

JURNAL BUDIDAYA PERTANIAN

Volume 8, Nomor 2, Desember 2012

Pendugaan Status Neraca Air Daerah Aliran Sungai Dengan Model Evapoklimatonomi: Suatu Tinjauan E. L. MADUBUN	61
Analisis Efisiensi Komoditas Pada Sistem Usahatani Integrasi Jagung-Sapi di Kabupaten Kupang MARJAYA, S. HARTONO, MASYHURI, dan D.H. DARWANTO	68
Pengujian Efektivitas Pupuk SRF-N Jenis D dan H terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Padi Sawah di Kelurahan Dua Limpoe, Kabupaten Wajo, Sulawesi Selatan M. P. SIRAPPA dan N. RAZAK	76
Pengaruh Dosis dan Cara Pemberian Ela Sagu Terhadap Beberapa Sifat Fisika Tanah, Aliran Air, Erosi Tanah dan Hasil Jagung (<i>Zea mays</i> L.) Ch. SILAHOY	83
Pengaruh Pemberian Bokashi Ela Sagu dan Pupuk ABG Bunga-Buah Terhadap N-Tersedia, Serapan N, serta Hasil Tanaman Jagung (<i>Zea mays</i> L.) pada Inceptisols E. KAYA	89
Kajian Tiga Jenis Pupuk Organik Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Padi Rawa di Desa Debowae, Kecamatan Waeapo, Kabupaten Buru M. P. SIRAPPA dan WAHID	95
Analisis Daerah Rawan Genangan Banjir dan Aplikasi Lubang Resapan Biopori di Sebagian Kawasan Hilir DAS Boyang Negeri Seith Ch. SILAHOY dan R. SOPLANIT	103
Evaluasi Kesesuaian Lahan Mendukung Usahatani Tanaman Pangan Lahan Kering di Desa Debut Kecamatan Kei Kecil Kabupaten Maluku Tenggara – Provinsi Maluku E. D. WAAS dan J. B. ALFONS	109
Efisiensi Relatif Agroindustri Berbasis Pangan Lokal Sagu: Suatu Pendekatann <i>Data Envelopment Analysis</i> (DEA) N. R. TIMISELA, MASYHURI, D. H. DARWANTO, dan S. HARTONO	117

PENDUGAAN STATUS NERACA AIR DAERAH ALIRAN SUNGAI DENGAN MODEL EVAPOKLIMATONOMI: SUATU TINJAUAN

Estimation of Water Balance Status the Watersheds by the Evapoclimatology Model: A Review

Elia L. Madubun

Program Studi Agroekoteknologi, Jurusan Budidaya Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Pattimura
Jl. Ir. M. Putuhena, Kampus Poka, Ambon 97233

ABSTRACT

Madubun, E.L. 2012. Estimation of Water Balance Status the Watersheds by the Evapoclimatology Model: A Review. *Jurnal Budidaya Pertanian* 8: 61-67.

This article tries to study about applying the evapoclimatology model to estimate the regional water balance status, among others for the purpose of watershed catchment area management. Its consideration such that for the planning of watershed catchment area management, the information concerning hydrology condition reflected from the regional water balance was needed. Value of some component of water balance is difficult or almost impossible to be measured directly for a very wide area, so that the calculation to the values is required. Basic concept of simple water balance that is input is equal to output, become complex due to some factors influencing its components. Calculation of water balance can be done in some ways; one of them is "evapoclimatology model" which represents numerical model of hydrology cycle in a region. This way is the rational approach considering physical process that occurs. With this model, the influence of physical change of watershed catchment area caused by land use change and climate change on water balance components can be estimated. The information obtained from the model serve for the purpose as one consideration in watershed area management.

Key words: Water balanced, watershed, evapoclimatology

PENDAHULUAN

Kemajuan pembangunan ekonomi dan sosial selama ini bertumpu pada eksploitasi dan penggunaan intensif sumberdaya alam, termasuk lahan pertanian dan kehutanan. Apabila tidak hati-hati atau tidak sesuai dengan kaidah-kaidah konservasi tanah dan air maka dapat terjadi berbagai dampak negatif yang ditimbulkan terhadap lingkungan termasuk sumberdaya tanah dan air. Disamping itu, perubahan iklim yang terjadi saat ini akibat pemanasan global telah memberikan dampak yang signifikan terhadap lingkungan hidup. Pemanasan global akan diikuti dengan perubahan iklim, seperti meningkatnya curah hujan di beberapa wilayah tertentu sehingga menimbulkan banjir dan erosi. Sedangkan, di wilayah lainnya akan mengalami kekeringan yang berkepanjangan disebabkan berkurangnya curah hujan.

Adanya percepatan pembangunan fisik, pertambahan jumlah penduduk, ekstensifikasi areal pertanian, dan eksploitasi sumberdaya hutan yang terus menerus mempunyai konsekuensi logis berupa perubahan proporsi penutupan lahan oleh vegetasi atau terjadi perubahan pola pemanfaatan/tataguna lahan pada kawasan daerah aliran sungai (DAS) yang selanjutnya akan berpengaruh terhadap kesetimbangan hidrologis DAS. Adanya peningkatan jumlah curah hujan musim hujan dan penurunan jumlah curah hujan musim kering

akibat pemanasan global juga akan berdampak terhadap kesetimbangan hidrologi DAS. Komponen-komponen tata/neraca air seperti limpasan (*run off*), evapotranspirasi dan lengas tanah akan bergeser atau berubah nilainya akibat perubahan fisik DAS. Jika perubahan seperti itu berlangsung secara terus menerus tanpa terkendali dapat merusak kondisi hidrologis DAS, yang menimbulkan kerugian bagi manusia.

Untuk mengantisipasi kondisi tersebut maka langkah strategis yang dapat dilakukan adalah melalui pengelolaan DAS secara terpadu. Pengelolaan DAS dimaksudkan untuk menjaga keseimbangan antara sumberdaya alam dan manusia serta segala aktivitasnya. Menurut Mangundikoro (1985), tujuan dari pengelolaan DAS adalah hasil air yang optimal dipandang dari aspek kuantita (memenuhi kebutuhan air penduduk) dan kualita (tersedianya air yang bersih) maupun regimen (tidak terjadi perbedaan fluktuasi debit air yang terlampau menyolok antara debit air pada musim penghujan dan musim kemarau). Dalam kaitan ini, keberadaan vegetasi hutan sebagai salah satu komponen DAS dapat mempengaruhi kondisi hidrologis DAS tersebut, yaitu tersedianya air yang cukup, bermutu baik dan teratur, mencegah aliran permukaan, erosi, sedimentasi dan banjir.

Mencermati hal di atas, maka informasi mengenai kondisi hidrologis yang tercermin dari keseimbangan

(neraca) air wilayah DAS sangat diperlukan. Nilai beberapa komponen neraca air sulit atau bahkan tidak dapat diukur secara langsung untuk daerah yang cukup luas, sehingga perlu dilakukan penghitungan terhadap nilai-nilai tersebut. Konsep dasar neraca air yang sederhana, yaitu masukan (input) sama dengan keluaran (output), menjadi kompleks karena adanya beberapa faktor yang mempengaruhi komponen-komponennya.

Terdapat berbagai metode yang bisa digunakan dalam perhitungan neraca air wilayah DAS, khususnya yang menyangkut aspek kuantitas dan dimensi waktu penyebarannya; salah satunya adalah model evapoklimatonomi. Masukan utama model ini menurut Bey (2003) adalah nilai bulanan curah hujan dan radiasi surya, sedangkan keluaran modelnya menggambarkan perilaku neraca air, berupa nilai bulanan dari proses-proses pengurusan air (evapotranspirasi dan limpasan) serta kandungan air tanah (*storage*). Model ini dapat mensimulasi (eksperimentasi model) berdasarkan perubahan komponen masukan yang terjadi serta saat terjadinya perubahan tataguna lahan. Hasil eksperimentasi model neraca air akan memberikan gambaran tentang pengaruh perubahan penggunaan lahan maupun perubahan masukan curah hujan akibat perubahan/penyimpangan iklim terhadap kondisi neraca air wilayah DAS.

Tulisan ini mencoba mengemukakan salah satu teknik (model evapoklimatonomi) untuk menduga status neraca air wilayah baik pada kondisi saat ini maupun ketika terjadi perubahan tataguna lahan dan anomal iklim (curah hujan) di suatu wilayah. Dasar pertimbangannya adalah kondisi neraca air cenderung berubah dari waktu ke waktu akibat kegiatan pembangunan yang memanfaatkan sumberdaya alam seperti hutan dan kecenderungan makin meningkatnya frekuensi dan intensitas kejadian iklim ekstrim saat ini. Dengan demikian, informasi yang diperoleh dari pemodelan neraca air tersebut dapat digunakan sebagai salah satu bahan pertimbangan dalam pengelolaan DAS yang berkelanjutan.

PENGERTIAN NERACA AIR

Dalam proses siklus hidrologi, terdapat hubungan kesetimbangan antara input dan output untuk suatu periode tertentu, yang disebut neraca air (*water balance*). Pengertian neraca air oleh beberapa ahli telah disusun berdasarkan tujuan penggunaan yang berbeda. Dalam bidang agroklimatologi, Frere & Popov (1978) dalam Oldeman & Frere (1980) mengartikan neraca air sebagai selisih antara jumlah air yang diterima oleh tanaman dan kehilangan air dari tanaman beserta tanah melalui evapotranspirasi. Menurut Hillel (1977), untuk kepentingan penerapan ilmu fisika tanah bagi pertanian, mengemukakan definisi yang bersifat umum. Neraca air dianggap sebagai penjelasan yang rinci dari hukum kekekalan massa (air), yaitu massa tidak bertambah atau berkurang tetapi hanya berubah bentuk dan/atau berpindah tempat. Woolhiser & Brakensiek (1982) menyatakan bahwa konsep pengembangan model

hidrologi DAS didasarkan pada prinsip konservasi massa dan energi. Gerakan air harus memenuhi hukum konservasi massa yang menyatakan bahwa pada suatu interval waktu tertentu besarnya perubahan dalam simpanan harus sama dengan selisih jumlah air yang masuk dan air yang keluar.

Dari ketiga definisi di atas dapat disimpulkan bahwa neraca air mengandung pengertian tentang perincian masukan dan keluaran air di suatu tempat di permukaan bumi pada suatu periode waktu tertentu. Persamaan dasar neraca air suatu DAS menurut Linsley (1951) adalah:

$$P - E \pm \Delta S = R$$

Dimana: P = presipitasi/curah hujan, E = air yang kembali ke atmosfer melalui evapotranspirasi, ΔS = perubahan kandungan lengas tanah, dan R = limpasan.

PENGELOLAAN DAS

Pengelolaan DAS adalah suatu proses “*guiding*” dan “*organizing*” sumberdaya lahan dan air serta sumberdaya lain dalam suatu DAS untuk menghasilkan barang/produk dan jasa yang diinginkan tanpa mempengaruhi kestabilan tanah, air dan sumberdaya alam yang lain (Brooks *et al.*, 1990). Menurut Mangundikoro (1985), pengelolaan DAS pada dasarnya menekankan tiga aspek yang terkait dengan data dan informasi, yaitu: 1) aspek biofisik; 2) aspek sosio-antropogenik; dan 3) aspek kelembagaan. Brooks *et al.* (1990) menekankan aspek biofisik ke dalam tiga hal utama: 1) meningkatkan stabilitas tanah; 2) memperbaiki pola dan volume aliran sungai; dan 3) memperbaiki kualitas air. Dua tujuan pengelolaan DAS menurut Pawitan (2000) adalah: 1) mengkoordinasikan semua kegiatan dalam wilayah DAS yang menyangkut pengalokasian penggunaan lahan utama: hutan lindung, hutan produksi, agroforestri, pertanian (beririgasi, tadah hujan), konservasi tanah dan air, rekreasi, pertambangan, dsb; dan 2) melaksanakan kegiatan Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah (RLKT) melalui praktek penggunaan lahan yang tepat, dengan melakukan analisis kesesuaian lahan untuk menentukan jenis-jenis spesies yang sesuai dengan deskripsi lahan yang ada.

PEMODELAN EVAPOKLIMATONOMI

Pengantar

Banyak teknik dan model yang dikembangkan untuk menghitung komponen-komponen neraca air baik secara makro di suatu wilayah (regional) maupun secara mikro (tapak). Salah satu konsep yang mampu memberikan keluaran neraca air dan energi berikut hubungan antar komponen dan perubahannya pada suatu wilayah (regional) adalah teknik dan model klimatonomi (Lettau & Baradas, 1973; Molion, 1975). Model klimatonomi mulanya dikembangkan oleh Lettau (1969) pada daerah subtropik dan kutub, bertujuan untuk: a) menjelaskan sebab-sebab (secara fisik) keragaman iklim menurut ruang dan waktu berdasarkan hukum-hukum

fisika radiasi, konduksi dan konveksi; dan b) mensintesis iklim lokal dan/atau regional dengan model numerik (kuantitatif) dengan menggunakan prinsip konservasi energi dan massa. Model klimatonomi terdiri dari tiga sub model, yaitu klimatonomi gelombang pendek (*short wave climatology*), evapoklimatonomi (*evapoclimatology*), dan termoklimatonomi (*thermoclimatology*).

Model evapoklimatonomi yang telah dikembangkan di daerah tropik antara lain untuk mengkaji pengaruh perubahan hutan terhadap neraca air di DAS Amazon oleh Molion (1975); neraca air DAS di Filipina oleh Lettau & Baradas (1973). Di Indonesia, model ini pernah dikembangkan oleh Bey *et al.* (1991) untuk memprediksi lengas tanah dan evapotranspirasi di Sub DAS Konto Jawa Timur; Irsal (1992) untuk merumuskan neraca air dan menduga potensi lengas tanah di Kabupaten Sikka dan Ende Nusa Tenggara Timur; Laimeheriwa (1994) untuk mempelajari perilaku neraca air Sub DAS Citere Jawa Barat; Kaimuddin (2000) yang mengkaji dampak perubahan iklim dan tataguna lahan terhadap keseimbangan air di DAS Walane Hulu dan DAS Saddang Sulawesi Selatan; Bey (2003) mengkaji empat tahap restorasi setelah kerusakan Krakatau 1883, dan Laimeheriwa (2012) untuk mengetahui dampak perubahan tata guna lahan terhadap keseimbangan air DAS Way Pia di Pulau Seram Provinsi Maluku.

Analisis Neraca Air Model Evapoklimatonomi

Prosedur penyusunan model neraca air bertitik tolak dari model atau formula yang sudah ada; dimana analisis data dilakukan dengan lima tahapan kegiatan sebagai berikut: 1) formulasi matematika model evapoklimatonomi; 2) penyusunan algoritme dan transfer ke kode komputer; 3) verifikasi atau parameterisasi; 4) validasi model; dan 5) eksperimentasi model. Secara skematis, diagram alir penyusunan model evapoklimatonomi seperti yang disajikan pada Gambar 1.

Konsepsi model

Dalam berbagai kegiatan penelitian, pendekatan analisis neraca air wilayah biasanya merupakan studi kasus dalam pendekatan wilayah menggunakan metode analisis sistem. Analisis dilakukan terhadap aspek fisik wilayah, khususnya neraca air. Pemodelan neraca air evapoklimatonomi dilakukan berdasarkan data sekunder yang tersedia, sedangkan beberapa peubah yang datanya tidak tersedia atau kurang lengkap dapat diduga dengan pendekatan empirik atau statistik/matematik melalui transformasi data yang ada atau dibangkitkan berdasarkan indikator fisik wilayah. Pemodelan evapoklimatonomi merupakan pendekatan numerik daur hidrologi yang mencerminkan cadangan lengas tanah, limpasan dan evapotranspirasi sebagai akibat gaya gravitasi dan energi surya terhadap curah hujan yang diintersepsi pada suatu permukaan (Lettau & Baradas 1973; Bey, 2003).

Masukan model

Masukan utama model ini adalah nilai bulanan curah hujan (P) dan radiasi surya (G). Data curah hujan diambil dari beberapa stasiun penakar hujan yang tersebar di dalam wilayah DAS, kemudian ditentukan nilai curah hujan setiap DAS dengan metode rata-rata aljabar atau metode penentuan curah hujan rata-rata wilayah lainnya. Nilai intensitas radiasi surya (G atau Q_s) yang biasanya tidak tersedia dapat diestimasi (dibangkitkan) misalnya dengan menggunakan persamaan Angstrom (1924) dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q_s/Q_A = a + b (n/N) \text{ atau } Q_s = Q_A \{a + b (n/N)\}$$

dimana:

Q_s = radiasi (dugaan) di permukaan ($\text{kal.cm}^{-2}.\text{hari}^{-1}$)

Q_A = nilai angot radiasi bulanan (diperoleh dari Tabel Smithsonian, List 1968)

n = lama penyinaran terukur

N = lama penyinaran maksimum (dari Tabel Doorenbos & Kassam, 1979)

a, b = konstanta (diperoleh berdasarkan nilai yang dikemukakan oleh Glover & McCulloch, 1958; Oldeman & Frere, 1980).

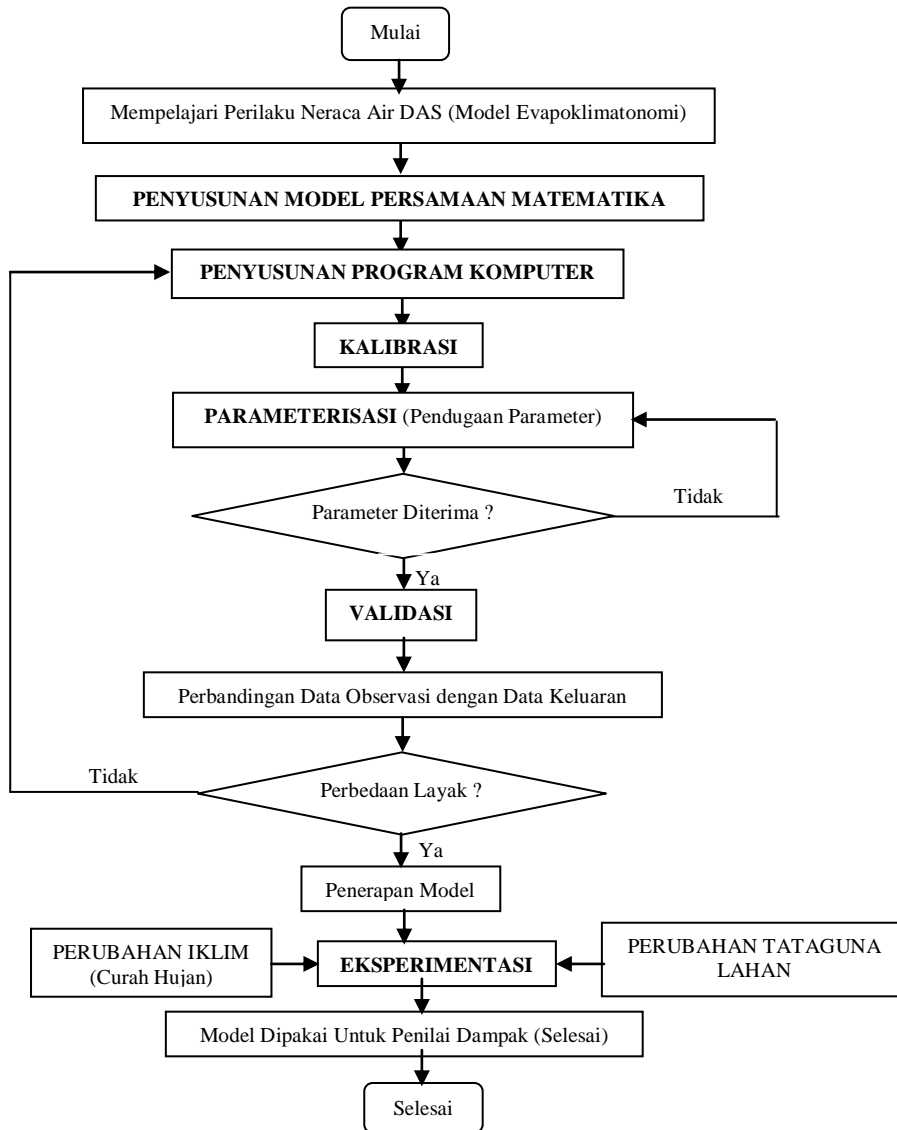
Nilai Q_s atau G yang diperoleh dalam satuan $\text{kal.cm}^{-2}.\text{hari}^{-1}$ dikonversi menjadi mm bulan^{-1} dengan nilai: $100 \text{ kal.cm}^{-2}.\text{hari}^{-1} = 48,4 \text{ W.m}^{-2}$; $1 \text{ W.m}^{-2} = 0,0351 \text{ mm.hari}^{-1}$. (untuk menguapkan air setiap 1 mm pada suhu 27–28°C dibutuhkan 28,3 Wm^{-2}).

Parameter model

Parameter model terdiri dari faktor koreksi nisbah limpasan langsung (np; tanpa dimensi), nilai ambang curah hujan (P_n ; mm bulan^{-1}), nilai evaporiviti, yaitu kemampuan lahan menguapkan air secara langsung (ep; tanpa dimensi), albedo permukaan (a; tanpa dimensi), ukuran kehilangan lengas tanah dari bawah permukaan (vn; tanpa dimensi), ukuran penguapan lengas tanah dari bawah permukaan (ve; tanpa dimensi), dan waktu tinggal/*residence time* lengas tanah (t^* ; bulan). Nilai-nilai parameter secara umum ditentukan oleh interaksi antara masukan (air dan energi) dan faktor fisik permukaan (topografi, tanah, vegetasi dan pengelolaan lahan). Penetapan nilai koefisien atau parameter (parameterisasi) dilakukan dengan mengkuantifikasi faktor-faktor fisik lahan atau wilayah dalam satuan sistem neraca air.

Keluaran model

Keluaran modelnya menggambarkan perilaku neraca air, berupa proses-proses pengurusan air (depleksi) terdiri dari evapotranspirasi (E), dan limpasan (N). Menurut Bey (2003), sesuai dengan sifat hujan tropik yang penekanannya diberikan pada daur musiman (kemarau dan hujan), maka selang waktu yang digunakan dalam model evapoklimatonomi adalah Δt ($t = 1$ bulan).



Gambar 1. Diagram Alir Penyusunan Model Evapoklimatonomi

Ketidakseimbangan antara masukan bulanan dan proses-proses deplesi menyebabkan perubahan kandungan lengas tanah (m). Dalam kaitan ini, hujan (P) merupakan satu-satunya masukan air; selain itu air yang disimpan (*storage*) dinyatakan sebagai turunan pertama lengas tanah terhadap waktu ($\Delta m/\Delta t$ atau dm/dt) sebagai perubahan simpanan.

Seperti halnya curah hujan, evapotranspirasi dinyatakan dalam satuan $mm\ bulan^{-1}$, sedangkan lengas tanah dinyatakan sebagai jeluk (tebal) air dalam satuan mm. Masukan air hujan yang jatuh pada bulan tertentu di suatu wilayah jarang sekali habis oleh proses deplesi (limpasan N, dan evapotranspirasi E) dalam bulan yang sama, kelebihannya disimpan sebagai lengas tanah (m). Dengan demikian, kedua proses deplesi tersebut yang terjadi selama bulan tertentu tidak hanya melibatkan air yang jatuh sebagai hujan pada bulan tersebut, tetapi juga melibatkan hujan yang tumpah pada bulan-bulan sebelumnya dan disimpan sebagai lengas tanah. Kenyataan tersebut merupakan alasan utama untuk membagi proses deplesi masing-masing menjadi dua

bagian proses yang adiitif (proses langsung dan proses tidak langsung). Dalam suatu bulan tertentu, proses-proses langsung (N' dan E') melibatkan air yang jatuh pada bulan tersebut, sehingga tidak ikut mempengaruhi perubahan kandungan lengas tanah bulan berikutnya. Proses-proses tidak langsung (N'' dan E'') memanfaatkan lengas tanah yang berasal dari hujan yang jatuh pada bulan-bulan sebelumnya.

Formulasi Model

Bentuk sederhana neraca air untuk suatu wilayah dapat ditulis sebagai berikut (Lettau & Baradas, 1973; Mather, 1978):

$$P = N + E + dm/dt \tag{1}$$

dimana P = curah hujan, E = evapotranspirasi, N = limpasan (aliran permukaan dan aliran bawah permukaan), dan dm/dt = turunan lengas tanah terhadap waktu. Konsisten dengan konsep dasar evapoklimatonomi, persamaan di atas dapat ditulis menjadi:

$$P = N' + N'' + E' + E'' + dm/dt \tag{2}$$

Limpasan langsung (N') dinyatakan dengan bantuan dua parameter, yaitu faktor reduksi np (disebut juga sebagai nisbah limpasan langsung) dan P_n sebagai nilai ambang presipitasi (curah hujan) terhadap proses limpasan langsung.

$$N' = np \cdot (P - P_n) \quad (3)$$

dimana $N' = 0$ jika $P_n \leq P$

Hanya sebagian np dari kelebihan curah hujan di atas nilai ambang P_n yang menghasilkan limpasan langsung. Baik P_n maupun np yang dapat merupakan fungsi curah hujan bulanan, sehingga memiliki variasi musiman (Bey, 2003). Evapotranspirasi langsung (E') harus sebanding dengan sisa curah hujan (setelah dikurangi N') dan energi surya yang diserap permukaan $F = (1 - a)G$, dimana a = albedo permukaan, dan G = radiasi global. Parameterisasi sederhananya adalah :

$$E' = ep \cdot (P - N') \cdot (1 - a) \cdot G/F_b \quad (4)$$

Dalam hal ini nilai evaporiviti (ep) sebagai parameter tanpa dimensi ($0 < ep < 1$), yaitu merupakan kapasitas lahan memanfaatkan energi surya yang tersedia untuk menguapkan air hujan yang jatuh selama bulan tersebut. F_b ($W \cdot m^{-2}$) adalah rata-rata tahunan dari nilai bulanan F atau $(1 - a)G$. Jika komponen-komponen langsung dikurangi nilai curah hujan bulanan, akan diperoleh masukan massa yang telah dikoreksi (P') :

$$P' = P - E' - N' \quad (5)$$

Sesuai dengan persamaan (1), hanya P' , E' dan N' secara efektif mempengaruhi perubahan lengas tanah, yaitu:

$$dm/dt = P' - E' - N' \quad (6)$$

Limpasan tidak langsung N'' diasumsikan berbanding lurus dengan kandungan lengas tanah.

$$N'' = v_n \cdot m \quad (7)$$

Parameter v_n memiliki satuan per unit waktu sebagai ukuran kehilangan air dari bawah permukaan, nilainya harus ditentukan untuk wilayah yang bersangkutan dan dapat menunjukkan variasi musiman. Evapotranspirasi tidak langsung (E'') menggambarkan pengaruh radiasi surya pada lengas tanah, besarnya sebanding dengan energi yang diserap $(1 - a)G$ dan lengas tanah m .

$$E'' = v_e \cdot m \quad (8)$$

Parameter v_e memiliki satuan per unit waktu merupakan ukuran penguapan lengas tanah. Menggunakan v sebagai $v = v_n + v_e$ serta t^* sebagai "residence time" lengas tanah (dinyatakan dalam satuan dt) maka persamaan (6) dapat ditulis sebagai :

$$dm/dt = P' - v \cdot m \quad (9)$$

atau

$$dm/dr = t^* \cdot P' - m = M - m \quad (10)$$

dalam hal ini $M = P'/v$ adalah setara dengan massa masukan yang dikoreksi dalam satuan milimeter lengas tanah, sedangkan $dr = dt/t^*$ adalah kelipatan waktu (tanpa dimensi). Hasil dari persamaan (10) disebut sebagai transformasi klimatonomi, yaitu :

$$m = e^{-r} \cdot (m_i + \int_0^r M \cdot e^r dr) \quad (11)$$

menghasilkan nilai-nilai runtu waktu lengas tanah untuk wilayah yang bersangkutan. Penyelesaian persamaan

(11) dapat dilakukan dengan metode integrasi langkah maju (*forward integration*).

Parameterisasi dan Kalibrasi Model

Kalibrasi model evapoklimatonomi bertujuan untuk menetapkan nilai koefisien atau parameter (parameterisasi) dan menghitung besaran masing-masing peubah dan komponen dalam satuan model (satuan sistem neraca air) yang representatif berlaku pada kondisi saat ini (normal). Proses kalibrasi diawali dengan parameterisasi, yaitu pendugaan atau penghitungan nilai-nilai representatif parameter a , ep , P_n , np , dan peubah m (nilai awal dan rata-rata). Nilai a , np , dan P_n akan diduga/dihitung menurut teknik rataan tertimbang dengan persamaan sebagai berikut (Laimheheriwa, 1994; 2012) :

$$NP = \sum_{i=1}^n (NPJPL_i \times FK) \quad (12)$$

dimana NP adalah nilai parameter dugaan, $NPJPL_i$ adalah nilai parameter berdasarkan jenis penggunaan lahan ke- i , dan FK adalah faktor koreksi, yaitu rasio antara luas penggunaan lahan ke- i dengan luas DAS , dan n adalah banyaknya jenis penggunaan lahan. Nilai $NPJPL_i$ diperoleh dari berbagai hasil penelitian sebelumnya. Nilai rataan lengas tanah, $mbar$ ditentukan/diduga berdasarkan data curah hujan dan daya pegang air tanah (*water holding capacity*) yang diinterpolasikan menurut sebaran tekstur dan ketebalan solum. Nilai evaporiviti, ep dugaan awal sangat tergantung pada energi surya dan berbagai sifat lahan. Nilai ep akan diduga berdasarkan berbagai rujukan yang telah ada. Nilai representatif ep dan E'/E diperoleh melalui analisis berulang (iterasi) bersama nilai parameter np , P_n , v_n , dan v_e . Nilai masing-masing komponen/peubah, baik sebagai komponen pengurusan air (N' , N'' , E' , E'') maupun sebagai simpanan massa air (*water storage*) atau lengas tanah (M , P' , m dan dm/dt) dihitung setelah koefisien atau parameter terhitung v_e , v_n , dan v atau t^* diperoleh. Penghitungan masing-masing koefisien dan komponen neraca air tersebut mengacu pada persamaan (1) – (11).

Untuk tujuan parameterisasi dan kalibrasi ini, digunakan dua kemas program komputer dengan bahasa 'Visual Basic Versi 6.0' (VB 6.0). Program pertama digunakan untuk mengitung nilai v_e , v_n dan v , sedangkan program kedua digunakan untuk menghitung nilai akhir semua peubah model melalui transformasi keluaran program pertama.

Validasi Model

Rancangan model neraca air evapoklimatonomi yang disusun memerlukan penyesuaian serta pengujian kesahihannya (validasi) sebelum digunakan dalam analisis lebih lanjut. Validasi dilakukan untuk mempertajam nilai-nilai parameter model agar diperoleh nilai parameter yang representatif. Artinya, keluaran model akan memberikan besaran peubah dan komponen neraca air yang sama atau mendekati kenyataan. Hal tersebut diuji dengan membandingkan data limpasan

hasil simulasi (perhitungan model) dengan data limpasan pengamatan N_{obs} . Data pengamatan N_{obs} (N'_{obs} dan N''_{obs}) diperoleh dari hasil analisis hidrograf menggunakan metode konstanta laju resesi (Chow, 1964; Schulz, 1980) yang memisahkan komponen aliran sungai atas limpasan permukaan, limpasan bawah permukaan, dan aliran air bawah tanah. Jika penyimpangan antara N hasil keluaran model dengan N_{obs} hasil pengamatan cukup besar berdasarkan nilai tengahnya (RMS, *Root Mean Square*), maka dilakukan pendugaan ulang nilai parameter awal hingga penyimpangannya lebih kecil. Disamping itu, akan dihitung pula nilai korelasi antara hasil simulasi dengan data pengamatan dari kedua komponen aliran sungai tersebut.

Apabila model telah diuji dan terbukti sah (valid), maka dapat diterapkan untuk analisis lebih lanjut (eksperimentasi model) dengan berbagai skenario perubahan pemanfaatan lahan maupun perubahan masukan (curah hujan). Dalam kalibrasi (parameterisasi dan validasi) tidak semua data runtu waktu curah hujan (P) dan radiasi surya (G) maupun limpasan (N) digunakan, hanya data runtu waktu satu atau dua tahun terakhir.

Eksperimentasi Model

Eksperimentasi model dimaksudkan untuk menilai kepekaan parameter dan menduga perubahan atau transformasi neraca air akibat perubahan masukan dan fisik lahan. Perubahan masukan disebabkan oleh dinamika iklim, yaitu fluktuasi curah hujan, sedangkan perubahan fisik lahan terkait dengan perubahan penggunaan lahan. Dalam eksperimentasi disusun skenario atau perkiraan perubahan yang mungkin terjadi pada besaran masukan yang ekstrim (curah hujan di atas dan di bawah normal) dan transformasi nilai-nilai parameter akibat perubahan fisik lahan. Perubahan nilai-nilai parameter model (a , np , P_n dan ep) pada setiap skenario akan diduga berdasarkan kuantifikasi perubahan fisik lahan yang mungkin terjadi dan nilainya dapat dihitung menggunakan persamaan (12).

Asumsi Dasar Model

Beberapa asumsi dasar keberlakuan model neraca air meliputi: 1) luas setiap DAS tetap; 2) curah hujan dan unsur iklim lainnya pada DAS dianggap seragam; 3) tidak terjadi kebocoran di DAS; 4) vegetasi yang mendominasi setiap penutupan lahan di DAS dianggap terkonsentrasi; dan 5) data sekunder yang digunakan dalam pemodelan neraca air diyakini keterandalannya sesuai dengan prosedur pengukuran di lapangan.

PENUTUP

Untuk perencanaan pengelolaan DAS diperlukan informasi mengenai kondisi hidrologis, yang tercermin dari neraca air wilayah tersebut. Nilai beberapa komponen neraca air sulit atau bahkan tidak dapat diukur secara langsung untuk daerah yang cukup luas, sehingga perlu dilakukan penghitungan terhadap nilai-nilai tersebut. Konsep dasar neraca air yang sederhana, yaitu masukan (*input*) sama dengan keluaran (*output*), menjadi

kompleks karena adanya beberapa faktor yang mempengaruhi komponen-komponennya.

Pemodelan Evapoklimatonomi yang dikembangkan oleh Heinz Lettau pada tahun 1969 yang diikuti oleh beberapa peneliti lainnya merupakan pemodelan numerik siklus hidrologi dalam suatu wilayah. Cara ini merupakan pendekatan rasional dengan mempertimbangkan proses-proses fisik yang terjadi. Dengan model ini dapat diduga pengaruh dari perubahan fisik yang terjadi pada DAS maupun perubahan masukan (curah hujan) terhadap komponen-komponen neraca air. Informasi yang diperoleh dari pemodelan tersebut dapat digunakan sebagai salah satu bahan pertimbangan dalam pengelolaan DAS.

Dalam penerapannya, prosedur penyusunan model bertitik tolak dari formula yang sudah ada; dimana analisis data dilakukan dengan lima tahapan kegiatan, yaitu: 1) formulasi matematika model evapoklimatonomi; 2) penyusunan algoritme dan transfer ke kode komputer; 3) verifikasi atau parameterisasi; 4) validasi model; dan 5) eksperimentasi model. Formulasi model matematika didasarkan atau menggunakan formula yang sudah ada. Untuk tujuan parameterisasi dan kalibrasi, dapat digunakan dua kemas program komputer diantaranya dengan bahasa 'Visual Basic Versi 6.0' (VB 6.0). Program pertama digunakan untuk mengitung nilai v_e , v_n dan v , sedangkan program kedua digunakan untuk menghitung nilai akhir semua peubah model melalui transformasi keluaran program pertama.

Rancangan model neraca air evapoklimatonomi yang disusun memerlukan penyesuaian serta pengujian kesahihannya (validasi) sebelum digunakan dalam analisis lebih lanjut. Validasi dilakukan untuk mempertajam nilai-nilai parameter model agar diperoleh nilai parameter yang representatif. Artinya, keluaran model akan memberikan besaran peubah dan komponen neraca air yang sama atau mendekati kenyataan. Apabila model telah diuji dan terbukti sah, maka dapat diterapkan untuk analisis lebih lanjut (eksperimentasi model) dengan berbagai skenario perubahan pemanfaatan lahan maupun perubahan masukan (curah hujan). Eksperimentasi model dimaksudkan untuk menilai kepekaan parameter dan menduga perubahan atau transformasi neraca air akibat perubahan masukan dan fisik lahan. Perubahan masukan disebabkan oleh dinamika iklim, yaitu fluktuasi curah hujan, sedangkan perubahan fisik lahan terkait dengan perubahan penggunaan lahan. Dalam eksperimentasi dapat disusun beberapa skenario atau perkiraan perubahan yang mungkin terjadi pada besaran masukan (curah hujan di atas dan di bawah normal) dan transformasi nilai-nilai parameter akibat perubahan fisik lahan. Perubahan nilai-nilai parameter model (a , np , P_n dan ep) pada setiap skenario akan diduga berdasarkan kuantifikasi perubahan fisik lahan yang mungkin terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

Angstrom, A. 1924. Note on the relation between sunshine and cloudness in Stockholm 1908-1920. *Archiv.Matemat.Astron. and Physic*, 17 No. 15.

- Bey, A., L. Irsal & Y. Koesmaryono. 1991. Pemodelan evapoklimatonomi untuk prediksi lengas tanah dan evapotranspirasi Sub DAS Konto (DAS Brantas) Jawa Timur sebagai studi kasus. FMIPA IPB, Bogor.
- Bey, A. 2003. Evapoclimatology modeling of four restoration stages following Krakatau's 1883 destruction. *Ecological Modelling* **169**: 327–337.
- Brooks, K.N., H.M. Gregersen., A.L. Lundgren, & R.M. Quinn. 1990. Manual on Watershed Management Project Planning, Monitoring and Evaluation. Asean-US Watershed Project. College, Leguna-Philippines.
- Chow, V.T. 1964. *Runoff*. In: V.T. Chow (Ed.). *Handbook of Applied Hydrology*. p. 1-54. McGraw-Hill Book Company, Inc., New York.
- Doorenbos, J & A.H. Kassam. 1979. Yield response to water. FAO Irrigation and Darinage Paper No.33. FAO Uneted Nations, Rome.
- Glover, J & J.S.G. McCulloch. 1958. The empirical relation between solar radiation and hours of sunshine. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* **84**: 172–175.
- Hillel, D. 1977. Computer Simulation of Soil-Water Dynamics: A Compendium of Recent Work. International Development Research Centre, Ottawa.
- Irsal, L. 1992. Pewilayahan Komoditi Pertanian Berdasarkan Model Iklim di Kabupaten Sikka dan Ende NTT. [Disertasi]. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Kaimuddin. 2000. Kajian Dampak Perubahan Iklim Dan Tataguna Lahan Terhadap Keseimbangan Air Wilayah Sulawesi Selatan: Studi Kasus DAS Walanae Hulu dan DAS Saddang. [Disertasi]. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Laimeheriwa, S. 1994. Analisis neraca air menggunakan model Evapoklimatonomi dan Topog_Yield di Sub DAS Citere – Jawa Barat. [Tesis]. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Leimeheriwa, S. 2012. Dampak perubahan tataguna lahan terhadap keseimbangan air wilayah Pulau Seram, studi kasus di DAS Way Pia Kabupaten Maluku Tengah Provinsi Maluku. *Agrologia* **1**: 31–41.
- Lettau, H.H. 1969. Evapotranspiration climatology I: A new approach to numerical prediction of monthly evapotranspiration, runoff, and soil moisture storage. *Monthly Weather Review* **97**: 691–699.
- Lettau, H.H. & M.W. Baradas. 1973. Evapotranspiration climatology II: Refinement of parameterization, excemplified by application to the Mabacan River Watershed. *Monthly Weather Review* **101**: 639–649.
- Linsley, R.K. 1951. The Hydrologic cycle and its relation to meteorology-river forecasting. Compendium of Meteorology, p: 1048–1054.
- List, R.J. 1968. Smithsonian meteorological tables. 6th revised edit. Smithsonian Miscellaneous Collections. Smithsonian Inst. Press; Washington.
- Mangundikoro, A. 1985. Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. *Dalam: Prosiding Lokakarya UGM-Departemen Kehutanan*. Yogyakarta.
- Mather, J.R. 1978. *The Climatic Water Budget in Environmental Analysis*. Lexington Books. Toronto.
- Mollion, L.C.B. 1975. A climatotonomic study of the energy and moisture fluxes of Amazones Basin with consideration of deforestation effects. [Ph.D. Thesis]. Dept. of Meteorology, Univ. of Wisconsin, Madison. 133p.
- Oldeman, L.R. & M. Frere. 1980. A Study of the Agroclimatology of the Humid Tropics of Southeast Asia. Tech. Report, FAO, Rome
- Pawitan, H. 2000. *Panduan Pengolahan Data Iklim dan Hidrologi Untuk Perencanaan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Departemen Kehutanan dan Perkebunan Dirjen RLPS. Jakarta.
- Schulz, E.F. 1980. *Problem and Applied Hydrology*. Water Res. Publ., Fort Collins, Colorado.
- Woolhiser, D.A. & D.L. Brukensiek. 1982. *Hydrologic System Synthesis*. In: Haan C.T. *Hydrologic Modeling of Small Watersheds*. ASAE Monograph No. 5. p. 1–16.