

MODEL ESTIMASI DATA INTENSITAS RADIASI MATAHARI UNTUK WILAYAH BANTEN

Modelling Estimation of Solar Intensity Radiation in Banten

Munawar^{1)*}, Adi Mulsandi¹⁾, Anistia Malinda Hidayat¹⁾

¹⁾ Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jl Perhubungan I No 5, Banten.

*E-mail : munawaralistmkg@gmail.com

Intisari

Data intensitas radiasi matahari (R_s , $MJ/m^2/day$) memiliki peran yang sangat penting dalam pemodelan cuaca dan iklim guna mengkuantifikasi panas yang dipertukarkan antara permukaan dan atmosfer. Namun, keterbatasan jumlah titik pengamatan intensitas radiasi matahari menjadikan pemodelan sebagai alternatif solusi yang relatif mudah dan murah untuk pengambilan data intensitas radiasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi performa model dalam mengestimasi nilai intensitas radiasi matahari di wilayah penelitian menggunakan dua pendekatan model yang berbeda, yaitu model empiris oleh Keiser, Arkansas (AR) dan model deterministik. Tiga variabel utama cuaca yang digunakan sebagai input data model adalah curah hujan (mm), suhu maksimum ($^{\circ}C$), dan suhu minimum ($^{\circ}C$). Kedua model tersebut dipilih karena dapat diterapkan dengan hanya melibatkan variabel utama atmosfer yang tersedia dalam waktu yang panjang di lokasi penelitian. Hasil prediksi yang dilakukan dengan model kemudian dibandingkan dengan data reanalisis National Centers for Environmental Prediction (NCEP) pada titik koordinat wilayah Stasiun Klimatologi Pondok Betung. Hasilnya menunjukkan performa model empirik lebih baik dalam menggambarkan variasi temporal dan prediksi variabel intensitas matahari dibandingkan model deterministik. Hal tersebut ditunjukkan dengan nilai korelasi yang cukup baik, yakni mencapai 0,72 (korelasi kuat) dan nilai Root Mean Square Error (RMSE) 2,0. Atas dasar hasil pemodelan yang cukup representatif di lokasi penelitian, analisis secara spasial kemudian diterapkan untuk skala wilayah yang lebih luas, yaitu Provinsi Banten. Berdasarkan tinjauan secara spasial di wilayah kajian, model empirik memiliki performa yang bervariasi di wilayah Provinsi Banten. Hasil prediksi intensitas radiasi matahari di wilayah bagian barat memiliki performa yang lebih baik dibandingkan wilayah bagian timur.

Kata Kunci: Intensitas Radiasi Matahari, Model Empiris, Model Deterministik

Abstract

Solar radiation data (R_s , $MJ/m^2/day$) has a significant role in weather and climate modeling in quantifying heat exchanges between earth surfaces and the atmosphere. Accordingly, solar radiation data estimation modeling poses an alternate, easier, and cheaper solution. This study evaluates the performance of the model on estimating the value of solar intensity radiation data in the research area by using two different modeling approaches, first through an empirical model, represented by the Keiser, Arkansas (AR), second, through a deterministic model. Three main weather variables use as the input data (rainfall (mm), maximum, and minimum temperature ($^{\circ}C$)). Both models were chosen because they can be run by only involving these three variables and the data available for a long time. The prediction results then compare with the National Centers for Environmental Prediction (NCEP) reanalysis data at Pondok Betung Climatological Station's coordinate point. The correlation is quite good, reach up to 0.72 (strong correlation), and its Root Mean Square Error (RMSE) value is 2.0. The modeling results were quite representative of the research area. Therefore spatial analysis over a wider area was then carried out in Banten Province. Based on the research area's spatial review, the empirical model has varied performance over Banten Province. The prediction of solar radiation intensity in the western region has better performance than the prediction of solar radiation over the eastern region.

Keywords: Solar Radiation Intensity, Empirical Model, Deterministic Model

1. PENDAHULUAN

Radiasi matahari pada permukaan bumi merupakan variabel penting yang digunakan dalam agrikultur, khususnya *crop modeling*,

estimasi evapotranspirasi tanaman, hidrologi, meteorologi, dan fisika tanah (Ball *et al.*, 2004). Data pengamatan intensitas radiasi matahari (R_s , $MJ/m^2/day$) 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 akan menentukan akurasi model dalam memprediksi cuaca. Seperti halnya neraca energi, neraca panas memainkan peranan paling penting dalam proses menjaga keseimbangan energi panas di atmosfer.

Umumnya, kerapatan data pengamatan intensitas radiasi masih sangat kurang dibandingkan luasan wilayah pengamatan yang ada di suatu negara (Nonhebel, 1993). Hal ini disebabkan bukan hanya karena harga komponen peralatan pengamatan radiasi matahari yang mahal, tetapi juga biaya perawatan dan kalibrasi sensor radiasi matahari yang tinggi. Oleh karena itu, banyak ditemukan data kosong akibat kerusakan instrumen pengamatan atau tingginya nilai galat dalam data pengamatan.

Jumlah alat pengamatan radiasi yang terbatas juga terjadi di negara-negara lain, salah satunya di Amerika Serikat yang rasio antara jumlah alat pengamatan radiasi matahari dan alat pengamatan suhu di stasiun cuaca adalah 1:100 (Thornton dan Running, 1999). Hal ini juga terjadi di Ontario, Kanada, 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. Selain itu, banyak data pada hari-hari selanjutnya yang teramat berada di luar batas yang diharapkan (Hunt et al., 1998).

Di Indonesia, pengukuran intensitas radiasi matahari sebagian besar dilakukan oleh stasiun klimatologi. Berdasarkan situs BMKG yang diakses pada 18 Oktober 2020, jumlah stasiun klimatologi di Indonesia sendiri cukup terbatas, yaitu hanya sekitar 27 stasiun, sehingga pemodelan menjadi solusi yang relatif murah dan mudah dibandingkan biaya yang dibutuhkan untuk pembangunan stasiun baru untuk menyediakan data radiasi.

Berbagai model telah dikembangkan untuk mengestimasi besarnya intensitas matahari (Brinsfield et al., 1984; Bristow dan Campbell, 1984; Reddy, 1987; Petersen, 1990; Hook dan McClendon, 1992; Elizondo et al., 1994; Supit, 1994). Model-model estimasi intensitas matahari tersebut dibangun dari beberapa parameter utama cuaca hasil pengukuran di stasiun pengamatan. Kebanyakan model tersebut membutuhkan data observasi harian dari suhu, curah hujan, dan radiasi matahari (Hoogenboom et al., 1992; Hunt, 1994; Hunt dan Pararajasingham, 1995). Hal ini masih menjadi permasalahan di Indonesia karena jumlah titik stasiun pengamatan yang terbatas.

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. Oleh karena itu, data reanalisis akan digunakan dalam penelitian ini untuk membangun model dan mengestimasi besarnya intensitas radiasi di wilayah Provinsi Banten.

Data reanalisis merupakan data prediksi yang dianalisis ulang beberapa kali dibandingkan dengan data pengamatan permukaan, terutama untuk mempelajari bagaimana cara mendapatkan hasil yang mendekati data pengamatan dengan memanfaatkan pemodelan cuaca numerik (Dee, et al., 2011). Penelitian ini menjadi penting karena data reanalisis NCEP memiliki latensi waktu tiga hari sehingga tidak dapat tersedia secara *realtime*. Sementara, data *realtime* sangat dibutuhkan model sebagai data masukan terbaru untuk dapat melakukan analisis ataupun prediksi cuaca yang diharapkan dapat menghasilkan analisis atau prediksi cuaca yang lebih baik.

Dua pendekatan model yang digunakan dalam penelitian ini adalah model empiris oleh Keiser, AR dan model deterministik oleh Hunt (1998) dengan menggunakan tiga variabel cuaca yang diperoleh dari data *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) sebagai input data, yang meliputi data curah hujan, suhu maksimum, dan suhu minimum. Penelitian Ball, et al. (2004) menunjukkan bahwa hasil regresi data prediksi dan data pengamatan dengan menggunakan model Keiser, AR sama dengan hasil pendekatan model mekanis terbaik. Selain itu, kedua model tersebut dipilih karena dapat dijalankan dengan hanya melibatkan variabel utama atmosfer yang tersedia dalam waktu yang panjang di lokasi penelitian.

Provinsi Banten dipilih sebagai lokasi penelitian karena adanya rencana membangun sektor agribisnis di provinsi tersebut (Ulum, 2020) dan dalam prosesnya data intensitas radiasi matahari tentu akan sangat dibutuhkan dalam upaya mendukung pengembangan sektor tersebut. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengevaluasi performa model dalam mengestimasi nilai intensitas radiasi matahari di wilayah penelitian.

2. DATA DAN METODE

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 didefinisikan sebagai keluaran dari model asimilasi atau prediksi yang melibatkan gabungan dari berbagai instrumen pengamatan cuaca seperti satelit, radar, dan pengamatan permukaan, serta udara atas (Kalnay et al., 1996). Sementara itu, data reanalisis NCEP didasarkan dari hasil analisis ulang dengan

menggunakan metode atau pendekatan yang paling mutakhir dan konsisten berdasarkan data yang telah tersedia selama periode tahun 1958-1997. 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* $2.5^0 \times 2.5^0$.

Penelitian ini menggunakan pendekatan dengan dua model berbeda untuk mengestimasi nilai intensitas radiasi matahari yaitu, model empiris dan model deterministik. Kemudian, hasil pendekatan kedua model ini dibandingkan dengan nilai radiasi matahari dari data reanalisis NCEP yang dianggap sebagai representasi data observasi. Hal ini penting karena selama ini data radiasi matahari *realtime* yang tersedia bebas, relatif sulit untuk didapatkan, dengan beberapa alternatif merupakan situs berbayar. Data NCEP sendiri memiliki *latency* selama 3 hari, sehingga pendekatan dengan menggunakan kedua model tersebut memiliki keunggulan dari segi kekinian atau bersifat *realtime*. Lebih lanjut, penggunaan kedua model tersebut diharapkan dapat menjadi alternatif baru dalam menyediakan data radiasi matahari, 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, Arkansas (AR) dari Universitas Arkansas Amerika Serikat dengan menggunakan persamaan regresi multivariabel. Himpunan data atau parameter cuaca yang dibutuhkan untuk menjalankan model tersebut setidaknya terdiri dari suhu maksimum (T_x), suhu minimum (T_n), dan curah hujan. Model ini dibangun menggunakan *quadratic-response surface* dalam Prosedur Model Linear Umum dari perangkat lunak SAS (v.8.2, SAS Inst., Cary, NC). 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 persamaan kemudian dibuat untuk masing-masing variabel sebagai fungsi linear, kuadratik, dan perkalian silang (*cross product*). Suku-suku yang tidak signifikan kemudian dihapuskan berdasarkan konsep penjumlahan kuadrat tipe III, di mana nilai $P > 0,10$. Uji tipe III menganalisis signifikansi pengaruh parsial dari setiap suku terhadap performa model empiris (Goodnight, 1980). Nilai P menjelaskan seberapa tidak cocoknya (*incompatible*) data dengan model statistik tertentu. Apabila nilai P lebih besar dari tingkat toleransi yang ditentukan (dalam hal ini 0,10 atau 10%) berarti hipotesis yang diajukan sebelumnya tidak tepat. Regresi kemudian dilakukan dua kali sampai semua suku yang tersisa adalah suku-suku yang penting/signifikan dengan nilai $P < 0,10$. Hingga akhirnya didapatkan persamaan akhir model empiris yang digunakan untuk memprediksi radiasi matahari ($\text{MJ}/\text{m}^2/\text{day}$) yaitu,

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

dimana R_s merupakan intensitas radiasi matahari ($\text{MJ}/\text{m}^2/\text{day}$), β_0 titik potong/intersep (*intercept*), dan $\beta_1 - \beta_{12}$ koefisien variabel $X_1 - X_{12}$.

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

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

dimana a_i, b_j, c_k adalah koefisien regresi, e error, yang normalnya terdistribusi di antara nilai rata-ratanya yaitu 0 dan *varians* σ^2 , dan x_{1i} merupakan variabel atmosfer seperti intensitas radiasi, suhu maksimum, suhu minimum, dan curah hujan. Sedangkan x_{2j} merupakan bentuk kuadrat dari variabel atmosfer, dan 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. Keempat variabel tersebut kemudian disubstitusi ke dalam persamaan [2] dan didapatkan bentuk persamaan model deterministik [3] untuk mengestimasi nilai intensitas radiasi yang kemudian digunakan sebagai dasar perhitungan intensitas radiasi matahari berdasarkan pertimbangan model deterministik.

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

dimana, S intensitas radiasi matahari harian ($\text{MJ}/\text{m}^2/\text{day}$), a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 koefisien regresi, S_0 data harian intensitas radiasi matahari di atas atmosfer ($\text{MJ}/\text{m}^2/\text{day}$), P curah hujan harian (mm), t_{max} suhu maksimum harian ($^{\circ}\text{C}$), dan t_{min} suhu minimum harian ($^{\circ}\text{C}$).

Dalam persamaan [3] nilai S_0 belum diketahui sehingga perlu persamaan lain untuk menghitung nilai tersebut. Radiasi di atas atmosfer (S_0) dihitung menggunakan persamaan [4] yang dikembangkan oleh Spitters *et al.* (1986),

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

dimana S_0 merupakan intensitas radiasi ekstraterrestrial ($\text{Jm}^{-2}\text{s}^{-1}$), S_{SC} konstanta matahari ($1370 \text{ Jm}^{-2}\text{s}^{-1}$), $\cos(360d/365)$ variasi jarak antara matahari dan bumi karena revolusi matahari (derajat), d jumlah hari kalender 365,

dan $\sin \beta$ sudut datang matahari terhadap horizon.

Sementara itu, persamaan [5] diperlukan untuk menghitung nilai sudut datang matahari terhadap horizon ($\sin \beta$) pada persamaan [4] yang dijabarkan sebagai,

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

dimana λ lintang tempat, h jumlah 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 d adalah jumlah hari terhitung sejak 1 Januari:

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

Penelitian Hunt *et al.* (1998) dan Ball *et al.* (2004) menggunakan nilai koefisien korelasi dan RMSE antara data radiasi matahari pada titik pengamatan dan hasil estimasi nilainya berdasarkan pemodelan untuk mengevaluasi performa model yang dihasilkan. Merujuk pada kedua penelitian tersebut, nilai koefisien korelasi (r) dan Root Mean Square Error (RMSE) dihitung dalam penelitian ini menggunakan data harian intensitas radiasi NCEP yang dibandingkan dengan hasil estimasi nilai intensitas matahari berdasarkan model empiris dan deterministik selama periode tahun 2015-2019. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui performa model dalam mengestimasi nilai intensitas radiasi matahari di wilayah penelitian. Pemilihan periode tahun tersebut didasarkan data terbaru lima tahun terakhir dan telah memenuhi syarat perhitungan Keiser, AR yang menyebutkan data harian harus berjumlah setidaknya satu tahun (Ball *et al.*, 2004). Apabila nilai koefisien korelasi semakin besar, maka semakin kuat hubungan di antara kedua variabel peubah sehingga pola nilai estimasi akan semakin mendekati pola data aktualnya (Mamenun *et al.*, 2014; Syaifulah, 2014). Nilai korelasi dihitung dengan persamaan [8] sementara interpretasi dari nilai korelasi yang dihasilkan ditunjukkan oleh Tabel 1.

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

dimana r koefisien korelasi antara X dan Y , n adalah jumlah variabel X maupun Y .

Tabel 1. Interpretasi nilai r (koefisien korelasi)

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: Sugiyono (2012)

Analisis nilai RMSE digunakan untuk mengetahui tingkat kesalahan nilai estimasi terhadap data pembanding (Wilks, 2006). Apabila nilai RMSE mendekati nol, maka data hasil estimasi memiliki akurasi yang tinggi karena memiliki nilai galat yang kecil relatif terhadap data pembanding. Persamaan [9] digunakan untuk menghitung nilai RMSE yang diadopsi dari penelitian Swarinoto dan Husain (2012).

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

Dimana N merupakan jumlah data, f_i prediksi nilai radiasi matahari oleh model, dan o_i nilai pengamatan radiasi matahari.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Koefisien model regresi multivariabel untuk wilayah spesifik oleh Keiser, AR ditunjukkan pada Tabel 2. 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 dengan model empiris ditunjukkan pada Gambar 1. Model empiris Keiser, AR menunjukkan nilai korelasi mencapai sebesar 0,71 (korelasi kuat) dengan nilai RMSE 2,035.

Penggunaan model yang serupa juga dilakukan oleh Ball *et al.* (2004), di mana hasil penelitiannya menunjukkan nilai korelasi yang relatif lebih baik dibandingkan hasil penelitian ini, yaitu 0,81 (sangat kuat) namun nilai RMSE yang relatif lebih buruk dibandingkan dengan hasil penelitian ini, yaitu 3,42. Hal ini dapat dijelaskan melalui perbedaan wilayah lintang yang mencolok, di mana lokasi penelitian Ball *et al.* (2004) adalah wilayah-wilayah di lintang subtropis, sementara penelitian ini dilakukan di wilayah tropis. Wilayah tropis mendapat penyinaran matahari sepanjang tahun, sementara subtropis tidak. Berdasarkan persamaan [4] dan [5], perbedaan lintang suatu wilayah akan berpengaruh terhadap perhitungan nilai data harian intensitas radiasi matahari di atas atmosfer (S_o) dan juga berpengaruh terhadap jumlah waktu matahari bersinar. Oleh karena itu, meskipun data yang didapatkan sama-sama data intensitas radiasi matahari, namun karakter data antara penelitian ini dan Ball, *et al.* (2004) akan sangat berbeda.

Tabel 2. Koefisien model regresi multiple untuk prediksi radiasi matahari Keiser, AR (variabel X_1 – X_{12}) di wilayah spesifik.

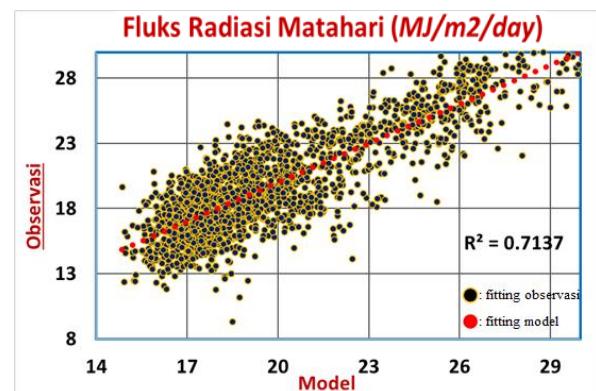
Variabel X	Penjelasan	Koefisien untuk
------------	------------	-----------------

		Pondok Betung
β_0	intersep	-147.9335
β_1	curah hujan (mm)	-0.3171
β_2	suhu maksimum ($^{\circ}$ C)	9.5722
β_3	suhu minimum ($^{\circ}$ 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 x suhu minimum	0.0345
β_{10}	suhu maksimum x suhu minimum	-0.0103
β_{11}	curah hujan x suhu maksimum	-0.0198
β_{12}	suhu maksimum x hari dalam setahun	0.0026

Ball *et al.* (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 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 intensitas 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. Selanjutnya, persamaan empiris yang diturunkan dari stasiun pengamatan cuaca terdekat juga dapat digunakan untuk memprediksi atau mengestimasi besarnya nilai intensitas radiasi matahari (R_s).

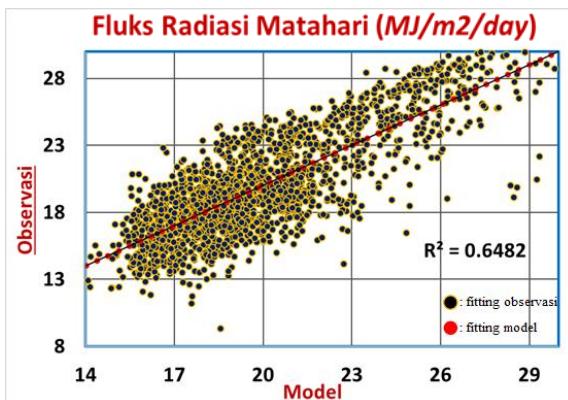
Koefisien negatif pada Tabel 2 menunjukkan korelasi negatif, artinya hubungan antara nilai intensitas radiasi matahari (R_s) berbanding terbalik dengan parameter/variabel yang bersangkutan. Sementara, koefisien positif menunjukkan adanya korelasi positif antara nilai intensitas radiasi matahari (R_s) dan parameter/variabel yang bersangkutan, di mana peningkatan nilai suatu parameter akan diiringi dengan peningkatan nilai intensitas radiasi matahari (R_s). Nilai intensitas atau fluks radiasi matahari cenderung terkonsentrasi (konvergen) di fluks rendah menunjukkan kebanyakan nilai (modus) dan rata-rata nilai intensitas radiasi matahari berkisar pada rentang nilai tersebut.

Kondisi ini tidak dapat menjelaskan apakah perbedaan ini mempengaruhi perhitungan parameter korelasi dan RMSE antara hasil pemodelan dan observasi. Pemodelan empiris tidak mempertimbangkan faktor elevasi atau posisi lintang dalam perhitungan, padahal kondisi dan karakteristik atmosfer antara daerah tropis (wilayah penelitian) dan subtropis (Bell, *et al.*, 2004) sangat berbeda sehingga memungkinkan untuk menghasilkan karakteristik data yang berbeda pula.



Gambar 1. Perbandingan antara intensitas radiasi matahari hasil estimasi dari model empiris dengan observasi. Titik hitam merupakan *scatter plot* antara data observasi dan model, sedangkan titik merah adalah garis *fitting* model regresi.

Hasil prediksi atau estimasi nilai intensitas radiasi matahari pada titik pengamatan Stasiun Klimatologi Pondok Betung dengan 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 tersebut mengindikasikan bahwa pendekatan dengan menggunakan model empiris relatif lebih baik dibandingkan dengan pendekatan model deterministik. Penelitian serupa menggunakan pendekatan model deterministik yang dilakukan oleh Reddy (1987) justru menunjukkan hasil yang lebih buruk dibandingkan hasil yang diperoleh pada penelitian ini, di mana nilai koefisien korelasinya adalah 0,24 (korelasi lemah) dengan nilai RMSE 7,2. Oleh karena itu, metode Reddy (1987) mungkin memiliki tingkat aplikasi yang rendah di wilayah lintang tinggi.



Gambar 2. Perbandingan antara intensitas radiasi matahari hasil estimasi dari model deterministik dengan observasi. Titik hitam merupakan scatter plot antara data observasi dan model, sedangkan titik merah adalah garis fitting model regresi.

Sementara itu, penggunaan persamaan model deterministik yang sama dengan penelitian ini dilakukan oleh Hunt, et al. (1998). Penelitian tersebut 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, et al. (1998) 11,59% lebih baik dibandingkan penggunaan metode Hargreaves (nilai korelasi 0,69), yang oleh Supit (1994) dikategorikan sangat baik untuk mengevaluasi berbagai pendekatan yang bertujuan untuk mengestimasi nilai intensitas radiasi matahari menggunakan data dasar meteorologi (*basic meteorological data*).

Sementara itu, nilai korelasi pada penelitian ini lebih rendah 5,80% dibandingkan metode Hargreaves, yang oleh Supit (1994) masih dikategorikan cukup baik untuk mengestimasi besarnya nilai radiasi matahari di lokasi penelitian, dalam hal ini lokasi Stasiun Klimatologi Pondok Betung. Perbedaan nilai antara penelitian Hunt, et al. (1998) dengan penelitian ini dimungkinkan karena perbedaan kondisi iklim yang sangat mencolok sehingga karakter penirinan matalarinya menjadi sangat berbeda. Penelitian ini dilakukan di wilayah tropis yang mendapatkan penirinan matahari sepanjang tahun, sementara lokasi penelitian Hunt, et al. (1998) terdapat di wilayah iklim sedang (*temperate zones*). Perbedaan iklim tentu menyebabkan perbedaan karakter presipitasi antara penelitian ini dan penelitian Hunt, et al. (1998), sehingga sangat berpengaruh pada perbedaan karakter estimasi intensitas radiasi matahari. Merujuk pada penjelasan tersebut, uji statistik performa model dalam mengestimasi nilai intensitas radiasi matahari berpotensi pula mengalami perbedaan, meskipun persamaan model deterministik yang digunakan telah memperhitungkan posisi lintang suatu wilayah.

Kondisi yang sama dengan *plotting* pada Gambar 1 juga diamati pada Gambar 2, di mana nilai intensitas atau fluks radiasi matahari

cenderung terkonsentrasi (konvergen) di fluks rendah. Kondisi tersebut menunjukkan kebanyakan nilai (modus) dan rata-rata nilai intensitas radiasi matahari berkisar pada rentang nilai tersebut. Kondisi ini tidak dapat menjelaskan apakah perbedaan ini mempengaruhi perhitungan parameter korelasi dan RMSE antara hasil pemodelan dan observasi. Meskipun faktor posisi lintang dimasukkan dalam perhitungan model deterministik, namun kondisi dan karakteristik atmosfer yang jauh berbeda antara daerah tropis (wilayah penelitian) dan iklim sedang (Hunt, et al., 1998) sangat memungkinkan untuk menghasilkan karakter daya yang berbeda pula.

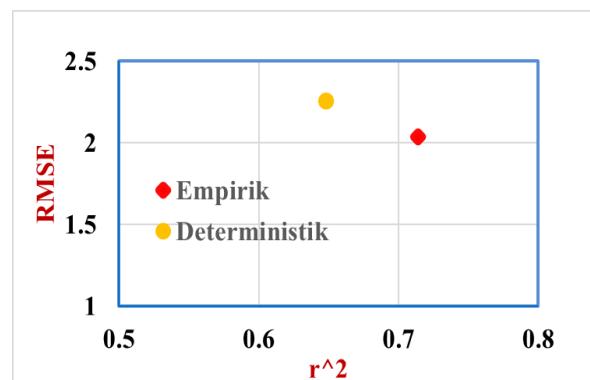
Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa meskipun posisi lintang diperhitungkan dalam model, namun tidak menyebabkan data tersebut merata dalam setiap nilai fluks. Hal ini dapat menjelaskan bahwa dibandingkan faktor posisi, faktor karakteristik curah hujan suatu wilayah lebih dominan dalam mempengaruhi hasil estimasi model, baik empiris maupun deterministik. Perbedaan karakteristik curah hujan antara wilayah tropis dan wilayah lintang yang lebih tinggi tentu berbeda. Oleh karena itu, karakteristik data estimasi intensitas radiasi matahari yang dihasilkan model juga berbeda. Perbedaan inilah yang juga berpotensi menghasilkan nilai uji statistik (korelasi dan RMSE) yang berbeda antara penelitian ini dengan penelitian Hunt et al. (1998) maupun Bell et al. (2004).

Rangkuman performa masing-masing model yang digunakan dalam penelitian ini meliputi model empiris dan deterministik yang ditunjukkan oleh Gambar 3. Berdasarkan gambar tersebut dapat diketahui jika penggunaan model empiris untuk mengestimasi atau memprediksi nilai intensitas 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.

Hunt et al. (1998) menjelaskan bahwa perbedaan performa model yang berbeda dapat memberikan alternatif pilihan pendekatan model yang paling optimal untuk mendapatkan data intensitas radiasi matahari pada lokasi spesifik tertentu, khususnya di wilayah-wilayah yang tidak memiliki data radiasi matahari dan tidak memiliki alat yang mampu merekam data intensitas radiasi matahari, dengan mempertimbangkan atau memilih model yang memiliki nilai korelasi (R^2) yang lebih tinggi dan nilai RMSE yang lebih rendah. Hasil estimasi dapat menunjukkan performa yang lebih baik dalam menghitung nilai radiasi matahari jika lokasi titik-titik pengambilan sampel yang berdekatan (*neighbouring site*) jarak pisahnya relatif kecil, namun ketika kondisi tersebut tidak dapat terpenuhi, maka penggunaan pendekatan model, baik empiris

maupun deterministik, relatif lebih baik digunakan.

Analisis terhadap performa model empiris 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 di wilayah Provinsi Banten. Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa secara spasial performa model yang paling baik diamati di wilayah Provinsi Banten bagian barat dibandingkan dengan di sisi timur Provinsi Banten.



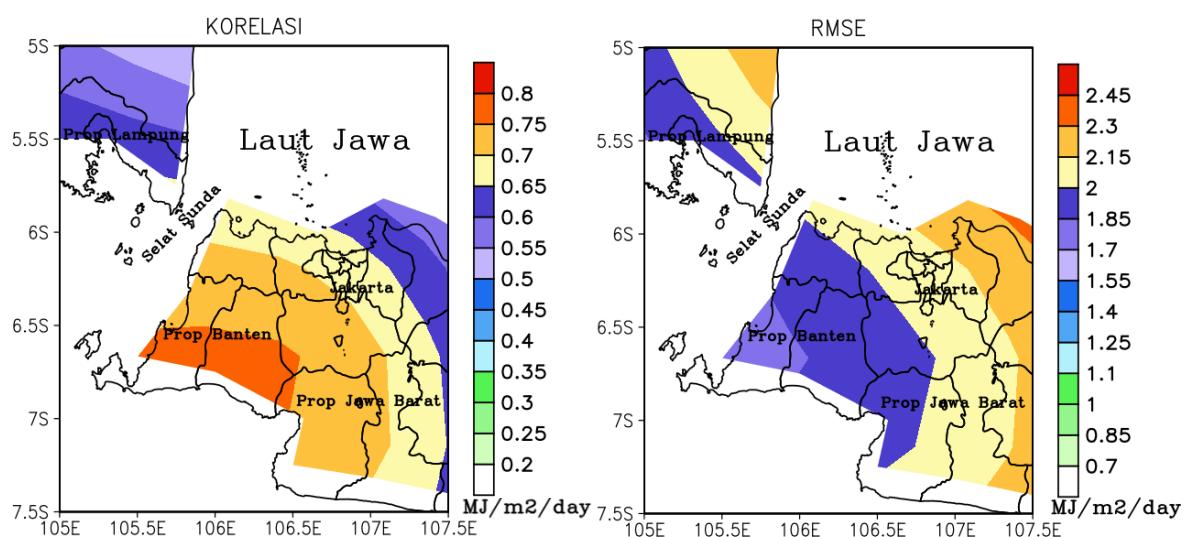
Gambar 3. Perbandingan performa model empiris dan deterministik ditinjau berdasarkan nilai korelasi dan RMSE.

Ditinjau berdasarkan aspek topografis, nilai korelasi tinggi dan RMSE yang rendah paling dominan diamati di sisi barat Banten yang memiliki kontur wilayah yang datar (ketinggian wilayah relatif sama) sehingga proses fisis dan

dinamis atmosfernya relatif lebih sederhana. Analisis secara spasial hanya dilakukan dengan menggunakan data yang dihasilkan oleh model empiris mengingat performanya yang lebih baik berdasarkan uji parameter statistik (korelasi dan RMSE).

Estimasi data radiasi matahari di wilayah di mana data tersebut hilang atau tidak tersedia menjadi sangat penting dilakukan (Hodges *et al.*, 1985; Hook dan McClendon, 1992; Meinke *et al.*, 1995). Penelitian ini menggunakan data model di lokasi titik Stasiun Klimatologi Pondok Betung untuk dapat menunjukkan bahwa perhitungan atau estimasi data radiasi matahari dengan dilakukan dengan menggunakan data dasar meteorologi, meliputi suhu maksimum, suhu minimum, dan curah hujan, serta radiasi di atas atmosfer.

Estimasi data intensitas matahari tersebut 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 yang relatif mudah untuk diestimasikan, sehingga memungkinkan persamaan untuk digunakan dalam skala yang lebih luas (Cengiz *et al.*, 1981; Supit, 1994). Christensen (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 empiris 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. Dalam mengestimasi nilai radiasi matahari, penelitian ini menggunakan beberapa parameter utama atmosfer, seperti suhu maksimum, suhu minimum, dan curah hujan. Dua pemodelan estimasi data, persamaan deterministik dan persamaan empiris sederhana, yang digunakan dalam penelitian ini cukup baik dalam mengestimasi nilai radiasi matahari di wilayah penelitian.

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 dengan nilai RMSE yang relatif kecil, yaitu 2,035. Penelitian ini menunjukkan bahwa perbedaan lokasi penelitian berpengaruh terhadap perbedaan karakteristik galat pada beberapa parameter uji statistik jika dibandingkan dengan hasil penelitian Hunt dkk. (1998).

Tinjauan secara spasial menunjukkan bahwa model estimasi radiasi matahari memiliki performa yang lebih baik pada sisi barat wilayah Provinsi Banten, dibandingkan pada sisi timur Banten, yang memiliki kontur wilayah datar (ketinggian wilayah relatif sama) sehingga proses fisis dan dinamis atmosfernya relatif lebih sederhana. Tinjauan secara spasial dilakukan berdasarkan hasil pemodelan empiris mengingat performanya yang lebih baik didasarkan pada dua uji parameter statistik, meliputi nilai korelasi dan RMSE.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Ball, R.A., Purcell, L.C., Carey, S.K. (2004). Evaluation of Solar Radiation Prediction Models in North America. *Agronomy Journal*, 96(2), 391-397. doi: 10.2134/agronj2004.0391
- Brinsfield, R., Yaramanoglu, M., Wheaton, F. (1984). Ground Level Solar Radiation Prediction Model Including Cloud Cover Effects. *Solar Energy*, 33(6), 493-499.
- Bristow, C.L., Campbell, G.S. (1984). On The Relationship Between Incoming Solar Radiation and Daily Maximum and Minimum Temperature. *Agric. For. Meteorol.* 31(2), 159-166. doi: 10.1016/0168-1923(84)90017-0

- Cengiz, H.S., Gregory, J.M., Sebaugh, J.L., (1981). Solar Radiation Prediction From Other Climatic Variables. *Trans. ASAE* 24(5), 1269-1272. doi: 10.13031/2013.34431
- Christensen, P. (1989). *Fitting Distribution to Data*. Entropy Limited, Lincoln Mass.
- Dee, D.P., Uppala, S.M., Simmons, A.J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., Andrae, U., Balmaseda, M.A., Balsamo, G., Bauer, D.P. dan Bechtold, P., (2011). The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the royal meteorological society*, 137(656), 553-597. doi: 10.1002/qj.828
- Elizondo, D., Hoogenboom, G., McClendon, R.W. (1994). Development of A Neural Network Model to Predict Daily Solar Radiation. *Agric. For. Meteorol.* 71(1-2), 115-132. doi: 10.1016/0168-1923(94)90103-1
- Goodnight, J.H. (1980). Tests of Hypotheses In Fixed Effects Linear Models. *Communications in Statistics-Theory and Methods*, 9(2), 167-180. doi: 10.1080/03610928008827869
- Hodges, T., French, V., LeDuck, S.K. (1985). *Estimating Solar Radiation for Plant Simulation Models*. Columbia, MO: NOAA-NESDIS-AISC.
- Hoogenboom, G., Jones, J.W., Boote, K.J. (1992). Modeling Growth, Development and Yield of Grain Legumes Using SOYGRO PNUTGRO, and BEANGRO: a review. *Trans. ASAE* 35(6), 2043-2056.
- Hook, J.E., McClendon, R.W. (1992). Estimation of Solar Radiation Data Missing from Long-Term Meteorological Records. *Agron. J.* 88, 739-742. doi: 10.2134/agronj1992.00021962008400040 036x
- Hunt, L.A. (1994). Data requirements for crop modeling. In: Application of Modeling in the Semi-Arid Tropics. *International Council of Scientific Unions*. 15-25.
- Hunt, L.A. dan Pararajasingham, S., (1995). Cropsim-Wheat: A Model Describing The Growth and Development of Wheat. *Can. J. Plant Sci.* 75(3), 619-632. doi: 10.4141/cjps95-107
- Hunt, L.A., Kuchar, L., dan Swanton, C.J. (1998). Estimation of solar radiation for use in crop modeling. *Agricultural and Forest Meteorology* 91, 293-300.
- 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, dan Joseph D. (1996). The NMC/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bull Am Meteorol Soc*

- 77(3), 437–471. doi: 10.1175/1520-0477(1996)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2
- Mamenun, Pawitan, H., Sophaheluwakan, A. (2014). Validasi dan Koreksi Data Satelit TRMM Pada Tiga Pola Hujan di Indonesia, *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 15(1), 13-23. doi: 10.31172/jmg.v15i1.169
- Meinke, H., Carberry, P.S., McCaskill, M.R., Hills, M.A., McLeod, I. (1995). Evaluation of Radiation and Temperature Data Generators In The Australian Tropics and Sub-Tropics Using Crop Simulation Models. *Agric. For. Meteorol.* 72, 295-316.
- Petersen, M.S. (1990). *Implementation Of Semi-Physical Model for Examining Solar Radiation in The Midwest*. Illinois: Midwestern Climate Center, Atmospheric Sciences Division, Illinois State Water Survey.
- Reddy, S.J. (1987). The estimation of global solar radiation and evaporation through precipitation – A note. *Solar Energy* 38, 97-104. doi: 10.1016/0038-092X(87)90032-6
- Spitters, C.J.T., Toussaint, H.A.J.M., Goudriaan, J. (1986). Separating The Diffuse And Direct Component of Global Radiation And Its Implications for Modeling Canopy Photosynthesis. I. Components of Incoming Radiation. *Agric. For. Meteorol.* 38(1-3), 217±229. doi: 10.1016/0168-1923(86)90060-2
- Sugiyono. (2012). *Statistika untuk Penelitian*. Bandung: CV Alfabeta.
- Supit, I. (1994). *EUR 15745 - Global Radiation*. Luxembourg: Office for Official Publication of the European Communities.
- Swarinoto, S.Y., Husain. (2012). Estimasi Curah Hujan dengan Metode Auto Estimator (Kasus Jayapura dan Sekitarnya). *Jurnal Meteorologi dan Geofisika* 13(1). doi: 10.31172/jmg.v13i1.118
- Syaifullah, M.D. (2014). Validasi data TRMM terhadap data curah hujan aktual di tiga DAS di Indonesia, *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 15(2), 109–118. doi: 10.31172/jmg.v15i2.180
- Thornton, P.E., Running, S.W. (1999). An improved algorithm for estimating incident daily solar radiation from measurements of temperature, humidity, and precipitation. *Agric. For. Meteorol.* 93:211–228.
- Wilks, D.S. (2006). *Statistical methods in the atmospheric sciences*, 2nd ed. London: Elsevier Academic Press.