

Analisis Kepekaan Beberapa Metode Pendugaan Evapotranspirasi Potensial terhadap Perubahan Iklim

Usman

Laboratorium Daerah Penangkapan Ikan, Faperika, Universitas Riau, Pekanbaru 28293

Diterima 21-10-2003

Disetujui 26-02-2004

ABSTRACT

The technique of sensitivity analysis was used to estimate the sensitivity of potential evapotranspiration (ET_p) to climate change using seven alternative ET_p estimation methods. The methods which differ in structure and data requirement were: Thornthwaite, Blaney-Cridle, Samani-Hargreaves, Jensen-Haise, Priestley-Taylor, Penman, and Penman-Monteith. The Analysis performed using climate data from four sites in West Java. The result indicates that the methods differ in some cases significantly, in their sensitivities to temperature. Based on their responses to temperature increase, Thornthwaite, Blaney-Cridle and Jensen-Haise methods, are relative more sensitive than the others, followed by Samani-Hargreaves, while Priestley-Taylor, Penman, and Penman-Monteith their sensitivity are relative small and almost the same. The degree of agreement among methods is affected, to lesser extend by location and by the season.

Keywords: climate, location, potensial evapotranspiration, season, sensitivity

PENDAHULUAN

Telah menjadi kesepakatan ilmiah bahwa berlanjutnya penambahan gas-gas pengabsorpsi (penyerap) bahang ke dalam atmosfer bumi menyebabkan perubahan iklim global, yang diartikan sebagai efek rumah kaca (Blantaran de Rozari *et al*, 1990). Perubahan yang terjadi pada suhu akan diikuti oleh perubahan pada elemen iklim lainnya, diantaranya curah hujan, keawanan, kelembaban, dan kecepatan angin. Perubahan demikian dapat mempunyai implikasi yang cukup berarti pada proses hidrologi secara umum, dan khususnya pada ketersediaan air bagi pertanian.

Radiasi gelombang panjang yang dipancarkan bumi ke angkasa telah mengalami reduksi secara berarti sebagai hasil penyerapan bahang oleh gas-gas rumah kaca, khususnya uap air, karbon dioksida, metan dan nitrogen dioksida. Secara alami pengaruh langsung efek rumah kaca adalah meningkatnya suhu rata-rata udara dekat permukaan bumi, terutama lapisan troposfer sekitar 33°C, yaitu dari sekitar -18°C menjadi +15°C (Bengston 1994) sehingga menciptakan kondisi yang nyaman bagi kehidupan. Meskipun demikian, sesuatu yang baik kalau tersedia terlalu berlimpah akan menimbulkan kondisi sebaliknya (Bach 1989), demikian yang terjadi pada gas-gas rumah kaca, terutama CO₂ dan CH₄. Umat manusia melalui

berbagai aktivitasnya di permukaan bumi telah dan akan terus membebaskan gas rumah kaca ke dalam atmosfer, akibatnya akan memperbesar efek rumah kaca.

Evapotranspirasi merupakan gabungan dua istilah yang menggambarkan proses fisika transfer air ke dalam atmosfer, yakni evaporasi air dari permukaan tanah, dan transpirasi melalui tumbuhan. Evapotranspirasi merupakan komponen penting dalam keseimbangan hidrologi. Di lingkungan terestrial, evapotranspirasi merupakan komponen tunggal terbesar siklus air. Oleh karena itu, pengetahuan tentangnya penting dalam manajemen sumberdaya air, pendugaan hasil tanaman, dan dalam mempelajari hubungan antara perubahan penggunaan lahan dan iklim (Wallace 1995).

Evapotranspirasi potensial (ET_p) sebagaimana telah dikemukakan oleh Penman (*dalam* Chang 1974), merupakan laju evapotranspirasi dari tanaman pendek yang menutupi tanah secara sempurna, tinggi yang seragam, dan berada dalam keadaan cukup air. Definisi ini di samping dimaksudkan untuk memaksimalkan laju evapotranspirasi sehingga didapatkan nilai potensialnya, juga mempunyai implikasi bahwa ET_p hanya ditentukan oleh faktor iklim. Konsep ini mempunyai pengaruh yang luas terhadap perencanaan irigasi (Handoko 1991), dan

memungkinkan berkembangnya berbagai metoda pendugaan ETp, dengan mendasarkan perhitungan pada salah satu variabel atau kombinasi beberapa variabel iklim.

Suatu daerah dengan *evaporative demand* yang tinggi yang tidak diimbangi dengan curah hujan yang mencukupi dan merata akan sangat terganggu kondisi keseimbangan neraca airnya, dan akan menimbulkan masalah, terutama aktivitas yang membutuhkan air, antara lain kegiatan pertanian. Melalui neraca bahang, evapotranspirasi mempengaruhi iklim.

Untuk menduga besarnya ETp tersedia banyak metoda, yang dalam proses perhitungannya memanfaatkan data iklim yang pada umumnya tersedia di stasiun klimatologi, di antaranya seperti tercantum pada Tabel 1. Informasi yang dibutuhkan sebagai masukan model dalam perhitungan meliputi

Tabel 1. Beberapa metoda pendugaan ETp dan masukan data yang dibutuhkan dalam perhitungan.

| Metoda | T | Rs | e | u | Panj Hari | Par. Tan. | Resolusi Masukan Data |
|-----------------------|---|----|---|---|--------------|--------------|-----------------------------|
| Thornthwaite | x | | | | x | | Bulanan |
| Blaney-Cridle | x | | | | x | | Bulanan |
| Samani- Hargreaves | x | | | | x | | Harian ^a |
| Jensen-Haise | x | x | | | | | Harian |
| Priestley- Taylor | x | x | | | | | Harian ^a |
| Penman | x | x | x | x | | | Harian ^{a,b} |
| Penman- Monteith | x | x | x | x | | x | Harian ^{a,b} |

T: suhu, Rs: radiasi surya, e: kelembapan, u: kecepatan angin
a: dibutuhkan suhu maksimum dan minimum harian, b: dapat digunakan masukan data harian.

suhu, radiasi surya, kelembapan udara, dan kecepatan angin. Data tersebut diduga akan mengalami perubahan sebagai respon terhadap perubahan iklim, terutama perubahan suhu yang diakibatkan oleh peningkatan konsentrasi gas carbon dioksida, dan gas-gas lain yang secara radiatif aktif, atau lazim disebut gas rumah kaca di atmosfer bumi.

Untuk memperoleh kejelasan tentang pengaruh perubahan iklim terhadap evapotranspirasi potensial, ETp ketika kondisi air tanah tidak terbatas, khususnya di daerah tropis, telah dilakukan analisis kepekaan ETp terhadap perubahan iklim menggunakan tujuh alternatif metoda perhitungan ETp (Tabel 1). Data iklim dikumpulkan dari beberapa stasiun klimatologi yang ada di Jawa Barat.

Penelitian ini bertujuan 1) untuk mengetahui kepekaan ETp terhadap perubahan iklim melalui analisis menggunakan tujuh alternatif metoda pendugaan ETp, dan 2) untuk mengetahui keragaman hasil pendugaan pengaruh perubahan iklim pada ETp menggunakan beberapa metode perhitungan ETp yang berbeda struktur perhitungan dan data yang dibutuhkan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat sebagai bahan pertimbangan dalam pemilihan metode pendugaan ETp untuk berbagai tujuan antara lain 1) studi pengaruh perubahan iklim pada komponen siklus air, misalnya pada *run off* dan aliran debit sungai; 2) studi kebutuhan air untuk irigasi dan pada studi-studi lain yang berhubungan dengan perubahan iklim terhadap permintaan akan air untuk berbagai kebutuhan lainnya.

BAHAN DAN METODE

Data yang digunakan dalam analisis diperoleh dari 5 stasiun klimatologi yang ada di Provinsi Jawa Barat, yaitu stasiun dimana dilakukan pengukuran semua parameter yang diperlukan dalam perhitungan ETp. Nama dan posisi stasiun klimatologi yang datanya digunakan dalam analisis ini disajikan pada Tabel 2.

Bahan yang digunakan dalam analisis ini adalah data sekunder berupa data suhu udara maksimum dan minimum harian, radiasi surya, kelembapan nisbi, dan kecepatan angin tahun 1995 (Tabel 2). Sedangkan peralatan yang digunakan antara lain; kalkulator, pensil, dan personal computer (PC) untuk pengolahan data.

Tabel 2. Nama dan posisi stasiun klimatologi yang data iklimnya digunakan dalam analisis.

| Nama Stasiun | Posisi Tempat | Altitude (m) | Suhu (°C) | RH (%) | Radiasi Surya (mj/m ²) | Kecepatan Angin (km/hari) |
|--------------|--------------------|-----------------|--------------|-----------|---------------------------------------|------------------------------|
| Ciledug | 6.14 LS, 106.45 BT | 26 | 26.9 | 80.9 | 18.88 | 59.32 |
| Cimanggu | 6.37 LS, 112.44 BT | 240 | 26.6 | 79.5 | 13.97 | 83.82 |
| Citeko | 6.42 LS, 106.56 BT | 920 | 20.8 | 86.4 | 14.23 | 79.37 |
| Margahayu | 6.50 LS, 107.01 BT | 1250 | 20.5 | 84.7 | 16.39 | 9.66 |

Sesuai dengan tujuan utama studi, yaitu untuk memeriksa kepekaan ETp terhadap perubahan iklim, maka langkah pertama ialah menentukan nilai dasar ETp (tanpa perubahan iklim), menggunakan metode Thornthwaite, Blaney-Cridle, Samani-Hargreaves, Jensen-Haise, Priestley-Taylor, Penman, and Penman-Monteith (Tabel 1). Sementara itu, di dalam penilaian kepekaan ETp terhadap variabel iklim hanya pengaruh suhu yang diperiksa, sedangkan variable lainnya dianggap tidak mengalami perubahan. Setelah diperoleh nilai dasar ETp bulanan untuk setiap lokasi menurut masing-masing metode, kemudian dilanjutkan dengan analisis kepekaan tiap metode terhadap perubahan yang terjadi pada suhu, yaitu dengan cara mengvariasikan variabel suhu yang menjadi masukan dalam perhitungan. Besarnya perubahan suhu yang digunakan dalam analisis adalah 0°C sampai dengan 3°C, dengan interval perubahan (kenaikan) 0,5°C.

Perubahan suhu sampai sebesar 3°C digunakan didasarkan pada hasil perhitungan yang telah dilakukan oleh Blantaran de Rozari *et al*, (1990) untuk Indonesia menggunakan model sirkulasi umum (GCMs) yang dikembangkan di Goddard Institut for Space Studies (GISS). Di Indonesia, pemanasan yang telah diperhitungkan di bawah iklim 2xCO₂ diduga menyebabkan kenaikan suhu rata-rata tahunan berkisar antara 1,0 sampai 1,4%. Ini berarti jika suhu maksimum absolut sekarang adalah 37,7°C, maka pada iklim GISS, suhu tersebut adalah 1,010 (273 + 37,7)°K = 314,1°K, atau 1,014 (311,0)°K. Jadi suhu absolut pada keadaan ERK akan diperkuat menjadi 3,7°C lebih tinggi bila perubahannya 1%, atau 4,4°C lebih tinggi bila perubahannya 1,4%.

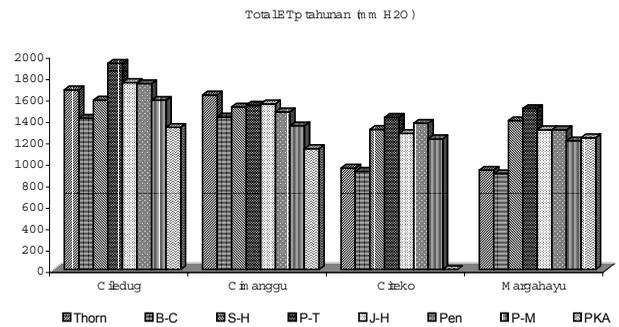
Perubahan besarnya ETp di bawah kondisi iklim yang berubah dinyatakan dalam persentase dari besar ETp pada keadaan iklim standard (tanpa perubahan iklim). Persentase perubahan dihitung menggunakan persamaan $[(ETp_2 - ETp_1) / (ETp_1)] \times 100\%$

dengan $ETp_1 =$ Evapotranspirasi potensial hasil perhitungan menggunakan input data iklim sebelum dibebani perubahan dan $ETp_2 =$ Evapotranspirasi potensial hasil perhitungan menggunakan input data iklim setelah dibebani perubahan.

Penilaian kepekaan metode pendugaan evapotranspirasi potensial terhadap perubahan iklim, yakni tanggapan ETp terhadap kenaikan suhu dilakukan melalui analisis regresi. Persamaan regresi diturunkan dengan menempatkan nilai persentase perubahan ETp sebagai variabel terikat (Y), sedangkan variabel iklim (suhu) sebagai variabel bebas, prediktor (X).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai dasar ETp. Nilai dasar ETp tahunan hasil pendugaan untuk masing-masing stasiun disajikan pada Gambar 1. Sedangkan rata-rata tahunannya (mm/hari) disajikan pada Tabel 3.



Gambar 1. ETp tahunan yang diduga di stasiun Ciledug, Cimanggu, Citeko, dan Margahayu menggunakan metoda Thornthwaite, Blaney-Cridle, Samani-Hargreaves, Priestley-Taylor, Jensen-Haise, Penman, dan Penman-Monteith, serta ETp Panci Kelas A.

Berdasarkan metode yang digunakan ternyata metode Priestley-Taylor menghasilkan nilai rata-rata ETp tahunan tertinggi, sedangkan nilai terendah didapatkan pada perhitungan menggunakan metode Blaney-Cridle, terjadi di hampir semua stasiun, kecuali di stasiun Cimanggu. Keadaan demikian diduga disebabkan karena di stasiun Cimanggu suhu harian tinggi, namun radiasi surya yang diterimanya

Tabel 3. Rata-rata nilai dasar tahunan (mm/hari) ETp di beberapa stasiun klimatologi yang dihitung menggunakan tujuh metode pendugaan.

| Stasiun | Metode | | | | | | | |
|-----------|--------|-------|------|------|------|------|------|------|
| | PKA | Thorn | B-C | S-H | P-T | J-H | Pen | P-M |
| Ciledug | 3,64 | 4.60 | 3.88 | 4.34 | 5.27 | 4.79 | 4.76 | 4.34 |
| Cimanggu | 3,10 | 4.47 | 3.91 | 4.16 | 4.21 | 4.24 | 4.03 | 3.68 |
| Citeko | - | 2.60 | 2.51 | 3.58 | 3.90 | 3.48 | 3.74 | 3.34 |
| Margahayu | 3,38 | 2.55 | 2.46 | 3.81 | 4.12 | 3.58 | 3.58 | 3.30 |

-: Tidak ada data, PKA: Panci Kelas A, Thorn: Thornthwaite, B-C: Blaney-Cridle, S-H: Samani-Hargreaves, P-T: Priesley-Taylor, J-H: Jensen-Haise, Pen: Penman, P-M: Penman-Monteith.

relatif kecil. Di stasiun Cimanggu nilai rata-rata tahunan ETp tertinggi didapatkan dari metode Thornthwaite dan terendah dari metode Penman-Monteith. Sedangkan berdasarkan stasiun diperolehnya data, rata-rata ETp tahunan tertinggi ditemukan di stasiun Ciledug dan terendah di stasiun Margahayu, demikian pula bila dilihat dari total ETp tahunan yang didapatkan.

Bila hasil perhitungan yang diperoleh dikaitkan dengan ketinggian tempat, diperoleh kenyataan, bahwa nilai ETp cenderung menurun dengan ketinggian tempat, terutama ETp hasil pendugaan metode yang hanya mendasarkan perhitungan pada data suhu. Kenyataan ini berkaitan dengan adanya penurunan suhu dengan bertambahnya ketinggian tempat dari permukaan laut (*lapse*).

Di stasiun Citeko dan Margahayu, metode Thornthwaite menghasilkan ETp tahunan yang relatif lebih tinggi dibanding metode Blaney-Cridle, diikuti oleh Metode Penman-Monteith, Jensen-Haise, Samani-Hargreaves, dan metode Penman. Di stasiun Ciledug, ETp tahunan terendah kedua didapatkan dari metode Samani-Hargreaves dan Penman-Monteith, sementara di Cimanggu didapatkan dari metode Blaney-Cridle. Bila di stasiun Cimanggu ETp Thornthwaite adalah yang tertinggi, di Ciledug berada di urutan ke empat setelah ETp Penman. Untuk stasiun Ciledug, dan Cimanggu, nilai tertinggi kedua ditempati ETp Jensen-Haise, sedangkan di stasiun Citeko dan Margahayu berturut-turut ditempati oleh ETp Penman dan ETp Samani-Hargreaves. Perbedaan tersebut terjadi berkaitan dengan adanya keragaman nilai variabel iklim antar stasiun.

Kepekaan ETp terhadap perubahan suhu.

Suhu merupakan satu-satunya parameter fisika lingkungan yang dipastikan akan mengalami perubahan sebagai akibat terjadinya perubahan iklim karena kenaikan konsentrasi gas-gas rumah kaca. Suhu udara dan suhu permukaan yang berevaporasi mempunyai pengaruh nyata pada evapotranspirasi. Secara umum semakin tinggi suhu, seperti suhu udara maupun suhu permukaan, laju penguapan akan semakin besar. Karena besarnya ketergantungan evaporasi potensial terhadap suhu, karena suhu merupakan pengintegrasian beberapa variabel lingkungan, suhu digunakan sebagai masukan utama sejumlah model untuk pendugaan evapotranspirasi.

Suhu mempengaruhi evapotranspirasi melalui empat cara (Rosenberg *et al*, 1983) yaitu 1) jumlah uap air yang dapat dikandung udara (atmosfer) meningkat secara eksponensial dengan naiknya suhu udara. Dengan begitu, peningkatan suhu menyebabkan naiknya tekanan uap permukaan yang berevaporasi, mengakibatkan bertambahnya defisit tekanan uap antara permukaan dengan udara sekitar. Keadaan demikian bertahan sepanjang suplai air mencukupi untuk tercapainya kejenuhan udara dekat permukaan evaporasi. Karena udara dapat menampung dan membawa uap air lebih banyak dengan naiknya suhu maka menyebabkan semakin besar defisit tekanan uap antara udara dengan permukaan, dan permintaan evaporasi udara bertambah (meningkat) dengan bertambah panasnya udara. 2) Udara yang panas dan kering dapat mensuplai energi ke permukaan. Laju penguapan bergantung pada jumlah energi bahang yang dipindahkan, karena itu semakin panas udara semakin besar *gradient* suhu dan semakin tinggi laju penguapan. Di sisi lain, bila permukaan evaporasi yang lebih panas, akan lebih sedikit bahang terasa (*sensible*) yang diekstrak dari udara dan penguapan akan menurun. 3) Pengaruh lainnya suhu udara terhadap penguapan muncul dari kenyataan bahwa akan dibutuhkan lebih sedikit energi untuk menguapkan air yang lebih hangat. Jadi untuk masukan energi yang sama akan lebih banyak uap air yang dapat diuapkan pada air yang lebih hangat. 4) Suhu juga dapat mempengaruhi penguapan melalui pengaruhnya pada celah (lubang) stomata daun.

Berkaitan dengan pengaruh suhu pada evapotranspirasi, Monteith dan Unsworth (*dalam* Lockwood 1994) menerangkan bahwa penguapan akan meningkat atau menurun dengan suhu tergantung pada nilai awalnya, apakah lebih besar atau lebih kecil dari radiasi bersih, yaitu pada apakah permukaan lebih panas atau lebih dingin dari udara.

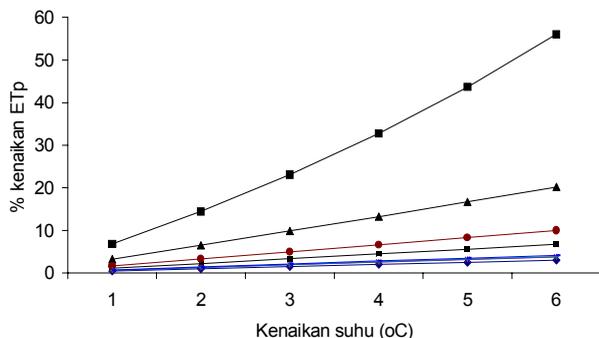
Persentase perubahan ETp sebagai respon perubahan suhu yang diduga menggunakan tujuh metode perhitungan yang berbeda (Tabel 4), secara umum menunjukkan bahwa metode Thornthwaite memberikan respon yang terbesar, diikuti oleh ETp yang diduga menggunakan metode Blaney-Cridle, Jensen-Haise, Samani-Hargreaves, Penman-Monteith, dan metode Penman. Sedangkan respon

terkecil ditunjukkan oleh ETp yang diduga menggunakan metode Priesley-Taylor.

Tabel 4. Rerata porsentase kenaikan ETp sebagai respon adanya kenaikan suhu di stasiun 1) Ciledug, 2) Cimanggu, 3) Citeko, dan 4) Margahayu yang dihitung menggunakan tujuh metode yang berbeda.

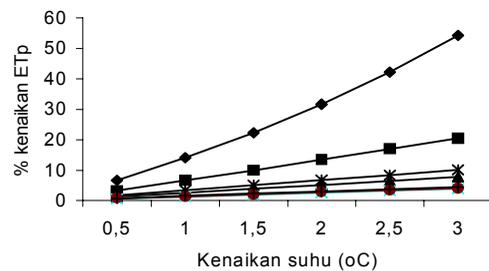
| Sta-siun | Me-tode | Kenaikan suhu (^o C) | | | | | |
|----------|---------|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 |
| 1 | Thorn | 6,82 | 14,47 | 23,06 | 32,76 | 43,67 | 56,04 |
| | B-C | 3,24 | 6,53 | 9,87 | 13,26 | 16,71 | 20,21 |
| | S-H | 1,12 | 2,24 | 3,36 | 4,48 | 5,60 | 6,72 |
| | P-T | 0,66 | 1,31 | 1,95 | 2,58 | 3,21 | 3,82 |
| | J-H | 1,66 | 3,33 | 4,99 | 6,66 | 8,32 | 9,99 |
| | Pen | 0,67 | 1,32 | 1,97 | 2,61 | 3,24 | 3,86 |
| | P-M | 0,72 | 1,43 | 2,13 | 2,82 | 3,50 | 4,17 |
| 2 | Thorn | 6,62 | 14,02 | 22,34 | 31,69 | 42,23 | 54,14 |
| | B-C | 3,28 | 6,61 | 10,00 | 13,43 | 16,92 | 20,46 |
| | S-H | 1,28 | 2,57 | 3,85 | 5,13 | 6,41 | 7,70 |
| | P-T | 0,66 | 1,32 | 1,96 | 2,60 | 3,23 | 3,85 |
| | J-H | 1,68 | 3,37 | 5,05 | 6,73 | 8,42 | 10,10 |
| | Pen | 0,70 | 1,39 | 2,07 | 2,74 | 3,40 | 4,05 |
| | P-M | 0,78 | 1,55 | 2,31 | 3,06 | 3,80 | 4,52 |
| 3 | Thorn | 3,58 | 7,50 | 11,81 | 16,54 | 21,75 | 27,50 |
| | B-C | 4,06 | 8,20 | 12,42 | 16,71 | 21,09 | 25,54 |
| | S-H | 1,30 | 2,59 | 3,89 | 5,18 | 6,48 | 7,77 |
| | P-T | 0,82 | 1,74 | 2,44 | 3,24 | 4,03 | 4,81 |
| | J-H | 2,08 | 4,17 | 6,25 | 8,34 | 10,42 | 12,51 |
| | Pen | 0,88 | 1,76 | 2,62 | 3,47 | 4,32 | 5,15 |
| | P-M | 0,98 | 1,95 | 2,91 | 3,86 | 4,80 | 5,73 |
| 4 | Thorn | 3,47 | 7,26 | 11,42 | 15,99 | 21,01 | 26,55 |
| | B-C | 4,11 | 8,20 | 12,42 | 16,71 | 21,09 | 25,54 |
| | S-H | 1,28 | 2,61 | 3,92 | 5,22 | 6,53 | 7,83 |
| | P-T | 0,83 | 1,74 | 2,44 | 3,24 | 4,03 | 4,81 |
| | J-H | 2,11 | 4,22 | 6,33 | 8,44 | 10,55 | 12,66 |
| | Pen | 0,88 | 1,76 | 2,62 | 3,47 | 4,30 | 5,13 |
| | P-M | 0,84 | 1,67 | 2,48 | 3,29 | 4,08 | 4,86 |

Kepekaan relatif metode pendugaan ETp tersebut terhadap perubahan suhu bervariasi menurut tempat dan sangat dipengaruhi nilai awal variable sebelum dibebani perubahan. Di stasiun Ciledug (Gambar 2a) dengan kenaikan suhu sebesar 3^oC terjadi kenaikan ETp sebesar 56,04% pada hasil

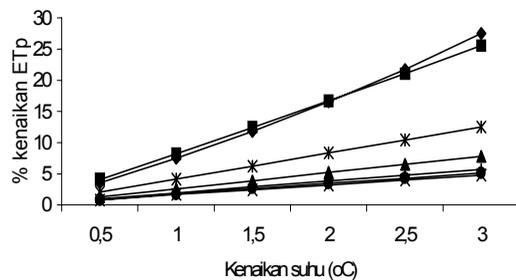


Gambar 2a. Persentase perubahan ETp di stasiun Ciledug sebagai tanggapan kenaikan suhu, diduga menggunakan tujuh metode perhitungan yang berbeda.

pendugaan dengan metode Thornthwaite, sedangkan dengan metode Priesley-Taylor hanya menghasilkan kenaikan ETp sebesar 3,82%. Di stasiun Cimanggu, metode Thornthwaite dan Blaney-Cridle adalah yang paling peka terhadap perubahan suhu, diikuti oleh metode Jensen-Haise, Samani-Hargreaves, Penman, dan Penman-Monteith. Pada metode Thornthwaite, kenaikan suhu sebesar 3^oC menyebabkan kenaikan ETp sebesar 54,14%, sedangkan dengan metode Priesley-Taylor hanya terjadi kenaikan sebesar 3,85%. Keadaan yang sama dengan di stasiun Cimanggu di dapat di stasiun Citeko (Gambar 2c), perbedaannya terjadi pada besar perubahan ETp; dengan kenaikan

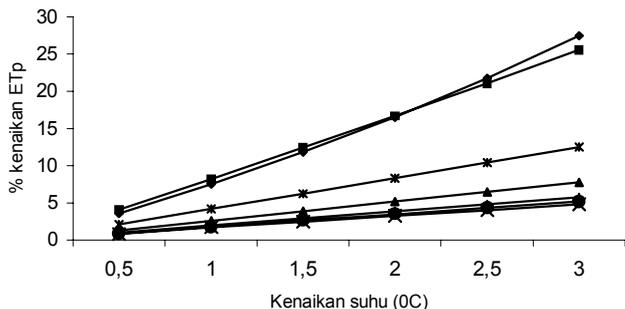


Gambar 2b. Persentase perubahan ETp di stasiun Cimanggu sebagai tanggapan kenaikan suhu, diduga menggunakan tujuh metode perhitungan yang berbeda.



Gambar 2c. Persentase perubahan ETp di stasiun Citeko sebagai tanggapan kenaikan suhu, diduga menggunakan tujuh metode perhitungan yang berbeda.

suhu sebesar 3^oC telah menyebabkan kenaikan ETp Thornthwaite sebesar 27,50%, sangkan pada metode Priesley-Taylor hanya terjadi kenaikan sebesar 4,81%. Untuk stasiun Margahayu (Gambar 2d), sebagaimana di tiga stasiun lainnya, ETp Thornthwaite adalah yang memberikan respon terbesar, namun di sini respon terkecil ditunjukkan oleh ETp Penman-Monteith. Keadaan demikian mirip dengan yang ditemui di stasiun Citeko (Gambar 2c). Di stasiun Margahayu, kenaikan suhu sebesar 3^oC menyebabkan kenaikan ETp Thornthwaite sebesar 26,66%, sedangkan pada ETp Penman-Monteith hanya sebesar 4,86%.



Gambar 2d. Persentase perubahan ETp di stasiun Margahayu sebagai tanggapan kenaikan suhu, diduga menggunakan tujuh metode perhitungan yang berbeda.

Berdasarkan hasil analisis sebagaimana ditampilkan pada Tabel 5 dan Gambar 2a, 2b, 2c dan 2d, dapat dilihat metode Thornthwaite dan Blaney-Cridle adalah yang relatif paling peka terhadap perubahan suhu, diikuti oleh metode Jensen-Haise dan Samani-Hargreaves, sedangkan tiga metode lainnya (metode Priesley-Taylor, Penman, dan metode Penman-Monteith) menunjukkan kepekaan yang relatif hampir sama.

Tabel 5. Koefisien regresi dan hubungan antara kenaikan suhu dengan persentase kenaikan ETp yang dihitung menggunakan tujuh metode pendugaan yang berbeda.

| Stasiun | Metode Pendugaan | Intersep (a) | Kemiringan (b) |
|-----------|---------------------|--------------|----------------|
| Ciledug | ETp _{Thom} | 0,00 | 17,38 |
| | ETp _{B-C} | 0,00 | 6,68 |
| | ETp _{S-H} | 0,00 | 2,24 |
| | ETp _{P-T} | 0,00 | 1,28 |
| | ETp _{J-H} | 0,00 | 3,33 |
| | ETp _{Pen} | 0,00 | 1,30 |
| | ETp _{P-M} | 0,00 | 1,40 |
| Cimanggu | ETp _{Thom} | 0,00 | 16,80 |
| | ETp _{B-C} | 0,00 | 6,76 |
| | ETp _{S-H} | 0,00 | 2,57 |
| | ETp _{P-T} | 0,00 | 1,29 |
| | ETp _{J-H} | 0,00 | 3,37 |
| | ETp _{Pen} | 0,00 | 1,36 |
| | ETp _{P-M} | 0,00 | 1,52 |
| Citeko | ETp _{Thom} | 0,00 | 8,86 |
| | ETp _{B-C} | 0,00 | 8,42 |
| | ETp _{S-H} | 0,00 | 2,59 |
| | ETp _{P-T} | 0,00 | 1,62 |
| | ETp _{J-H} | 0,00 | 4,17 |
| | ETp _{Pen} | 0,00 | 1,73 |
| | ETp _{P-M} | 0,00 | 1,92 |
| Margahayu | ETp _{Thom} | 0,00 | 8,40 |
| | ETp _{B-C} | 0,00 | 8,42 |
| | ETp _{S-H} | 0,00 | 2,61 |
| | ETp _{P-T} | 0,00 | 1,62 |
| | ETp _{J-H} | 0,00 | 4,22 |
| | ETp _{Pen} | 0,00 | 1,72 |
| | ETp _{P-M} | 0,00 | 1,63 |

Tanggapan yang cenderung tidak linier diperlihatkan oleh metode Thornthwaite, dimana laju perubahan (kenaikan) ETp semakin besar dengan semakin besar kenaikan suhu; hal tersebut terjadi di stasiun yang relatif panas, seperti di stasiun Cimanggu Bogor dan Ciledug (Gambar 2b dan 2a). Selain itu ETp Blaney-Cridle juga memperlihatkan tanggapan yang cenderung tidak linier. Kedua metode memberikan laju kenaikan ETp yang relatif lebih besar dibanding metode lainnya. Hasil analisis juga mengungkapkan bahwa metode Blaney-Cridle memberikan respon yang lebih besar di stasiun yang lebih dingin, misalnya di stasiun Citeko dan Margahayu (Gambar 2d). Relatif lebih pekannya kedua metode terhadap kenaikan suhu dibanding dengan metode lainnya dapat dimengerti karena keduanya menempatkan suhu sebagai variable utama penentu besarnya ETp. Pada metode Thornthwaite, suhu berpengaruh secara kubik (berpangkat tiga) terhadap ETp, sehingga perubahan yang kecil pada suhu udara mengakibatkan peningkatan yang cukup berarti pada ETp (Chang 1975; Kisdarto 1979). Pada metode Blaney-Cridle, suhu dipakai dalam menghitung nilai koefisien iklim dan faktor konsumsi air bulanan. Kedua metode menggunakan suhu rata-rata bulanan sebagai masukan. Jika diperhatikan lebih jauh, kedua metode, terutama Thornthwaite memberikan nilai peningkatan ETp yang kurang realistis terhadap kenaikan suhu, terutama untuk stasiun dengan suhu rata-rata bulanan yang tinggi, misalnya stasiun Cimanggu, dengan dibebani kenaikan suhu 3°C terjadi peningkatan ETp sebesar 54,14% pada metode Thornthwaite, dan 20,46% pada metode Blaney-Cridle.

Respon terbesar ketiga setelah metode Blaney-Cridle ditunjukkan oleh metode Jensen-Haise. Besar responnya juga bervariasi menurut waktu dan tempat (stasiun). Sebagaimana metode Blaney-Cridle, responnya cenderung lebih besar pada stasiun yang lebih dingin, misalnya di stasiun Margahayu (Gambar 2d) dengan rata-rata suhu tahunan sebesar 20,5°C, peningkatan suhu sebesar 3°C menyebabkan pertambahan ETp tahunan sebesar 12,66%, dibanding dengan yang terjadi di stasiun ciledug yang lebih panas, sebesar 9,99%.

Metode Samani-Hargreaves, dibanding dengan tiga metode terdahulu, responnya cenderung tidak

berubah di empat stasiun yang dianalisis. Besar respon berkisar antara 6,71-7,83% untuk kenaikan suhu sebesar 3°C. Respon terkecil didapatkan di stasiun Ciledug dan terbesar di stasiun Margahayu.

Tiga metode lainnya (Priesley-Taylor, Penman, dan Penman-Monteith) memperlihatkan respon yang identik terhadap kenaikan suhu di semua stasiun. Ketiga metode secara esensial responnya linier atas kisaran perubahan suhu yang diperiksa. Metode Penman-Monteith cenderung mempunyai nilai kemiringan (*slope*) yang lebih besar, sebaliknya metode Priesley-Taylor yang terkecil.

Dari hasil analisis, diperoleh kenyataan bahwa bisa didapatkan gambaran yang beragam mengenai pengaruh peningkatan suhu pada ETp, bergantung pada metode yang dipilih dalam analisis. Selain itu, hasil analisis juga tergantung pada lokasi (stasiun), ini berkaitan dengan nilai variabel sebelum dibebani perubahan. Ketujuh metode yang dipakai, tidak satupun yang memperlihatkan bentuk kepekaan yang khas berkaitan dengan data yang diperlukan sebagai masukan dalam perhitungan. Metode Thornthwaite dan Blaney-Cridle, keduanya berdasarkan suhu, serta metode Jensen-Haise, yang menggunakan suhu dan radiasi surya, ketiganya relatif peka terhadap kenaikan suhu. Di sisi lain, metode Samani-Hargreaves, juga berdasarkan suhu, menunjukkan respon yang hampir sama dengan metode kombinasi.

Didasarkan pada hasil analisis kelayakan menggunakan ETp Panci Kelas A sebagai patokan, dari tujuh metode pendugaan ETp yang digunakan, untuk stasiun Ciledug dan Cimanggu, metode Jensen-Haise merupakan metode yang paling mendekati keadaan sebenarnya, maka apabila metode tersebut dipakai sebagai patokan, maka didapatkan kenyataan bahwa, metode Priesley-Taylor, Penman, dan Penman-Monteith, berdasarkan kepekaannya terhadap kenaikan suhu, ketiganya memberikan nilai dugaan yang relatif kecil; sebaliknya metode Thornthwaite dan Blaney-Cridle menunjukkan respon yang sangat besar. Hanya metode Samani-Hargreaves yang memperlihatkan respon yang relatif sama dengan metode Jensen-Haise.

Metode Thornthwaite dan Blaney-Cridle, berdasarkan responnya terhadap perubahan suhu, dibanding dengan metode lainnya barangkali dapat dianggap sebagai pencilan. Di stasiun yang lebih

hangat, kedua metode terutama sekali Thornthwaite menunjukkan respon yang sangat besar terhadap perubahan suhu dibanding metode lainnya, kenyataan ini membawa pada suatu kesimpulan bahwa nilai perubahan yang dihasilkan menjadi kurang realistis.

KESIMPULAN

Hasil analisis menghasilkan kesimpulan yang beragam tentang pengaruh perubahan iklim pada ETp tergantung pada metode pendugaan ETp yang digunakan. Baik data yang dibutuhkan dalam perhitungan maupun bentuk struktural persamaan dapat mempengaruhi hasil; metode-metode dengan kebutuhan input yang sama dapat menghasilkan nilai ETp dugaan yang sangat berbeda.

Hasil analisis juga menunjukkan, bahwa kepekaan ETp terhadap perubahan iklim dapat sangat bervariasi menurut tempat dan waktu, terutama terjadi pada metode yang memperlihatkan respons yang sangat besar dan tidak linier terhadap suhu, seperti metode Thornthwaite dan Blaney-Cridle. Semua metode yang digunakan, kepekaannya terhadap suhu dipengaruhi oleh nilai awal variabel sebelum dibebani perubahan. Metode Thornthwaite, Blaney-Cridle, dan Jensen-Haise merupakan yang relatif paling peka terhadap perubahan suhu, diikuti oleh metode Samani-Hargreaves, sedangkan tiga metode lainnya, yaitu metode Priesley-Taylor, Penman, dan Penman-Monteith kepekaannya terhadap perubahan suhu relatif sama.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Bapak Prof Dr M Bantaran de Rozari, Bapak Dr Ir Daniel Murdiarso MS di Program Studi Agroklimatologi IPB, dan Bapak Dr. Safwan Hadi MSc di Jurusan Geofisika dan Oseanografi ITB, Bandung yang telah membimbing selama pengumpulan, pengolahan data hingga selesainya laporan. Semoga amal perbuatan tersebut mendapatkan balasan berupa pahala dari Allah SWT.

DAFTAR PUSTAKA

- Bach, W.** 1989. Growing consensus and challenge regarding a green house climate. Di dalam *Climate and Food Security*. IRRI-AAAS.
- Baldocchi, D.** 1995. A comparative study of mass and energy exchange over a closed C3 (wheat) and an open C4 (corn)

- canopy: The partitioning of available energy into latent and sensible heat exchange. *Agric. For. Meteorol* **67**: 191-220
- Bengtsson, L.** 1994. Climate change; climate of the 21st century. *Agric. For. Meteorol* **73**: 3-29
- Bantaran de Rozari, M., Koesoebiono, Sinukaban, N., Murdiyarso D. & Makarim K.** 1990. *Assessment of socio economic impacts of climate change in Indonesia. Di dalam The Potential Socio-Economic Effects of Climate Change in South-East Asia.* United Nation Environment Program (UNEP)
- Bras, R.L.** 1990. *Hydrology: An Introduction to Hydrology Science.* Singapore: Addison-Wesley.
- Campbille, G.S.** 1997. *An Introduction to Environmental Biophysic.* New York: Springer Verlag.
- Chang, Jen-Hu.** 1974. *Climate and Agriculture; an ecological survey.* Chicago: Aldine.
- Dugas, W.A., Heur, M.J., Hunsaker D., Kimball, B.A., Lewin, K.F., Nagi, J. & Johnson, M.** 1994. Sap flow measurements of transpiration from cotton grown under ambient and enriched CO₂ concentrations. *Agric. For. Meteorol* **70**: 231-245
- Friend, A.D. & Cox P.M.** 1995. Modelling the effect of atmospheric CO₂ on vegetation-atmosphere interactions. *Agric. For. Meteorol* **73**: 285-295
- Handoko.** 1991. Pendugaan hasil menggunakan indeks iklim. Di dalam *Kapita Selekta dalam Agroklimatologi.* Jakarta: Dirjen-Dikti Depdikbud.
- Hansker, D.J., Hendrey, G.R., Kimball, B. A., Lewin, K.F., Mauney, J.R., dan Nagy, J.** 1994. Cotton evapotranspiration under fiels condition with CO₂ enrichment and variable soil moisture regimes. *Agric. For. Meteorol* **70**: 247-258
- Jackson, I.J.** 1997. *Climate, Water and Agriculture in the Tropics.* London: Longman.
- Jones, H.G.** 1986. *Plant And Microclimate; A Quantitative Approach to Environmental Plants Physiology.* Cambridge: Cambridge University Press.
- Kelliher, F.M., R. Leuning., M.R. Raupach. & Schulze, E.D.** 1995. Maximun conductances for evaporation from global vegetation type. *Agric. For. Meteorol* **73**:1-16
- Kimball, B.A., LaMorte, R.L., Seay, R.S., Pinter, P.J., Rokey, R.R., Hunsaker, D.J., Dugas W.A., Heuer M.L., Mauney, J.R., Hendrey, G.R., Lewin, K.F. & Nagy, J.** 1994. Effect of free-air CO₂ enrichment on energy balance and evapotraspiration of cotton. *Agric. For. Meteorol* **70**: 259-278