NMC/NCAR 40-Year reanalysis project," *Bull Am Meteorol Soc.*, vol. 77, pp. 437–471, 1996.
- [15] Sugiyono, *Statistika Untuk Penelitian*. Bandung: CV Alfabeta, 2012.
- [16] Y. S. Swarinoto and H. Husain, "Estimasi Curah Hujan dengan Metode Auto Estimator (Kasus Jayapura dan Sekitarnya)," *J. Meteorol. dan Geofis.*, vol. 13, no. 1, pp. 53–61, 2012,

-
- doi: 10.31172/jmg.v13i1.118.
- [17] S. K. Hodges, T., French, V. dan LeDuck, “Estimating Solar Radiation for Plant Simulation Models,” 1985.
- [18] H. Meinke, P. S. Carberry, M. R. McCaskill, M. A. Hills, and I. McLeod, “Evaluation of Radiation and Temperature Data Generators in the Australian Tropics and Sub-tropics Using Crop Simulation Models,” *Agric. For. Meteorol.*, vol. 72, no. 3–4, pp. 295–316, 1995, doi: 10.1016/0168-1923(94)02159-H.