

PEMODELAN STATISTIK DAN SIMPLE RADIATIVE MODEL UNTUK MENDUGA RADIASI MATAHARI GLOBAL HARIAN

(Statistical Modelling and Simple Radiatif Model to estimate Global Solar Radiation)

Asep Firman Ilahi^{1,3}, Tania June², Ardhasena Sopahulewakan³ dan Yosfi Andri³

Abstract. *This paper evaluated accuracy and applicability of seven of global solar radiation estimation that use daily ambient temperature, total precipitation and relative humidity at the tropical area of Indoneisan maritime continent. Two models of these evaluated are new proposed model (PM) to estimate solar radiation at the horizontal surface. The first model PM1 used temperature-precipitation as the input (TP-based) while the second PM2 model used temperature-precipitation-relative humidity combination as the input (TPRH-based). All the models are evaluated by error statistics e.g. Fraction of Prediction in one or two factor (FAC2), Mean Bias (MB), Mean Gross Error (MGE), Normalised Mean Bias (NMB), Normalised Mean Gross Error (NMGE), Root Mean Square Error (RMSE), Coefficient Determination (r) and Coefficient of Efficiency (COE). The result shows that TPRH-based model have a good accuracy than TP-based or TP-based. PM2 model showed the best performance among all models while Quej et.al 2016 model has good accuracy but less precision. Tropical climate characteristic where high humidity have significantly affected incoming solar radiation at the surface temporarily or spatially.*

Keywords : *empyirical model, statistical model, global solar radiation*

PENDAHULUAN

Radasi matahari di permukaan bumi (R_s , $MJ/m^2/hari$) merupakan variabel penting yang digunakan dalam ilmu pertanian, terutama untuk pemodelan tanaman dan estimasi evapotranspirasi tanaman, juga untuk hidrologi, meteorologi, dan fisika tanah (Ball et.al 2004). Pengetahuan tentang radasi matahari penting untuk desain pembangunan sistem energi, rancang bangun sistem solarenergi (Wong, 2001) dan hubungan matematis antara radasi matahari dan sudut

penerimaan bidang horizontal (Jastrzëbska, 2015) serta evaluasi yang baik bagi lingkungan termal bangunan (Ahmad, 2011; Yao, 2015). Model radasi matahari juga menawarkan sumber energi bersih, terbarukan dan domestik, dan merupakan komponen penting dari energi masa depan yang berkelanjutan (Jastrzëbska, 2015). Selain itu pemodelan energi radasi bermanfaat dalam bidang pertanian, silvikultur dan riset ekologi (Hunt et.al 1998), dan sebagai faktor utama yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman (Piri et.al 2015).

Jaringan pengamatan radasi matahari saat ini dirasa masih kurang dan datanya masih banyak yang kurang akurat. Pencatatan suhu maksimum dan minimum serta presipitasi tersedia di banyak stasiun meteorologi, tetapi pengamatan radasi matahari yang akurat hanya tersedia di beberapa lokasi saja (Nonhebel, 1994) dan belum banyak tersedia di semua stasiun meteorologi (Piri et.al 2015). Kondisi ini merefleksikan keadaan bukan hanya biaya pengadaan peralatannya yang mahal, namun juga permasalahan perawatan dan kalibrasi sensor-sensornya, sehingga hasil pengukuran yang didapat menjadi bias karena kurangnya kalibrasi dan/atau masalah penempatan peralatannya (Hunt et.al 1998).

Sebuah model numerik berbasis data meteorologi standar dapat digunakan sebagai pembangkit data untuk memperluas basis variabel data lain (Atwater, 1978). Beberapa studi telah menunjukkan bahwa model radasi matahari global dengan metode regresi linear menggunakan parameter prediktor radasi matahari ekstraterrestrial (Hunt et.al 1998; Ball et.al 2004), tekanan uap air saturasi, transformasi curah hujan telah menunjukkan akurasi yang baik (Almorox, 2011), dan juga model berbasis temperatur (Hassan et.al 2016; daSilva et.al 2016) dan curah hujan memberikan hasil yang memuaskan (Muzhatik et.al 2010; Woli, 2012; Mesri et.al 2015) serta memiliki akurasi lebih baik lagi dengan

memodifikasinya dengan kelembaban udara (Quej et.al 2016).

Tulisan ini mengevaluasi model penduga radiasi matahari global berbasis suhu udara, curah hujan dan kelembaban serta modifikasi koefisien kalibrasi beberapa model yang berasal dari masukan parameter meteorologi serta model spesifik usulan sesuai dengan karakteristik topografi dan wilayah lintang rendah. Tujuan utama dari tulisan ini adalah mengevaluasi model penduga radiasi matahari global sebagai informasi pendekatan kondisi radiasi matahari pada wilayah yang belum ada pengamatan pada daerah lintang rendah dengan kondisi geografis seperti Indonesia.

METODE PENELITIAN

Area Studi

Lokasi yang dijadikan referensi adalah Stasiun Pemantau Atmosfer Global (GAW)

Bukit Kototabang, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) yang berlokasi di Jalan Raya Bukittinggi – Medan km. 17, desa Muaro, kanagarian Palupuh, kecamatan Koto Rantang, kabupaten Agam, Sumatera Barat. Stasiun berada pada posisi $0^{\circ}12'07''$ LS, $100^{\circ}19'05''$ BT (-0.202 S, 100.3180 E) dengan ketinggian 864 meter di atas permukaan laut. Bahan yang digunakan adalah data pengamatan suhu udara maksimum harian (T_{max}), suhu udara minimum harian (T_{min}), Presipitasi harian dan

kelembaban udara (RH) sebagai variabel input untuk model. Data radiasi matahari global harian digunakan sebagai pembanding keterkaitan model dengan observasi dalam periode waktu tahun 2005 hingga 2012.

Beberapa model penduga radiasi matahari juga diaplikasikan di beberapa stasiun terpilih (Tabel 1) untuk melihat bagaimana respon model lokal terhadap radiasi matahari global Bukit Kototabang sebagai referensi

Tabel 1. Informasi geografis lokasi aplikasi model radiasi matahari

Stasiun	Longitude	Latitude
Bukit Kototabang (BKT)*	100.318	-0.202
Padang Panjang (PPI)	100.397	-0.4553
Sicincin (SCC)	100.71222	-0.55753
Tabing (TBG)	100.28917	-0.79361
Teluk Bayur (TLB)	100.37222	-0.99639
Siantan (SIA)	109.1908	0.0753
Tuntungan (TTG)	98.58126	3.50083
Japura Rengat (JPR)	102.33389	0.35194
Sultan Syarif Kasim II (SSK)	101.44778	0.46833
Binaka (BNK)	97.575	1.304

*Stasiun referensi

Model Penduga Radiasi Matahari

Model berbasis suhu permukaan (T -based) menduga radiasi matahari global yang didasari oleh fakta bahwa amplitudo termal mempengaruhi langsung emisifitas atmosfer. Model-model ini mengasumsikan bahwa tinggi rendahnya emisifitas atmosfer disebabkan oleh naik atau turunnya suhu permukaan. Suhu permukaan naik disebabkan oleh cuaca cerah dan tingginya radiasi gelombang pendek dan turunnya suhu permukaan disebabkan oleh naiknya kemampuan transmisi atmosfer (Quej et.al 2016). Sementara model berbasis parameter meteorologi yang lain berasumsi akurasi model dapat bertambah dengan memasukan parameter cuaca yang lain seperti kombinasi temperatur-presipitasi (TP -based) atau temperatur-presipitasi-kelembaban ($TPRH$ -based). Terdapat banyak model -

persamaan dalam menduga radiasi matahari. Model Angstrom (Angstrom, 1924) memberikan variansi lebih kecil dibanding model yang lain (Namrata et.al 2013) dan dapat diaplikasikan di lokasi dengan kriteria iklim yang sama dengan model pembangun (Ghobadi et.al 2015; Innocent et.al 2015). Model-model Bristow-Champbell (Bristow, 1984), Donatelli-Campbell (Donatelli, 1998), De Jong-Stewart (De Jong, 1993) dan Chen (Chen et.al 2006), memiliki akurasi lebih baik dan dapat diterapkan dalam pemodelan pertumbuhan palawija di Brazil (Da Silva et.al 2016). Model Hargreaves-Samani (Hargreaves, 1982) yang menggunakan suhu udara ekstrim sebagai indikator keawanan dan transmitan atmosfer menunjukkan RMSE paling kecil diantara model lain, serta model Ball (Ball

et.al 2004) yang mengkonstruksi parameter meteorologi dengan metode *7-dayquadratic-response* lebih simpel digunakan dalam menduga radiasi matahari global.

Metode Lain, model Mavromatis memisahkan hubungan tingkatan radiasi tinggi dan rendah (Woli, 2012), sementara model penduga dengan metode *Artificial Neural Network (ANN)* dapat memprediksi baik radiasi harian dengan akurasi memuaskan di hampir banyak lokasi dengan zona iklim berbeda (Bocco et.al 2009; Benganhem et.al 2009; Kumar et.al 2013; Gorjian et.al 2015; Ruiz et.al 2015; Wang et.al 2015; Panthee, 2016).

Model Radiasi Matahari Ekstraterestrial

Total radiasi ekstraterestrial (R_0) harian dilibatkan karena erat hubungannya dengan radiasi diterima di permukaan bumi. R_0 dihitung dari konstanta matahari, dan trasmisivitas atmosfer (τ_a) yang tergantung dari besaran keawanan menggunakan prosedur geometris standar (Goudriaan, 1994; Almorox et. al 2011). Karena R_0 proporsional terhadap sinus ketinggian matahari (β) dan konstanta matahari (1367 Wm^{-2}) sebagaimana diterangkan dalam persamaan :

$$R_0 = 1367 \times \tau_a \times \sin \beta \quad (\text{dalam } \text{Wm}^{-2}) \quad (1)$$

Model T-based

Model Hargreaves-Samani (HRS)

Hargreaves-Samani (1982) menduga radiasi matahari R_s dengan menggunakan temperatur udara harian sebagai indikator dari keawanan dan transmittan atmosfer

$$R_s = R_0 [a(T_{max} - T_{min})^{0.5}] \quad (2)$$

Model Bristow-Campbell (BRC)

Bristow-Campbell (1984) menggunakan metode penduga radiasi matahari dari pengukuran temperatur udara. Mereka membangun hubungan empiris dalam mengungkapkan transmittan atmosfer total harian sebagai fungsi rentang harian suhu udara:

$$R_s = R_0 a [1 - \exp(-b\Delta T^c)] \quad (3)$$

$$\Delta T(^{\circ}\text{C}) = T_{\max(j)} - [(T_{\min(j)} - T_{\min(j+1)})/2] \quad (4)$$

Model TP-based

Model Hunt (HNT)

Hunt et.al (1998) mengembangkan model radiasi matahari Hargreaves dengan

menambahkan variabel presipitasi dan bentuk kuadratnya dalam bentuk persamaan :

$$R_s = a_0 R_0 (T_{max} - T_{min})^{0.5} + a_1 T_{max} + a_2 P + a_3 P^2 + a_4 \quad (5)$$

Model Ball (BAL)

Ball et.al (2004) memprediksi radiasi matahari di daerah Keiser, Arizona, Amerika Serikat menggunakan persamaan regresi multivariat dengan variabel suhu maksimum (T_{max}), suhu minimum (T_{min}) dan presipitasi untuk tahun 1997 dan 1998. Model dibangun menggunakan respon perkalian silang dengan prosedur *General Linear Model*. Model final didapatkan ($\text{MJ/m}^2/\text{hari}$) :

$$R_s = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_3 X_3 + a_4 X_4 + \dots + a_{12} X_{12} \quad (6)$$

Proposed Model 1 (PM1)

Proposed Model (PM) menggunakan asumsi bahwa parameter-parameter meteorologi saling berhubungan antara satu dengan yang lain. Variabel-variabel tersebut dimodifikasi berupa linear, kuadrat, eksponensial dan perkalian silang antar variabel (Ball et.al 2004; Ogolo, 2014). Dengan prosedur stepwise regresi ganda, signifikansi variabel didapatkan dengan kriteria parameter p-value < 0.05. PM1 menggunakan masukan temperatur maksimum, minimum dan presipitasi (TP-based model), dan didapatkan :

$$R_s = aR_0 + bT_{max} - c(T_{min})^{0.5} - dS_0(T_{max} - T_{min})^{0.5} - eP(T_{max} - T_{min}) \quad (7)$$

Model TPRH-based

Model Quej (QUE)

Quej et.al (2016) menyertakan suhu maksimum dan minimum, kelembaban udara dan transformasi presipitasi dalam persamaannya, dengan asumsi bahwa radiasi matahari rendah berkaitan dengan kejadian hujan dan tingginya kelembaban udara:

$$R_s = R_0 ((T_{max} - T_{min})^a + b)(1 + cRH) + dRT_j \quad (8)$$

Proposed Model2 (PM2)

Dengan prosedur yang sama dengan PM1, model usulan kedua (PM2) memasukkan variabel kelembaban udara kedalam proses stepwise dan didapatkan persamaan :

$$R_s = a + bT_{max}cP - d(T_{max})^{0.5} - e(T_{min})^{0.5} - fP^{0.5} + gRH^{0.5} + h(S_0 \times T_{max})$$

$$-i(T_{min} \times RH) \quad (9)$$

Kalibrasi dan Evaluasi Model

Terdapat banyak metode statistik dalam literatur solar energi yang memenuhi penilaian kelayakan model estimasi. Bagaimanapun tidak ada metode statistik yang meringkas semua aspek ketertarikan dalam suatu penelitian (Carslaw, 2015). Indikator statistik yang digunakan ukuran statistik untuk evaluasi model adalah :

- Fraction of Prediction in one or two factor,

$$FAC2 = 0.5 \leq \frac{M_i}{O_i} \leq 2.0 \quad (10)$$

- Mean Bias,

$$MB = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N M_i - O_i \quad (11)$$

- Mean Gross Error,

$$MGE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N |M_i - O_i| \quad (12)$$

- Normalised Mean Bias,

$$NMB = \frac{\sum_{i=1}^N M_i - O_i}{\sum_{i=1}^N O_i} \quad (13)$$

- Normalised Mean Gross Error,

$$NMGE = \frac{\sum_{i=1}^N |M_i - O_i|}{\sum_{i=1}^N O_i} \quad (14)$$

- Root Mean Square Error, $RMSE =$

$$\sqrt{\frac{1}{n} \sum (M_i - O_i)^2} \quad (15)$$

- Koefisien Determinasi

$$r^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{M_i - \bar{M}}{\sigma_M} \right) \left(\frac{O_i - \bar{O}}{\sigma_O} \right) \quad (16)$$

- Coefficient OF Efficiency,

$$COE = 1.0 - \frac{\sum_{i=1}^n |M_i - O_i|}{\sum_{i=1}^n |O_i - \bar{O}|} \quad (17)$$

Arti dari simbol-simbol persamaan 1-10 adalah a_0 intersep, $a_1 - a_{12}$ koefisien regresi, R_s radiasi matahari harian ($MJ/m^2/hari$), P presipitasi total harian (mm), R_0 radiasi ekstraterrestrial ($MJ/m^2/hari$), T_{max} suhu maksimum ($^{\circ}C$), T_{min} suhu minimum ($^{\circ}C$), X_1 presipitasi, X_2 Tmax, X_3 Tmin, X_4 DOY, X_5 presipitasi², X_6 Tmax², X_7 Tmin², X_8 DOY², X_9 Presipitasi $\times$ Tmin, X_{10} Tmax $\times$ Tmin, X_{11} Presipitasi $\times$ Tmax, X_{12} Tmax $\times$ DOY, DOY day of year, 1 = 1 Januari, n jumlah data, M_i nilai prediksi model ke-i, O_i nilai observasi ke-i, RT_j transformasi curah hujan ke-j, β sinus ketinggian matahari dan τ_a trasmisivitas atmosfer.

Skenario koefisien kalibrasi model memberikan variasi deviasi nilai penduga (Mousavi, et.al 2014). Semua model dites perhitungan pendugaan radiasi matahari di Kototabang dengan menggunakan koefisien kalibrasi. Persamaan HNT, BAL, HAS, PM1 dan PM2 didapatkan koefisien persamaan regresi llinear semua variabel dalam persamaan. Sementara model BRC dan QUE menggunakan koefisien yang sesuai dengan kondisi topografi dengan model pembangun.

Tabel 2. Koefisien kalibrasi untuk masing-masing model

Coeff.	HNT	BAL	HAS	BRC	QUE	PM1	PM2
a	-25.062	-1.324	0.14	0.74	0.184	-16.301	42.68
b	0.071	-2.632		0.077	-0.936	0.879	8.859
c	1.236	4.082		1.2	-0.003	0.034	0.026
d	-0.071	-0.155			-1.354	0	-81.403
e	0	-0.026				-0.015	26.842
f		0					-0.436
g		0.106					11.09
h		-0.074					0.01
i		0					-0.045
j		-0.003					
k		-0.078					
l		0.005					
m		0.001					

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Ringkasan statistik data meteorologi suhu maksimum (Tmax), suhu minimum (Tmin) dalam derajat Celcius ($^{\circ}\text{C}$) dan presipitasi dalam millimeter serta radiasi matahari global (SR.obs) disajikan dalam Beberapa model penduga radiasi matahari juga diaplikasikan di

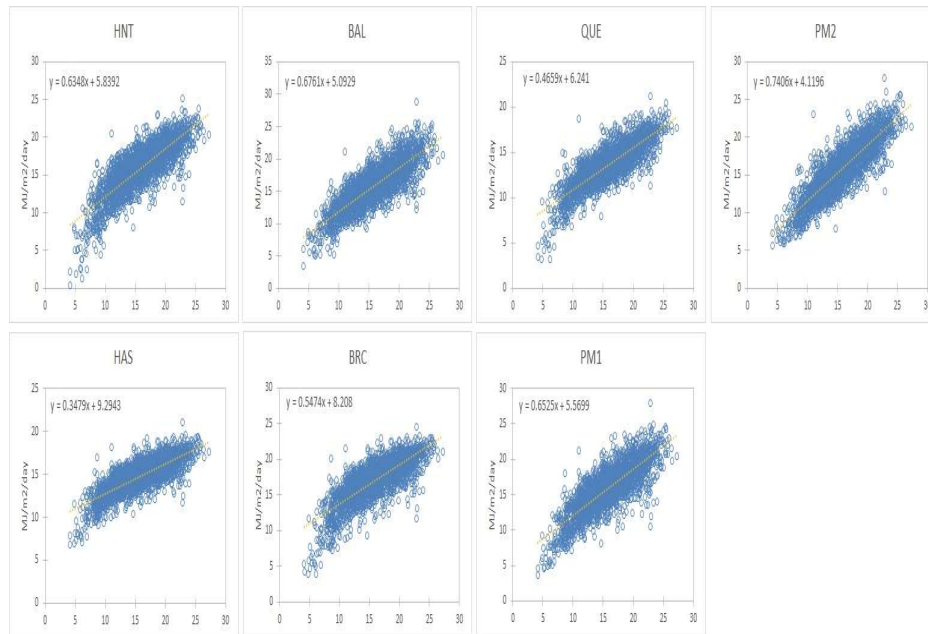
Tabel 3. Ringkasan statistik data meteorologi dan radiasi matahari global SPAG Bukit Kototabang pada tahun 2005-2011

	Tmax ($^{\circ}\text{C}$)	Tmin ($^{\circ}\text{C}$)	Presipitasi (mm/hari)	Rs.obs (MJ/m ² /hari)
Min.	19.7	15.4	0	4.1
1st Qu.	26.5	18.2	0	12.8
Median	27.6	18.8	1.4	15.7
Mean	27.4	18.7	8.5	15.8
3rd Qu.	28.6	19.3	10.2	18.9
Max.	31.9	21.5	303.5	27.3

beberapa stasiun terpilih (Tabel 1) untuk melihat bagaimana respon model lokal terhadap radiasi matahari global Bukit Kototabang sebagai referensi. Tabel 3 di bawah. Jumlah data sebanyak 2922 hari, eliminasi data dilakukan terhadap 704 pasangan data tidak valid.

Performa Model

Dalam studi ini dilakukan uji kemampuan 7 model penduga radiasi matahari global harian di daerah lintang rendah (ekuator). Formulasi empiris didapatkan cocok dengan data meteorologi biasa tersedia di stasiun pengamatan cuaca. Koefisien persamaan model dapat digunakan dan menunjukan hasil yang baik dalam pendugaan radiasi matahari global (Gambar 1).



Gambar 1. Plot acak model-model penduga radiasi matahari terhadap observasi di Kototabang

Semua model menunjukan hasil yang baik sebagaimana ditunjukan oleh galat statistik (Tabel 4) yang telah diurutkan berdasarkan kriteria galat paling kecil. Model usulan PM2 dengan basis temperatur, hujan dan kelembaban udara menunjukan hasil paling baik dari semua model. Model ini didapatkan $r = 0.865$, dengan parameter galat MGE dan

RMSE 1.649 dan 0.001 MJ/m²/hari terkecil dari model yang lain sebagaimana didapatkan MB dan MGE dan NMGE sebesar 0.015, 1.649 dan 0.104 MJ/m²/hari. Gambaran performa model yang dijelaskan oleh 3 statistik yaitu koefisien korelasi, RMSE dan deviasi standar (Gambar 2).

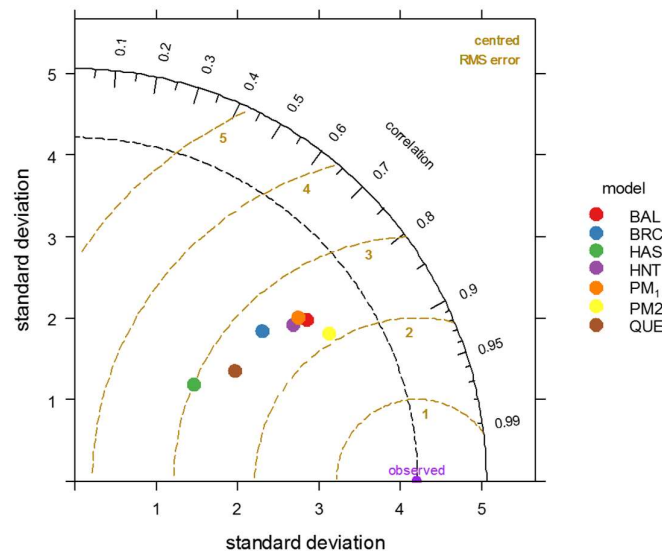
Tabel 4. Galat statistik untuk tujuh model penduga radiasi matahari global

Rank	model	FAC2	MB	MGE	NMB	NMGE	RMSE	r	COE	IOA
1	PM2	1	0.015	1.649	0.001	0.104	2.113	0.865	0.522	0.761
2	BAL	1	-0.032	1.898	-0.002	0.12	2.403	0.821	0.45	0.725
3	PM1	1	0.071	1.951	0.004	0.123	2.484	0.808	0.435	0.717
4	HNT	1	0.06	1.956	0.004	0.124	2.455	0.814	0.433	0.717
5	BRC	1	1.046	2.305	0.066	0.146	2.851	0.781	0.332	0.666
6	HAS	1	-1.026	2.554	-0.065	0.161	3.165	0.777	0.26	0.63
7	QUE	1	-2.212	2.756	-0.14	0.174	3.436	0.822	0.201	0.601

Model-model *TP-based* yaitu model BAL, PM1 dan HNT menunjukkan performa lebih baik daripada model-model *T-based* (model BRC dan HAS). Sementara model QUE dengan *TPRH-based* menunjukkan presisi yang kurang yang ditunjukkan oleh galat besar daripada model yang lain tetapi didapatkan akurasi (koefisien korelasi) yang lebih baik, hal ini dikarenakan masih menggunakan koefisien pembangun model

Secara umum, model berbasis hanya dengan parameter temperatur

saja kurang akurat dalam memprediksi radiasi matahari global dibandingkan dengan model yang ditambahkan beberapa parameter cuaca yang lain. Model *T-based* Bristow-Campbell (BRC) lebih baik galatnya daripada model Hasrgreaves-Samani (HAS). Namun model dengan basis masukan temperatur dapat digunakan sebagai pendekatan pendugaan radiasi matahari global apabila didapatkan terbatasnya data cuaca. Model dengan masukan kombinasi temperatur dengan curah hujan dan kelembaban akan lebih memberikan akurasi lebih baik.



Gambar 2. Diagram Taylor yang menerangkan statistik koefisien korelasi (r), RMSE dan deviasi standar model-model penduga radiasi matahari

Lokasi Bukit Kototabang dan kebanyakan wilayah lain di Indonesia mempunyai iklim tropis yang sama dimana kelembaban tinggi terukur sepanjang tahun. Kelembaban udara memberikan pengaruh signifikan dalam penerimaan radiasi matahari global oleh permukaan (Li, et.al 2015, Quej, et.al 2016). Kandungan uap air dalam kelembaban udara telah menyerap panas dan memancarkan kembali ke permukaan bumi

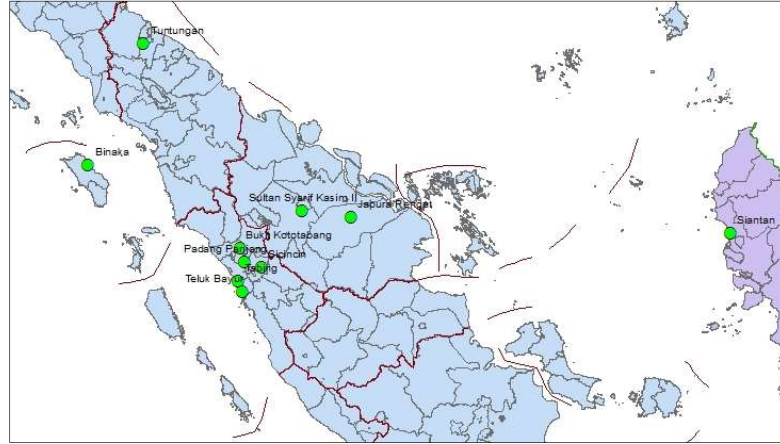
dan berpengaruh terhadap radiasi global yang diterima permukaan.

Aplikasi Beberapa Model di Lokasi Terdekat

Allen (1997) telah mengevaluasi data dari lokasi yang luas dan berkesimpulan bahwa model dapat menduga radiasi matahari global dari stasiun cuaca untuk lokasi-lokasi dalam radius 400 km seperti halnya persamaan yang dihasilkan stasiun terdekat.

Model-model HNT, BAL, PM1 dan PM4 diujicobakan di beberapa lokasi terdekat; yaitu 4 lokasi di propinsi Sumatera Barat, 2 lokasi di propinsi Riau, 2 lokasi di propinsi Sumatera Utara dan 1 lokasi di Kalimantan Barat dengan asumsi kesamaan lintang dengan model

pembangun (Gambar 3). Koefisien yang sama digunakan pada model untuk menduga radiasi matahari global di lokasi-lokasi tersebut. Hasil kemudian dibandingkan dengan pengukuran radiasi matahari global di Bukit Kototabang dan dilihat penurunan koefisien korelasinya.



Gambar 3. Lokasi penerapan model-model penduga radiasi matahari global di Sumatera dan Kalimantan dengan referensi data observasi Bukit Kototabang

Model PM2 mempunyai akurasi lebih baik yang diikuti oleh model HNT, PM1 dan BAL berturut-turut. Lokasi SCC menunjukkan koefisien korelasi tertinggi untuk model PM2 dengan koefisien determinasi 0.612 (Tabel 5). Koefisien terkecil didapatkan untuk lokasi Siantan (SIA), Kalimantan Barat.

Tabel 5. Koefisien determinasi(r) model-model penduga radiasi terhadap model referensi Bukit Kototabang.

Location	Model			
	BAL	HNT	PM1	PM2
SCC1	0.52	0.555	0.53	0.612
TLB1	0.45	0.523	0.482	0.634
PPI1	0.38	0.358	0.362	0.425
TBG1	0.375	0.393	0.398	0.585
BNK3	0.356	0.354	0.365	0.356
JPR2	0.336	0.35	0.368	0.393
SSK2	0.283	0.342	0.322	0.387
TTG2	0.17	0.17	0.175	0.175
SIA4	0.083	0.05	0.05	0.061

1 = Propinsi Sumatera Barat, 2 = Riau, 3 = Sumatera Utara, 4 = Kalimantan Barat
Secara umum model PM2 lebih baik dalam aplikasinya daripada model-model lain untuk menduga radiasi matahari global di lintang rendah. Untuk lokasi-lokasi di Sumatera Barat jarak terdekat dengan lokasi adalah PPI tetapi koefisien terbesar justru ditunjukkan oleh lokasi

SCC, hal ini disebabkan karena topografi PPI berada pada lereng pegunungan dimana bukan radiasi matahari yang diterima tidak maksimal dalam bidang horizontal (Park, et.al 2015). Lokasi Siantan (SIA) Kalimantan Barat walaupun berada pada lintang yang sama dengan model pembangun tetapi didapatkan koefisien korelasi terkecil karena perbedaan bujur dan altitude berbeda (Mgouchi, et.al 2014). Karena karakteristik iklim lokal (Kim, 2013) menentukan komposisi variabel-variabel atmosfer di masing-masing lokasi, maka didapatkan koefisien korelasi dengan model pembangun makin kecil.

KESIMPULAN

Dalam studi ini dilakukan uji kemampuan 7 model empirik penduga radiasi matahari global harian di daerah lintang rendah (ekuator). Model-model dengan basis data menggunakan data masukan kombinasi temperatur-presipitasi-kelembaban udara (TPRH-based) menunjukkan hasil yang sangat memuaskan ketimbang kombinasi temperatur dan Presipitasi (TP-based) atau hanya satu variabel temperatur saja (T-based). Namun untuk lokasi dengan data cuaca terbatas model dengan basis temperatur saja atau kombinasi dengan presipitasi dapat digunakan sebagai penduga radiasi matahari global harian.

Karakteristik iklim tropis dengan kelembaban tinggi mempengaruhi radiasi matahari secara signifikan yang diterima oleh permukaan bumi baik secara temporal maupun spasial. Model usulan TPRH-based (PM2) menunjukkan performa lebih baik daripada model usulan TP-based (PM1) baik dari galat statistik yang ditunjukkan maupun koefisiensi modelnya.

Model penduga radiasi matahari global harian dapat digunakan di lokasi yang tidak ada pengukuran radiasi matahari. Model secara konsisten menduga radiasi matahari namun akurasi makin berkurang apabila jarak makin jauh dengan model pembangun yang dijadikan referensi. Kondisi cuaca lokal menentukan karakteristik radiasi matahari global harian yang diterima oleh permukaan bumi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad MJ and Tiwari GN. 2011. Solar radiation model – A review. *IntJEnergy Res* 35:271–290 DOI: 10.1002/er.1690.
- Allen R. 1997. Self-calibrating method for estimating solar radiation from air temperature. *J Hydrol Eng*, 2:56–67.
- Almorox J. 2011. Estimating global solar radiation from common meteorological data in Aranjuez, Spain. *Turk J Phys*, 35:53–64. DOI:10.3906/fiz-0912-20.
- Angström A. 1924. Solar and terrestrial radiation. *QJR Meteorol Soc*, 50:121–5.
- Atwater MA and Ball, JT. 1978. Review paper; A numerical solar radiation model based on standard meteorological observations. *Sol Ener*;21:163-170.
- Ball RA, Purcel LC and Carey SK. 2004. Evaluation of solar radiation prediction models in North America. *Agr J*;96:391-397.
- Benghanem M, Mellit A and Alamri SN. 2009. ANN-based modelling and estimation of daily global solar radiation data: A case study. *Ener Conv Manage*;50:1644–1655.
- Bocco M, Willington E and Arias M. 2009. Comparison of regression and neural networks models to estimate solar radiation. *ChilJ AgrRes*;70(3):428–435.
- Bristow K, Campbell G. 1984. On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. *Agri Forest Meteorol* 31:159–66.
- Carslaw, D. 2015. The openair manual open-source tools for analysing air pollution data. *King's Coll Lon*, version: 28th January 2015.
- Chen R, Kang E, Lu S, Yang J, Ji X, Zhang Z. 2006. New methods to estimate global radiation based on meteorological data in China. *Energy Convers Manage*;47:2991–2998.
- DaSilva VJ, Da Silva CR, Almorox J, Júnior JA. 2016. Temperature-based solar radiation models for use in simulated soybean potential yield. *Aus. JCrop Sci*, 10(7):926-932 DOI: 10.21475/ajcs.2016.10.07.p7301.
- DeJong R, Stewart DW. 1993. Estimating global solar radiation from common meteorological observations in Western Canada. *Can J Plant Sci*. 73:509–518.
- Donatelli M, Campbell G. 1998. A simple model to estimate global solar radiation. 2:133–4.
- Ghobadi G, Gholizadeh B and Motavalli S. 2015. Estimating global solar radiation from common meteorological data in Sari station, Iran. *Inter J Agric Crop Sci*, 5(21):2650-2654.
- Goudriaan J and Laar HH-van. 1994. Modelling potential crop growth processes. *Kluwer Academic Publisher*. ISBN 0-7923-3219-9 (HB) ISBN 0-7923-3220-2 (PB).
- Gorjian S, Ghobadian B and Hashjin TT. 2015. Modeling of Solar Radiation Potential in Iran Using Artificial Neural Networks. *J Agr Sci Tech*;17:1707–1723.
- Hassan GE, Youssef ME, Mohamed ZE, Ali MA, Hanafy AA. 2016. New Temperature-based models for predicting global solar radiation. *Appl Ener*, 179:437–450.
- Hargreaves GH, Samani ZA. 1982. Estimating potential evapotranspiration. *Jlrrig Drain Div*;108:225–30.
- Hunt LA, Kuchar L and Swanton CJ. 1998. Estimation of solar radiation for use in crop modelling. *Agri and Forest Meteorol*, 91:293–300
- Innocent AJ, Jacob OE, Chibuzo GC, James I and Odeh DO. 2015. Estimation of global solar radiation in Gusau, Nigeria. *Int J of Res in Eng & Tech*, 3:27-32.
- Jastrzębska GF and Bugala A, 2015. Modeling the distribution of solar radiation on a two-axis tracking plane for photovoltaic conversion. *Energies*, 8:1025-1041; doi:10.3390/en8021025.
- Kim KH, Baltazar JC and Haberl JS. 2013. Evaluation of Meteorological Base Models for Estimating Hourly Global Solar Radiation in Texas. 2013 ISES Solar World Congress, *Energy Procedia* ESL-PA-13-11-01.
- Kumar R, Anggarwal RK and Sharma JD. 2013. New Regression Model to Estimate Global Solar Radiation Using Artificial Neural Network. *AdvEner Eng*, 3:66–73.

- Li H, Cao F, Bu X, Zhao L. 2015. Models for Calculating Daily Global Solar Radiation from Air Temperature in Humid Regions—A case study. *EnvProg& SustainEnerg*, DOI 10.1002/ep.
- Mesri M, Choucha A. Chaib L. 2015. Evaluation of global solar radiation models for inclined surfaces. *IntConf of ElectAutomatand MechEng* (EAME 2015).
- Mghouchi YE, Bounardi AE, Choulli Z and Ajzoul T. 2014. New model to estimate the solar radiation. *IntJ SustainBuilt Env*, 3:225–234.
- Muzathik AM, Nik WMNW, Samo K and Ibrahim MZ. 2010. Hourly global solar radiation estimates on a horizontal plane. *Jof PhySci*, 21(2):51–66.
- Namrata K, Sharma SP and Saksena SBL. 2013. Comparison of Different Models for Estimation of Global Solar Radiation in Jharkhand (India) Region. *Smart Grid and RenewEnerg*, 4:348-352.
- Nonhebel S. 1994. The effects of use of average instead of daily weather data in Crop Growth Simulation Models. *Agric Sys*, 44:377–396.
- Ogolo EO. 2014. Estimation of global solar radiation in Nigeria using a modified Angstrom model and the trend analysis of the allied meteorological components. *Indi JRadio & Space Phy*, 43:213-224.
- Panthee K and Jha AK. 2016. Estimation of Global Solar Radiation using Artificial Neural Network in Kathmandu, Nepal. *IntJEngRes& Sci*, 2:62–70.
- Park JK, Das A and Park JH. 2015. A new approach to estimate the spatial distribution of solar radiation using topographic factor and sunshine duration in South Korea. *EnerConversManage*, 101:30–39.
- Piri J, Shamshirband S, Petkovic´ D, Tong CW, Rehman MH. 2015. Prediction of the solar radiation on the Earth using support vector regression technique. *Infrared Phy& Tech*, 68:179–185.
- Quej VH, Almorox J, Ibrakhimov M, Saito L. 2016. Empirical models for estimating daily global solar radiation in Yucatán Peninsula, Mexico. *Energ Convand Manage*, 110:448–456.
- Reddy SJ, 1987. The estimation of global solar radiation and evaporation through precipitation - a note. *Solar Energy* 38:97-104.
- Ruiz SQ, Rodriguez AL, Arias JAR, Vasquez DP and Pescador JT. 2015. An advanced ANN-based method to estimate hourly solar radiation from multi-spectral MSG imagery. *Sol Energy*, 115:494–504.
- Wang L, Gong W, Hu B, Lin A, Li H and Zou L. 2015. Modeling and analysis of the spatiotemporal variations of photosynthetically active radiation in China during 1961–2012. *Renewand SustainEnergRev*, 49:1019–1032.
- Wong LT, Chow WK. 2001. Solar radiation model. *ApplEnergy*, 69:191–224.
- Woli P and Paz JO. 2012. Evaluation of various methods for estimating global solar radiation in the Southeastern United States. *JApplMeteorolClimat*, 51:972-985, DOI: 10.1175/JAMC-D-11-0141.1.
- Yao W, Li Z, Xiu T, Lu Y and Li X. 2015. New decomposition models to estimate hourly global solar radiation from the daily value. *Sol Energy*, 120:87–99