

PERBANDINGAN EVAPOTRANSPIRASI POTENSIAL ANTARA HASIL KELUARAN MODEL ReGCM 4.0 DENGAN PERHITUNGAN DATA PENGAMATAN

COMPARISON OF POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION BETWEEN OUTPUT RESULT OF ReGCM 4.0 MODEL WITH CALCULATION OF OBSERVATION DATA

Danang Eko Nuryanto, Jose Rizal

Puslitbang BMKG, Jl Angkasa I No 2 Kemayoran Jakarta Pusat 10720 Indonesia

E-mail : danang.eko@bmgk.go.id

Naskah masuk: 12 Juni 2014; Naskah diperbaiki: 13 Desember 2013; Naskah diterima: 24 Desember 2013

ABSTRAK

Studi mengenai evapotranspirasi potensial menjadi penting karena evapotranspirasi merupakan indikator perubahan iklim yang sangat penting. Juga karena adanya hubungan antara keseimbangan air dan keseimbangan energi yang disebabkan interaksi rumit dalam sistem darat-tumbuhan-atmosfer. Karena keterbatasan pengamatan, model skala meso menjadi perangkat alternatif studi yang cukup berdayaguna untuk melihat fenomena iklim dan turunannya. Analisis perbandingan digunakan untuk mengetahui kemampuan model RegCM 4.0 dalam mensimulasikan evapotranspirasi potensial. Data yang dipergunakan adalah data klimatologi wilayah Medan, Bogor, Semarang, Maros dan Kupang untuk menghitung evapotranspirasi potensial berdasarkan data observasi. Sedangkan data global GFS dan modifikasi *landuse* digunakan sebagai inputan model RegCM 4.0. Dari 5 lokasi penelitian, hanya satu lokasi yang menunjukkan model RegCM 4.0 merepresentasikan data pengamatan yaitu pada wilayah Maros. Hal ini terlihat pada pola evapotranspirasi model hampir mendekati hasil perhitungan data pengamatan meskipun nilai penyimpangannya relatif lebih tinggi 25 - 79 mm per bulan.

Kata kunci: evapotranspirasi potensial, perubahan *landuse*, RegCM 4.0

ABSTRACT

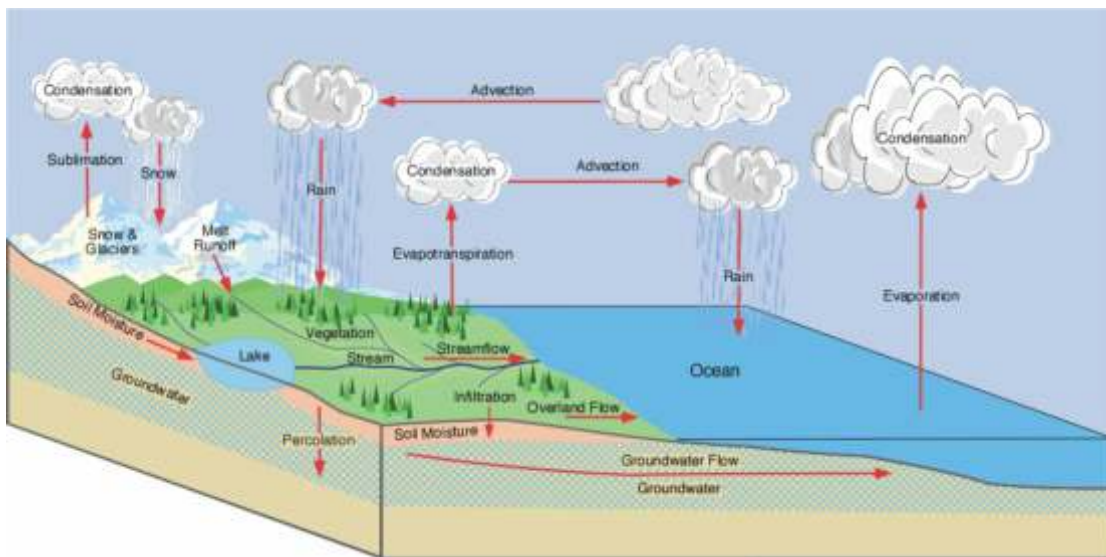
A study on the potential evapotranspiration is important because evapotranspiration is a very important indicator of climate change. Also because of the relationship between water and energy balance due to complex interaction of land-vegetation-atmosphere systems. Due to the limitations of observations, a meso-scale model is used as an alternative tool to study the climate phenomenon and its derivatives. Comparative analysis is used to determine the ability of the RegCM 4.0 model to simulate potential evapotranspiration. To calculate potential evapotranspiration based on observational data, climatological data from Medan, Bogor, Semarang, Maros and Kupang were used, while the GFS global data and *landuse* modifications were used as input models RegCM 4.0. From the 5 areas studied, only one site shows that the model RegCM 4.0 represent data observations, that is in Maros region. This is reflected in the pattern of evapotranspiration models which come close to the calculation of observational data, though its relatively higher deviation values between 25-79 mm per month.

Keywords: potential evapotranspiration, *landuse* change, RegCM 4.0

1. Pendahuluan

Evapotranspirasi adalah proses penguapan atau kehilangan air yang berasal dari permukaan tanah dan permukaan tumbuhan (Gambar 1) akibat adanya aktivitas penyinaran matahari. Keduanya bertanggung

jawab terhadap proses kehilangan air tanah di bawah kondisi lapang yang normal. Sedangkan laju evapotranspirasi lahan basah sangat dipengaruhi oleh kondisi alam sekelilingnya.



Gambar 1. Siklus Hidrologi. Evapotranspirasi merupakan salah satu mata rantai dalam siklus hidr ologi [2].

Evapotranspirasi potensial (ETP) adalah besarnya evapotranspirasi pada suatu lahan pertanian jika air mencukupi dan pertumbuhan tanaman tidak terganggu atau dengan pengertian lain evapotranspirasi yang terjadi jika tanah dalam keadaan tidak kurang air dan seluruh vegetasi di atasnya menutupi seluruh permukaan tanah [3,4]. Informasi tentang evapotranspirasi adalah untuk perencanaan sumber daya air, misalnya untuk penjadwalan irigasi dalam pertanian [5] dan untuk kehutanan [6].

Evapotranspirasi menurut Xu dan Singh [7] merupakan komponen yang sangat sulit dan rumit pada siklus air dan menurut Peterson et. al. [8] dan Brutsaert dan Parlange [9] juga menyatakan bahwa evapotranspirasi merupakan indikator perubahan iklim yang sangat penting, karena adanya hubungan antara keseimbangan air dan keseimbangan energi yang disebabkan interaksi rumit dalam sistem darat-tumbuhan-atmosfer [10].

Evapotranspirasi secara luas telah dipergunakan dalam menentukan jadwal irigasi pertanian melalui estimasi jumlah air yang diperlukan untuk bercocok tanam dan untuk peningkatan hasil pertanian [11]. Evapotranspirasi juga sangat penting untuk memahami proses-proses permukaan tanah dalam klimatologi [12], dimana analisis kondisi iklim kering dan basah berdasarkan evapotranspirasi yaitu dihubungkan dengan tipe ekosistem yang mempunyai respon sensitive terhadap perubahan iklim. Terkait dengan ini, penelitian dilakukan oleh Zhou et al. [13] yaitu mengestimasi pembentukan peng-gurun-an (*desertification*) di China berdasarkan evapotranspirasi.

Sementara itu perbedaan istilah penggunaan lahan (*landuse*) dan tutupan lahan (*landcover*) menurut Lillesand dan Kiefer [14] adalah *landcover* berkaitan dengan jenis kenampakan yang ada di permukaan bumi, sedangkan *landuse* berkaitan dengan kegiatan manusia pada obyek tersebut. Menurut Townshend

dan Justice [15] *landcover*, adalah perwujudan secara fisik (*visual*) dari vegetasi, benda alam, dan unsur-unsur budaya yang ada di permukaan bumi tanpa memperhatikan kegiatan manusia terhadap obyek tersebut. Sedangkan menurut Barrett dan Curtis [16] bahwa permukaan bumi sebagian terdiri dari kenampakan alamiah (*landcover*) seperti vegetasi, salju, dan lain sebagainya, dan sebagian lagi berupa kenampakan hasil aktivitas manusia (*landuse*). Dengan demikian *landuse* adalah bagaimana suatu lahan tersebut dikelaskan berdasarkan aktifitas manusia, sedangkan *landcover* adalah properti alamiah dari lahan tersebut.

Pengertian tentang perubahan *landuse* cenderung dipahami dengan mengubah lahan pertanian menjadi lahan non-pertanian, sehingga mengakibatkan luas lahan pertanian di kota semakin berkurang dan luas lahan non-pertanian semakin bertambah [17]. Perubahan *landuse* akan terus berlangsung sejalan dengan meningkatnya pertumbuhan ekonomi, sehingga di masa mendatang diperkirakan perubahan *landuse* kota akan terus terjadi dengan kecepatan tinggi [18].

Regional Climate Model versi 4 (RegCM4) awalnya dikembangkan di *National Center for Atmospheric Research* (NCAR) dan banyak diterapkan untuk kajian studi dari regional iklim dan prakiraan musim diseluruh dunia. Sistem pemodelan RegCM memiliki 4 komponen: *Terrain*, *ICBC*, *RegCM*, dan *Postprocessor*. Variabel terrestrial (meliputi ketinggian, penggunaan lahan, dan temperatur permukaan laut (SST)) dan data meteorologi isobarik tiga dimensi terinterpolasi secara horisontal dari lintang-bujur dengan domain resolusi yang tinggi baik dari proyeksi Rotasi Mercator, Conformal Lambert, atau proyeksi Polar Stereografis [19]. Tabel 1 merupakan skema fisis dan dinamis dari model RegCM 4.0.

Tabel 1 Skema Fisis dan Dinamis RegCM 4.0

SKEMA	SUMBER
Skema Radiasi	CCM3 [20]
Model Permukaan Tanah	BATS [21]
Skema PBL	Non-lokal, Holtslag [22]
Presipitasi Skala-Besar	SUBEX [23]
Konveksi <i>Cumulus</i>	Grell [24]
Parameterisasi Flux Lautan	BATS [21]
Perkiraan Temperatur Kulit Permukaan Laut	Zeng [25]
Model Danau	Hostetler [26]
Skema Dinamis	MM5 <i>Hydrostatic</i> [27]

RegCM merupakan sistem yang fleksibel dan serbaguna, dimana dapat digunakan pada lokasi yang berbeda di dunia [28]. Giorgi et. al. [29] memberikan contoh ilustrasi perilaku dan sensitivitas model RegCM 4.0 pada wilayah iklim yang berbeda. Menurut Diro et. al. [30] menggunakan skema BATS, RegCM 4.0 mempunyai simulasi yang lebih realistik pada kekeringan pertengahan musim panas pada Amerika Tengah. Siklus tahunan di semenanjung Arab bagian utara lebih baik disimulasikan oleh RegCM 4.0 dibanding dengan ECHAM5 [31].

Salah satu komponen keluaran model RegCM 4.0 adalah evapotranspirasi potensial. Sebagai penelitian awal, akan dilakukan perbandingan evapotranspirasi potensial hasil keluaran model RegCM 4.0 (yang telah dilakukan modifikasi *landuse* sebagai inputan model) dengan perhitungan data pengamatan. Modifikasi *landuse* tersebut dimaksudkan agar diperoleh perbaikan hasil model RegCM 4.0.

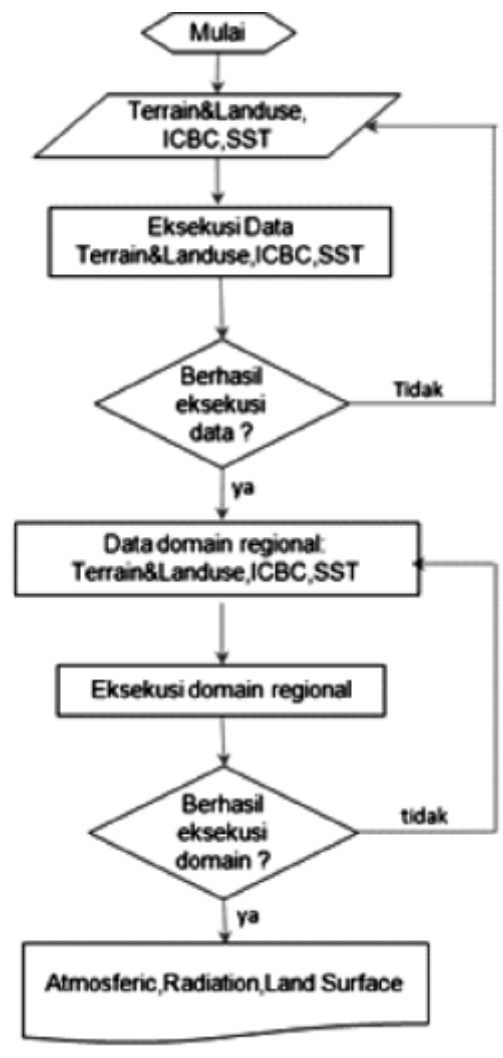
2. Metode Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data *landuse* tahun 2010 dan data klimatologi tahun 2010 pada lima lokasi penelitian yaitu: Medan, Bogor, Semarang, Kupang dan Maros. Data *landuse* untuk lima lokasi tersebut diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG), sedangkan data klimatologi (curah hujan, evaporasi panci, kelembaban relatif, suhu dan lama penyinaran) diperoleh dengan menelusuri database yang ada di Pusat database, Pusat Penelitian dan Pengembangan dan stasiun BMKG pada lokasi penelitian.

Pemilihan lima lokasi penelitian dengan mempertimbangkan perubahan *landuse*, dimana pada lima lokasi studi tersebut diasumsikan terjadi perubahan *landuse* yang cukup signifikan.

Data *landuse* yang diperoleh akan digunakan sebagai referensi untuk menyesuaikan data *landuse* pada inputan RegCM 4.0 (penjelasan pada bagian berikutnya). Sedangkan data klimatologi yang telah diperoleh disusun dalam format tertentu dalam ekstension .xls, untuk pengolahan data lebih lanjut. Untuk proses running model RegCM 4.0 dapat dicermati pada Gambar 2, dengan tiga domain

simulasi pada Gambar 3. Sedangkan setting namelist input untuk simulasi masing-masing domain wilayah dapat diperhatikan pada Tabel 2 (Sumatera untuk wilayah Medan), Tabel 3 (Jawa untuk wilayah Bogor dan Semarang) dan Tabel 4 (Sulawesi untuk wilayah Maros dan Kupang). Selanjutnya untuk waktu simulasi dari masing-masing domain dapat diperhatikan pada Tabel 5.



Gambar 2. Diagram alir proses running model RegCM 4.0

Perhitungan Evapotranspirasi Potensial

Pengukuran evapotranspirasi potensial (ETP) secara langsung di lapangan diukur dengan menggunakan alat yang disebut *lysimeter*. Data dari *lysimeter* ini merupakan nilai sebenarnya evapotranspirasi di lapangan. Namun karena peralatan *lysimeter* dipasang dengan peralatan dan instalasi khusus serta bersifat permanen maka penggunaannya kurang praktis dan memerlukan biaya. Untuk itu maka para ahli berusaha menduga ETP tersebut dengan persamaan empiris dengan menggunakan data-data iklim. Berikut merupakan beberapa cara pendugaan ETP:

1) *Evaporimeter Panci Klas A*

ETP secara umum dapat diestimasi dengan persamaan empiris yaitu dengan mengalikan data evaporasi panci standar dengan koefisiennya [32], dirumuskan:

$$ETP = E_o \times \text{koefisien panci} \quad (1)$$

dimana E_o adalah evaporasi dari panci klas A pada stasiun pengukuran (mm), Sedangkan koefisien panci untuk Indonesia berkisar 0.7 – 0.8 atau rata-rata 0.75. Koefisien panci dapat diperoleh dengan percobaan di lapangan. Misalnya evaporasi pada panci klas A pada stasiun menunjukkan 4.0 mm/hari, maka $ETP = 0.75 \times 4.0 = 3.0$ mm/hari.



Gambar 3. Tiga wilayah simulasi model RegCM 4.0. Pertama domain Sumatera (kotak warna merah) untuk wilayah Medan, kedua domain Jawa (kotak warna hijau) untuk wilayah Bogor dan Semarang dan ketiga domain Sulawesi dan NTT (kotak warna kuning) untuk wilayah Maros dan Kupang.

Tabel 2. *Namelist input* untuk simulasi wilayah Pulau Sumatera dan sekitarnya dengan resolusi 10 km

NO	PARAMETER	PILIHAN	DESKRIPSI
1.	$iy = 220$,	-	Jumlah titik grid arah utara/selatan.
2.	$jx = 200$,	-	Jumlah titik grid arah barat/timur.
3.	$iproj = 'NORMER'$,	-	Domain proyeksi <i>cartographic</i> .
4.	$kz=23$,	-	Level ketinggian vertikal model
5.	$ds = 10.0$,	-	Titik grid horisontal dengan resolusi dalam km.
6.	$clat = 0.0$,	-	Titik pusat lintang pada domain model dalam derajat.
7.	$clon = 102.0$,	-	Titik pusat bujur pada domain model dalam derajat.
8.	$iboudy = 5$,	5 => <i>Relaxation, exponential technique</i>	Skema <i>lateral boundary conditions</i> .
9.	$ibltyp = 1$,	1 => Holtslag PBL [22]	Skema batas lapisan.
10.	$icup = 1$,	1 => Kuo	Skema awan konveksi.
11.	$igcc = 1$,	1 => Arakawa & Schubert	Skema grell pada skema tutupan awan.
12.	$iocnflx = 1$,	1 => Use BATS1e Monin-Obukhov	Skema <i>flux</i> lautan.

Tabel 3. Namelist input untuk simulasi wilayah Pulau Jawa dan sekitarnya dengan resolusi 10 km

No	PARAMETER	PILIHAN	DESKRIPSI
1.	iy = 100,	-	Jumlah titik grid arah utara/selatan.
2.	jx = 200,	-	Jumlah titik grid arah barat/timur.
3.	iproj = 'NORMER',	-	Domain proyeksi cartographic.
4.	kz=23,	-	Level ketinggian vertikal model.
5.	ds = 10.0,	-	Titik grid horisontal dengan resolusi dalam km.
6.	clat = -7.0,	-	Titik pusat lintang pada domain model dalam derajat.
7.	clon = 112.0,	-	Titik pusat bujur pada domain model dalam derajat.
8.	iboudy = 5,	5 => Relaxation, exponential technique	Skema lateral boundary conditions.
9.	ibltyp = 1,	1 => Holtslag PBL [22]	Skema batas lapisan.
10.	icup = 4,	1 => Kuo	Skema awan konveksi.
11.	igcc = 1,	1 => Arakawa & Schubert	Skema grell pada skema tutupan awan.
12.	iocnflx = 2,	1 => Use BATS1e Monin-Obukhov	Skema flux lautan.

Tabel 4. Namelist input untuk simulasi wilayah Pulau Sulawesi dan sekitarnya dengan resolusi 10 km

No	PARAMETER	PILIHAN	DESKRIPSI
1.	iy = 100,	-	Jumlah titik grid arah utara/selatan.
2.	jx = 200,	-	Jumlah titik grid arah barat/timur.
3.	iproj = 'NORMER',	-	Domain proyeksi cartographic.
4.	kz=23,	-	Level ketinggian vertikal model.
5.	ds = 10.0,	-	Titik grid horisontal dengan resolusi dalam km.
6.	clat = -5.0,	-	Titik pusat lintang pada domain model dalam derajat.
7.	clon = 120.0,	-	Titik pusat bujur pada domain model dalam derajat.
8.	iboudy = 5,	5 => Relaxation, exponential technique	Skema lateral boundary conditions
9.	ibltyp = 1,	1 => Holtslag PBL [22]	Skema batas lapisan.
10.	icup = 4,	1 => Kuo	Skema awan konveksi.
11.	igcc = 1,	1 => Arakawa & Schubert	Skema grell pada skema tutupan awan.
12.	iocnflx = 2,	1 => Use BATS1e Monin-Obukhov	Skema flux lautan.

Tabel 5. Waktu Simulasi

NO	DOMAIN	RESOLUSI	PANJANG DATA	WAKTU (HARI)	WAKTU SIMULASI (DETIK)
1.	Sumatera	10 Km	1 Tahun	3 1/2	302,400
2.	Jawa	10 Km	1 Tahun	2 1/2	216,000
3.	Sulawesi dan NTT	10 Km	1 Tahun	3	259,200

Kohler et. al. [33] menunjukkan koefisien panci untuk merubah evaporasi panci menjadi evaporasi danau. Eagleman [34] telah mencari metode terbaik dalam menentukan koefisien panci untuk lokasi tertentu dengan menginvestigasi hubungan antara rata-rata kelembaban relatif dengan koefisien panci. Diperoleh persamaan hubungan:

$$K = 0.56 + 0.00275 \times RH \quad (2)$$

Dimana K merepresentasikan koefisien panci dan RH merupakan kelembaban relatif.

2) Metode Penman-Monteith

Metode ini sangat diakui keakuratannya dan biasanya digunakan untuk menghitung evapotranspirasi pada

tanah pertanian. Akurasi yang tepat tersebut terkait dengan parameter dalam persamaannya namun masih belum sempurna. Contohnya nilai r_s adalah konstanta yang bergantung jenis vegetasi pada wilayah yang diambil. Jika persamaan digunakan pada wilayah yang lebih besar dengan perbedaan jenis vegetasi wilayah yang diambil untuk memperkirakan nilai r_s , maka estimasi menjadi tidak akurat pada *spot* wilayah tanpa vegetasi [35].

Berikut merupakan rumus evapotranspirasi dengan metode Penman-Monteith [36]:

$$E_T = \frac{\Delta R_n + (e_a - e_d) \frac{\rho^* c_p}{r_a}}{\lambda (\Delta + \gamma (1 + \frac{r_s}{r_a}))} \quad (3)$$

dimana

R_n = radiasi bersih (*net radiation*) (W/m^2)

ρ = densitas udara

c_p = panas spesifik udara

r_s = hambatan bersih (*net resistance*) difusi melalui permukaan daun dan tanah (s/m)

r_a = hambatan bersih (*net resistance*) difusi melalui udara dari permukaan ke ketinggian alat ukur (s/m).

γ = konstanta higrometrik

Δ = de/dT

e_a = tekanan uap jenuh pada temperatur udara

e_d = tekanan uap jenuh rata-rata

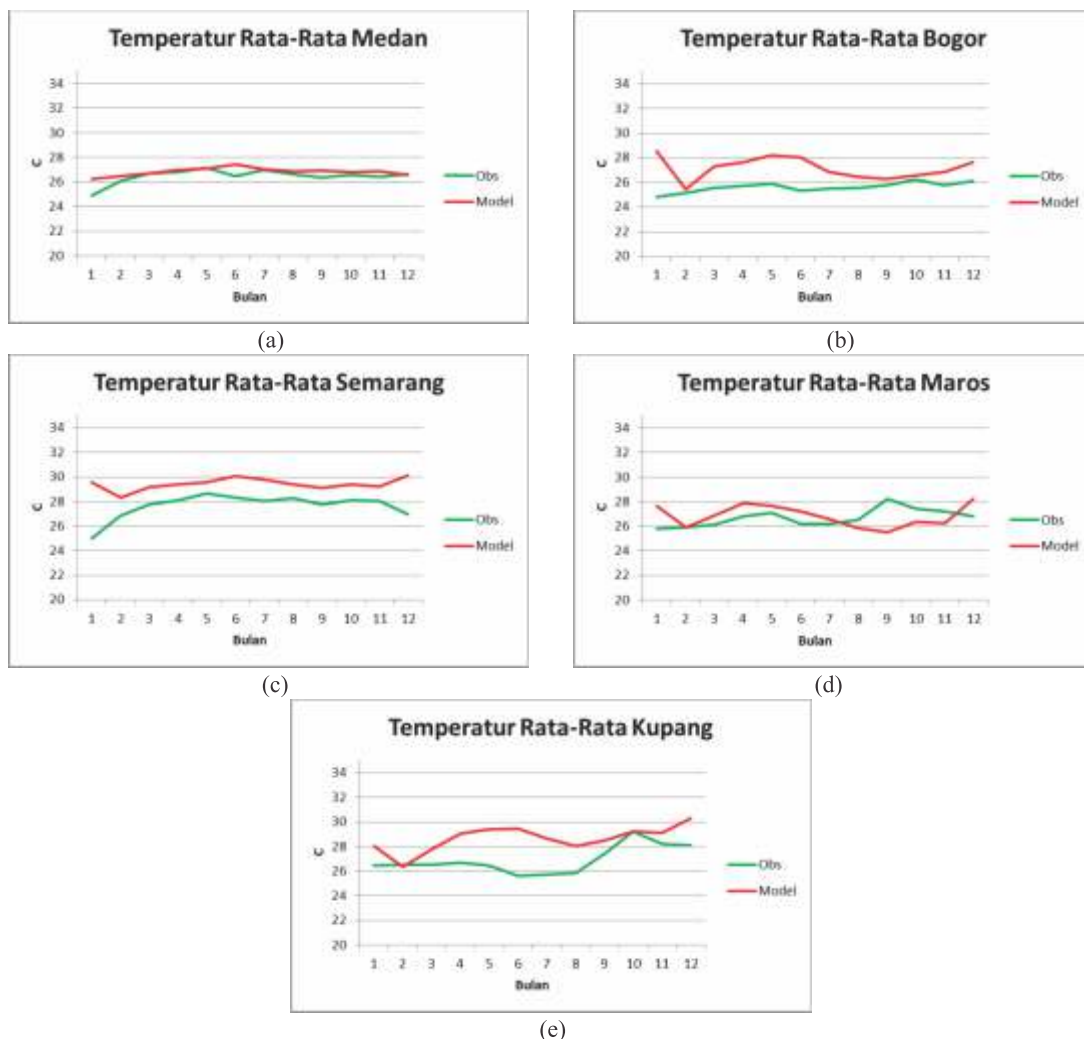
Metode penentuan Evapotranspirasi Potensial Penman-Monteith direkomendasikan sebagai metode standar FAO [10,36].

3. Hasil dan Pembahasan

Temperatur rata-rata hasil keluaran model dapat diperhatikan pada Gambar 4. Untuk wilayah Medan dapat dilihat pada Gambar 4.a dimana nilai temperatur rata-rata model sangat mendekati nilai pengamatan. Pada Gambar 4.b merupakan temperatur rata-rata wilayah Bogor mendekati nilai pengamatan pada bulan Februari, September dan Oktober. Gambar 4.c

merupakan temperatur rata-rata model wilayah Semarang dimana mempunyai perbedaan dengan pengamatan sekitar $1.5 - 2^\circ C$. Gambar 4.d merupakan temperatur rata-rata model wilayah Maros bulan Januari – Juli mempunyai nilai lebih tinggi dari pengamatan ($0.5 - 1.5^\circ C$), sedangkan Agustus – November mempunyai nilai lebih rendah. Gambar 4.e merupakan temperatur rata-rata model wilayah Kupang dimana pada bulan Februari dan Oktober menunjukkan nilai yang hampir sama dengan pengamatan.

Secara umum hasil model temperatur menunjukkan nilai lebih tinggi (*overestimate*) terhadap pengamatan. Namun pada wilayah Maros bulan Agustus hingga November nilai temperatur model lebih rendah (*underestimate*) terhadap pengamatan. Nilai model *overestimate* menunjukkan bahwa temperatur hasil model cenderung lebih panas dibanding dengan pengamatan. Panas yang berlebih ini dimungkinkan menjadi sumber energi dalam penguapan. Korelasi tertinggi berada di Medan dengan nilai korelasi 0.671 dan korelasi terendah di Bogor dengan nilai korelasi -0.114. Dengan RMSE terkecil Medan (0.544) dan tertinggi Kupang (3.696) serta bias rata-rata terkecil Maros (-0.146) dan tertinggi -0.146 pada Semarang dan Kupang (Tabel 6).



Gambar 4. Perbandingan Temperatur hasil observasi dengan keluaran model RegCM 4.0 pada wilayah (a) Medan; (b) Bogor; (c) Semarang; (d) Maros dan (e) Kupang. Nilai evapotranspirasi dalam $^{\circ}C$.

Tabel 6. Nilai korelasi, RMSE dan bias rata-rata Temperatur di Medan, Bogor, Semarang, Maros dan Kupang

	Medan	Bogor	Semarang	Maros	Kupang
Korelasi (R)	0.671	-0.114	0.115	-0.272	0.358
RMSE	0.544	0.980	1.006	1.228	3.696
BIAS RATA-RATA	-0.356	-1.537	-1.756	-0.146	-1.756

ETP hasil keluaran model RegCM 4.0 dapat dilihat pada Gambar 5. Untuk wilayah Medan dapat dilihat pada Gambar 5.a dimana pada Bulan Januari 2010 ETP berada pada rentang rata-rata 2 – 2.5 mm/hari. Pada Gambar 5.b merupakan ETP wilayah Bogor bulan Januari 2010 berada pada rata-rata di atas 3 mm/hari. Gambar 5.c merupakan ETP wilayah Semarang bulan Januari 2010 berada pada rata-rata 2 – 2.5 mm/hari. Gambar 5.d merupakan ETP wilayah Maros bulan Januari 2010 berada pada rata-rata di atas 3 mm/hari. Gambar 5.e merupakan ETP wilayah Kupang bulan Januari 2010 berada pada rata-rata di atas 3 mm/hari.

Secara umum ETP hasil keluaran model RegCM 4.0 pada bulan Januari 2010 rata-rata di atas 3 mm/hari, kecuali wilayah Medan dan Semarang. Hal ini menunjukkan bahwa pada wilayah Bogor, Maros dan Kupang mengalami penguapan lebih besar dibanding dengan wilayah Medan dan Semarang.

Untuk melihat kemampuan model RegCM 4.0 dalam mensimulasikan evapotranspirasi dilakukan dengan membandingkan nilai evapotranspirasi hasil perhitungan model dengan perhitungan menggunakan data evaporasi panci yang diperoleh dari masing-masing lokasi pengamatan.

Gambar 6 merupakan perbandingan hasil evapotranspirasi antara model RegCM 4.0 dengan perhitungan data observasi pada persamaan (1) dan (3) pada masing-masing wilayah penelitian, meliputi : Medan, Bogor, Semarang, Maros dan Kupang.

Gambar 6.a menunjukkan bahwa evapotranspirasi bulanan dari hasil perhitungan menggunakan data pengamatan evaporasi panci di Medan pada tahun 2010 bervariasi antara kurang dari 72 mm hingga lebih dari 100 mm. Evapotranspirasi umumnya di atas 80 mm, kecuali pada bulan Januari yang sedikit di bawah 72 mm. Evapotranspirasi bulanan pada tahun 2010 paling tinggi terjadi pada bulan Oktober yang mencapai lebih dari 100 mm. Sementara itu, model iklim RegCM 4.0 menghasilkan evapotranspirasi yang jauh berbeda dengan hasil perhitungan berdasarkan data evaporasi.

Evapotranspirasi bulanan di Medan tahun 2010 menurut model RegCM 4.0 tidak pernah lebih dari 600 mm (hal ini terkait dengan inisial model yang menggunakan nilai ideal model), bahkan nilainya dari bulan ke bulan cenderung menurun sehingga evapotranspirasi pada bulan Januari merupakan nilai evapotranspirasi tertinggi menurut model RegCM 4.0. Perbedaan antara nilai evapotranspirasi antara model dan observasi antara sekitar 83 mm hingga

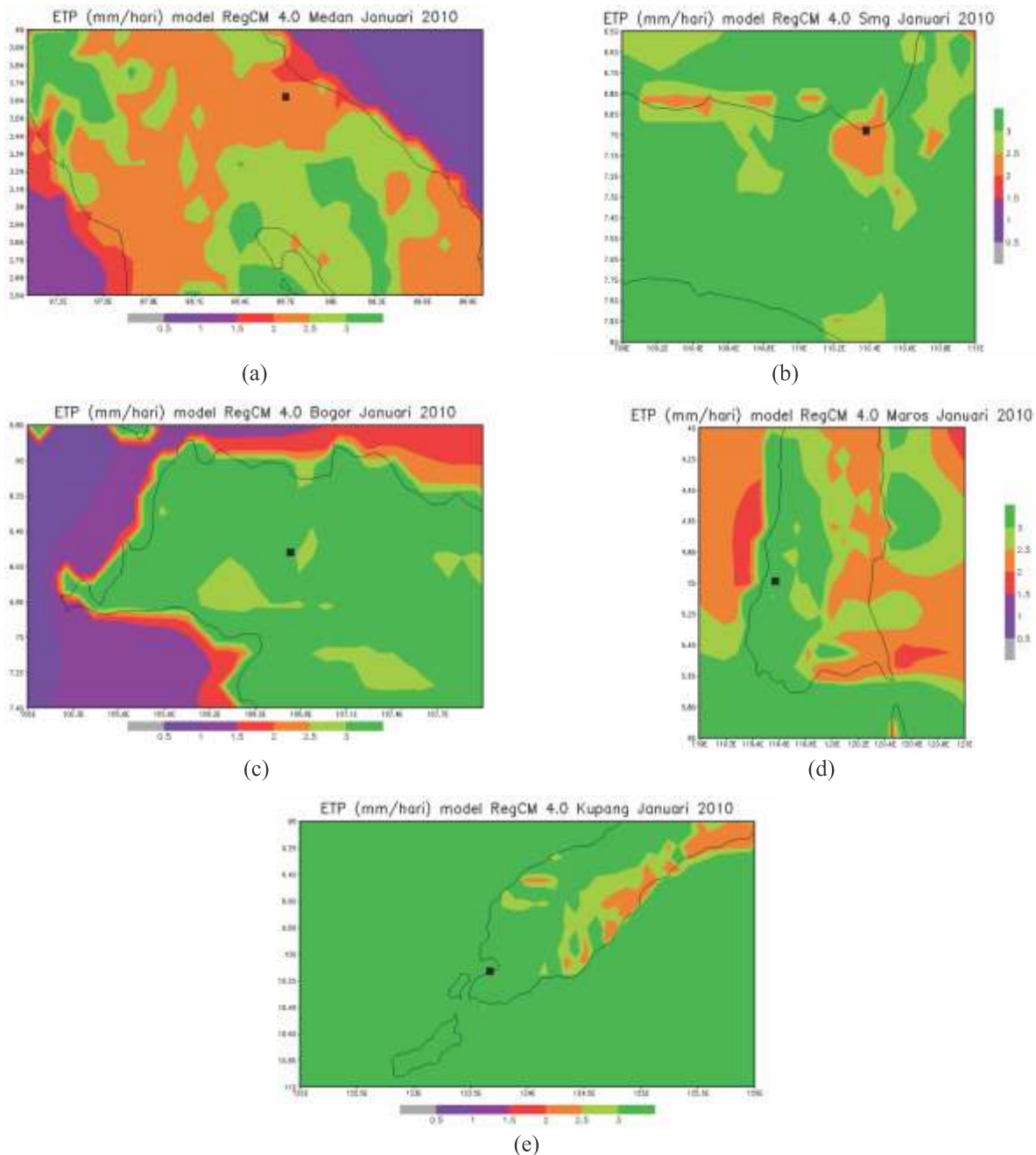
lebih dari 99 mm, dengan nilai korelasi hingga -0.49 dan RMSE sekitar 145.

Gambar 6.b menunjukkan bahwa pada tahun 2010 di Bogor nilai evapotranspirasi berkisar dari 0 – 100 mm. Evapotranspirasi hasil model iklim RegCM 4.0 secara umum nilainya lebih rendah daripada evapotranspirasi hasil perhitungan menggunakan data evaporasi di Stasiun Darmaga (observasi).

Nilai evapotranspirasi keluaran model bernilai paling tinggi pada bulan Januari. Nilainya sekitar 550 mm lebih tinggi dari observasi. Pada bulan Februari hingga September nilai evapotranspirasi menurun hingga bulan Juli lalu naik pada bulan Agustus, yang akhirnya turun lagi hingga Desember. Perbedaan antara nilai evapotranspirasi model dan observasi antara 76 mm hingga 88 mm, dengan nilai korelasi -0.3 dan RMSE sekitar 150.

Evapotranspirasi bulanan di Semarang berdasarkan data pengamatan evaporasi panci tahun 2010 menunjukkan adanya variasi dari bulan ke bulan (Gambar 6.c). Nilai evapotranspirasi berkisar antara 79 mm hingga 106 mm. Pada bulan Januari hingga Juli nilai evapotranspirasi bervariasi antara 80 mm hingga 100 mm, kemudian meningkat tajam pada bulan Agustus (± 105 mm) dan mencapai nilai tertinggi pada bulan Oktober (106 mm). Selanjutnya, nilai evapotranspirasi kembali turun hingga bulan November (90 mm).

Model RegCM 4.0 menghasilkan evapotranspirasi di Semarang tahun 2010 umumnya lebih tinggi dari hasil perhitungan berdasarkan data observasi evaporasi. Perbedaannya antara 52 mm hingga 108 mm. Hanya nilai evapotranspirasi pada bulan Juli dan Oktober mendekati nilai observasi. Nilai evapotranspirasi tahun 2010 menurut model RegCM 4.0 mempunyai nilai korelasi -0.5 dan RMSE sekitar 175.

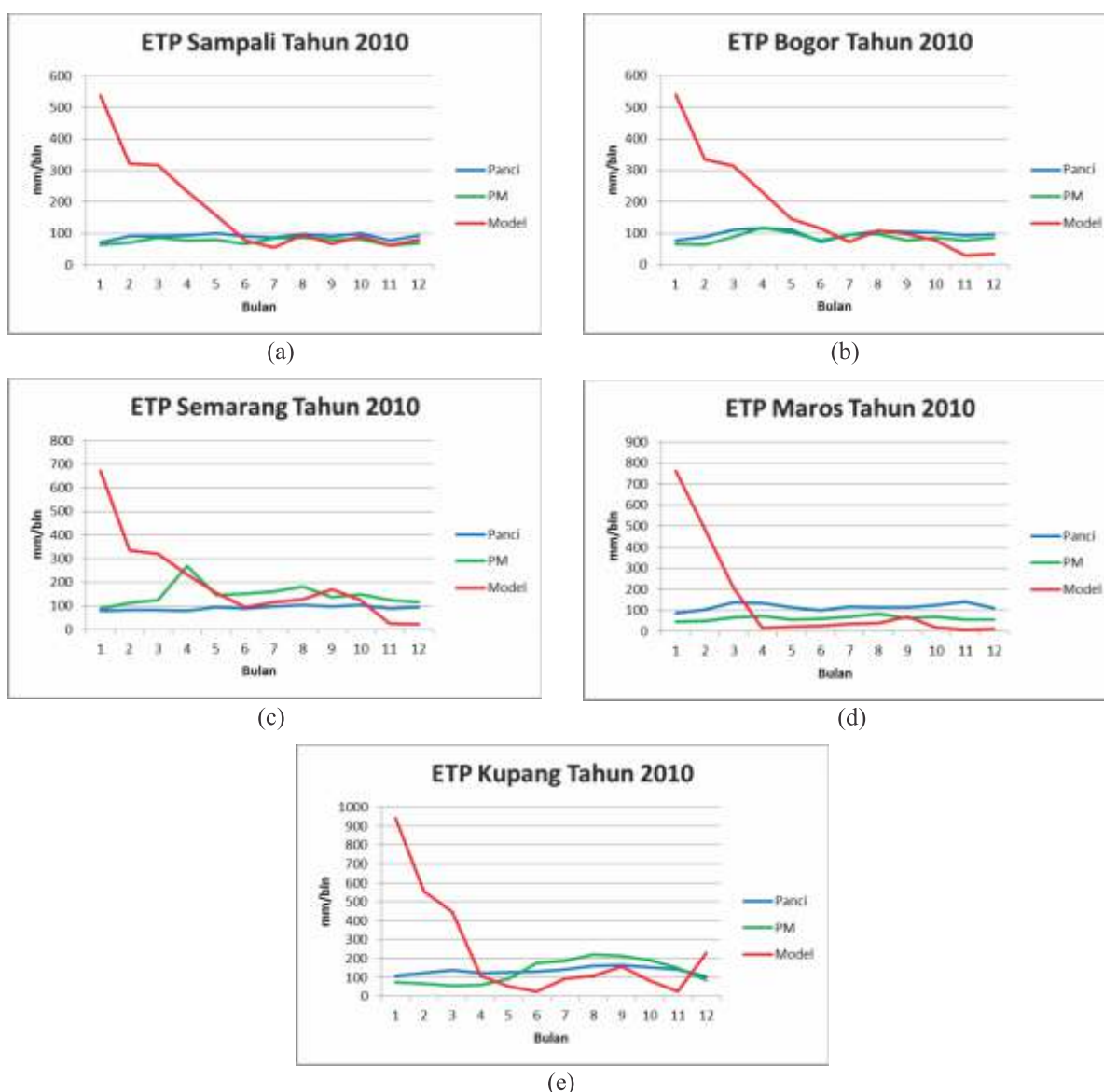


Gambar 5. ETP hasil keluaran model RegCM 4.0 dengan kotak hitam menunjukkan wilayah (a) Medan; (b) Semarang; (c) Bogor; (d) Maros dan (e) Kupang. Nilai evapotranspirasi dalam mm/hari.

Evapotranspirasi bulanan di Maros pada tahun 2010 bervariasi dari mendekati 87 mm hingga mendekati 140 mm (Gambar 6.d). Pada bulan Januari hingga Maret evapotranspirasi meningkat tajam berkisar antara 87 - 135 mm, kemudian 3 bulan berikutnya turun menjadi mendekati 100 mm. Pada bulan Juli hingga Oktober evapotranspirasi meningkat lagi menjadi hampir 120 mm, mencapai maksimum pada bulan November (± 140 mm) dan akhirnya pada bulan Desember menurun hingga 111 mm.

Hasil model RegCM 4.0 menunjukkan bahwa pada dua bulan pertama evapotranspirasi sangat tinggi dibanding dengan pengamatan. Selanjutnya perbedaannya antara 25 mm hingga 79 mm, dengan nilai korelasi 0.5 dan RMSE sekitar 235.

Gambar 6.e menunjukkan bahwa evapotranspirasi bulanan berdasarkan perhitungan menggunakan data evaporasi di Stasiun Klimatologi Lasiana bervariasi dari bulan ke bulan, antara 105 mm (bulan Januari) hingga 163 mm (bulan September). Namun, evapotranspirasi bulanan menurut model RegCM 4.0 mempunyai pola yang sangat berbeda.



Gambar 6. Perbandingan evapotranspirasi hasil model RegCM 4.0 dengan hasil perhitungan menggunakan data evaporasi pengamatan di Stasiun Klimatologi (a) Sampali, Medan; (b) Darmaga, Bogor; (c) Semarang; (d) Maros dan (e) Lasiana, Kupang. Garis warna hijau dan biru menunjukkan hasil perhitungan data observasi dan garis warna merah menunjukkan hasil perhitungan model.

Evapotranspirasi maksimum terjadi pada bulan Januari (950 mm), kemudian menurun. Perbedaan antara nilai evapotranspirasi model dan observasi antara 100 mm hingga 103 mm, dengan nilai korelasi sekitar -0.5 dan RMSE 275 – 304 mm.

Dari lima lokasi kajian, evapotranspirasi di daerah Maros memiliki pola yang hampir mirip antara hasil model dan perhitungan dengan data pengamatan pada

bulan April hingga Desember. Hal ini juga terlihat dari nilai rata-rata bias relatif lebih kecil dibandingkan dengan daerah lain. Sementara untuk wilayah lain pola mirip dimulai pada bulan Juni hingga Desember. Tabel 7 menunjukkan nilai korelasi, RMSE dan bias rata-rata Temperatur di Medan, Bogor, Semarang, Maros dan Kupang. Dimana A merupakan perhitungan persamaan (1) dengan hasil model dan B merupakan perhitungan persamaan (3) dengan hasil model.

Tabel 7. Nilai korelasi, RMSE dan bias rata-rata Temperatur di Medan, Bogor, Semarang, Maros dan Kupang

	Medan		Bogor		Semarang		Maros		Kupang	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
R	-0.49	-0.19	-0.27	-0.35	-0.58	-0.28	-0.59	-0.57	-0.50	-0.55
RMSE	147.99	145.71	150.46	152.16	175.76	187.62	237.85	234.88	275.50	304.30
BIAS	-83.96	-99.09	-76.88	-88.71	-108.44	-52.91	-25.95	-79.20	-100.31	-103.86

Secara umum pada wilayah Maros model RegCM 4.0 cukup merepresentasikan dengan baik fluktuasi evapotranspirasi bulanan tahun 2010, dimana evapotranspirasi model hampir mendekati hasil perhitungan observasi meskipun nilainya relatif lebih tinggi 25 – 79 (Tabel 7). Sedangkan pada wilayah lainnya (Medan, Bogor, Semarang dan Kupang) menunjukkan pola yang tidak sama dengan hasil perhitungan data observasi, dimana nilai evapotranspirasi tertinggi hasil model RegCM 4.0 terjadi pada bulan Januari kemudian cenderung menurun pada bulan-bulan berikutnya dan nilainya tidak pernah melebihi nilai 150 mm.

Hasil tersebut menunjukkan perlu adanya kajian lanjutan dengan mengubah nilai parameter skema awan konveksi maupun skema tutupan awan dan skema lainnya dengan melakukan uji sensitivitas terhadap beberapa perubahan parameter tersebut. Hasil awal penelitian ini diharapkan dapat dijadikan rujukan untuk melakukan penelitian selanjutnya.

4. Kesimpulan

Model RegCM 4.0 pada wilayah Maros cukup merepresentasikan dengan baik fluktuasi evapotranspirasi bulanan tahun 2010. Pola evapotranspirasi hampir mirip antara hasil model dan perhitungan dengan data pengamatan pada bulan April hingga Desember, meskipun nilainya relatif lebih tinggi 25 - 79 mm. pada wilayah lainnya (Medan, Bogor, Semarang dan Kupang) menunjukkan pola yang tidak sama dengan hasil perhitungan data observasi. Perlu dilakukan kajian uji sensitivitas skema parameter model untuk didapatkan hasil model yang mendekati pengamatan.

Daftar Pustaka

- [1] Chang J. (1968). *Climate and Agriculture, an Ecological Survey*. Aldine Publishing Company. Chicago.
- [2] Hydrologic cycle, (2013). (), diakses 7 Juni 2013.
- [3] Thornthwaite, C.W. (1948). An Approach Toward a Rational Classification of Climate. *Geograph. Rev.* 38 (1):55-94.
- [4] Jensen, M.E., Burman, R.D., & Allen, R.G. (1990). *Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements*. American Society of Civil Engineers. New York. 332 pp.
- [5] Garcia M., Raes, D., Jacobsen, S-E., & Michel, T. (2007). Agroclimatic constraints for rainfed agriculture the Bolivian Altiplano. *J. Arid Environ.* 71. 109-121.
- [6] Calder I. R., (1977). A Model of transpiration and interception loss from a spruce forest at Plynlimon, central Wales. *Journal of Hydrology.* 33. 247-265.
- [7] Xu, C.-Y., & Singh V.P., (2005). Evaluation of three complementary relationship evapotranspiration models by water balance approach to estimate actual regional evapotranspiration in different climatic regions. *Journal of Hydrology.* 308. 105–121.
- [8] Peterson, T.C., Golubev, V.S., & Groisman, P.Y. (1995). Evaporation losing its strength. *Nature.* 377. 687-688.
- [9] Brutsaert, W., & Parlange, M.B. (1998). Hydrologic cycle explains the evaporation paradox. *Nature.* 396. 30. doi:10.1038/23845.
- [10] Gao, G. (2010). *Change of Changes of Evapotranspiration and Water Cycle in China during the Past Decades*. University of Gothenburg. Sweden. ISBN 978-91-628-8014-9.
- [11] Dingman, S.L. (2002). *Physical Hydrology*, Prentice Hall, Upper Saddle River. New Jersey 07458.
- [12] Chen, D., Gao, G., Xu, C.-Y., Guo, J., & Ren, G.-Y. (2005). Comparison of Thornthwaite method and pan data with the standard Penman-Monteith estimates of potential evapotranspiration for China. *Climate Research.* 28. 123-132.
- [13] Zhou, X.D., Zhu, Q.J., Sun, Z.P., & Sun, R. (2002). Preliminary study on regionalization desertification climate in China. *Journal of Natural Disasters.* 11(2). 125-131.
- [14] Lillesand, T.M., & Kiefer, R.W. (1979). *Remote Sensing and Image Interpretation*. Third Edition. John Wiley & Sons, Inc. New York. Singapore.
- [15] Townshend, J.R.G., & Justice, C.O. (1981). Image processing of remotely sensed data - a user view. *International Journal of Remote Sensing.* 2. 313-330.
- [16] Barrett, E.C., & Curtis, L.F. (1982). *"Introduction to Remote Sensing"*. Chapman & Hall Ltd.
- [17] Sunartono. (1995). Optimalisasi Pemanfaatan Lahan Di Perkotaan Melalui Pembangunan Kawasan Siap Bangun. Makalah disajikan dalam *Seminar Nasional Empat Windu Fakultas Geografi UGM*. Tanggal 2 September 1995, di UGM Yogyakarta.
- [18] Djunaedi, (1990). *Pola Tata Guna Tanah Beberapa Ibukota Kecamatan di DIY*. Laporan Penelitian. Fakultas Teknik UGM. Yogyakarta.
- [19] Elguindi, N., Bi, X., Giorgi, F., Nagarajan, B., Pal, J., Solmon, F., et. al. (2010). *RegCM Version 4.0 User's Guide*. Trieste. Italy.
- [20] Kiehl, J.T., Hack, J.J., Bonan, G.B., Boville, B.A., Breigleb, B., Williamson, P.D., & Rasch, P. (1996). Description of the NCAR Community Climate Model (CCM3). *Tech. Rep. NCAR/TN-420+STR*. National Center for Atmospheric Research.
- [21] Dickinson, R.E., Henderson-Sellers, A. & Kennedy, P.J. (1993). Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme (BATS) version 1e as coupled to the ncar community climate model. *Tech. rep.*, National Center for Atmospheric Research.
- [22] Holtslag, A.A.M., de Bruijn, E.I.F., & Pan, H.-L. (1990). A High Resolution Air Mass Transformation Model for Short-Range Weather Forecasting, *Monthly Weather Review.* 118. 1561–1575.

- [23] Pal, J.S., Small, E.E., & Eltahir, E.A.B. (2000). Simulation of Regional-Scale Water and Energy Budgets: Representation of Subgrid Cloud and Precipitation Processes within RegCM, *J. Geophys. Res.-Atmosphere*. 105(D24). 29579–29594.
- [24] Grell, G. (1993). Prognostic Evaluation of Assumptions Used by Cumulus Parameterizations. *Monthly Weather Review*. 121. 764–787.
- [25] Zeng, X. (2005). A Prognostic Scheme of Sea Surface Skin Temperature for Modeling and Data Assimilation. *Geophysical Research Letters*. 32. 114605.
- [26] Hostetler, S.W., Bates, G.T., & Giorgi, F. (1993). Interactive Nesting of A Lake Thermal Model Within A Regional Climate Model for Climate Change Studies. *Geophysical Research*. 98. 5045–5057.
- [27] Grell, G.A., Dudhia, J., & Stauffer, D.R. (1994). Description of the Fifth Generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5). *Tech. Rep. TN-398+STR*. NCAR. Boulder. Colorado. pp. 121. 52
- [28] Giorgi, F. & Anyah, R. O. (2012), The Road Towards RegCM4. *Climate Research*. 52. 3 – 6.
- [29] Giorgi, F., Coppola, E., Solmon, F., Mariotti, L., Sylla, M. B., Bi, X., et. al. (2012). RegCM4: model description and preliminary tests over multiple CORDEX domains. *Climate Research*. 52. 7–29.
- [30] Diro, G. T., Rauscher, S. A., Giorgi, F. & Tompkins, A. M. (2012). Sensitivity of seasonal climate and diurnal precipitation over Central America to land and sea surface schemes in RegCM4. *Climate Research*. 52. 31 – 48.
- [31] Almazroui, M. (2012), Dynamical downs-caling of rainfall and temperature over the Arabian Peninsula using RegCM4, *Climate Research*, 52, 49–62.
- [32] Grismer, M.E., Orang, M., Snyder, R. & Matyac, R. (2002). Pan Evaporation to Reference Evapotranspiration Conversion Methods. *J. Irrigation and Drainage Engineering* 128(3):180-184.
- [33] Kohler, M.A., Nordenson, T.J. and Baker, D.R. (1959). *Evaporation Maps for the United States*. U. S. Weather Bureau Tech. Paper No. 37, 13 pp.
- [34] Eagleman, J.R. (1967). Pan Evaporation, Potential and Actual Evapotranspiration, *Journal of Applied Meteorology*. 6. 482–488.
- [35] Ward & Robinson. (1999). *Principles of Hydrology*.
- [36] Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop Evapotranspiration – Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. ISBN 92-5-104219-5.