

**MODEL ESTIMASI UNTUK EVAPOTRANSPIRASI DAN LENGAS TANAH :**  
**Studi Kasus Sub DAS Manting, Jawa Timur**  
(Estimate Model for Evapotranspiration and Soil Humidity:  
Case Study at Manting Watershed in East Java)

Ahmad Bey<sup>1)</sup> dan Laode Sabaruddin<sup>2)</sup>

1) Laboratorium Meteorologi, FMIPA IPB  
2) Fakultas Pertanian UNHALU

**ABSTRACT**

Information about water budget profiles is very important for watershed management purposes. This is, especially, true when the watershed is subjected to continuous pressure for land-use change, like the Manting Watershed in East Java. In view of the fact that not all of the water budget components can be accurately obtained from direct measurement, modeling technique normally provides an alternative. In this report, evapoclimatology model is used to establish water budget status of the watershed which represent present conditions. Through calibration process, a set of climatologic parameters were derived that resulted in monthly run-off values which were in agreement with the observed ones. The correlation coefficient between the two series is 99% with an RMS error of 3.8 mm. A range of -6 to 4 mm per month of run-off deviations are considered sufficiently good. Model experimentation in the form of a reduction of vegetation cover in the watershed suggests that direct run-off and soil moisture contents are quite sensitive to such changes.

**Key Words:** evapoclimatology, evapotranspiration, run-off, soil moisture, Manting watershed

**ABSTRAK**

Kawasan DAS membutuhkan informasi mengenai kondisi neraca air secara aktual untuk merumuskan pola pengelolaan yang baik. Beberapa komponen neraca air sangat sulit diukur secara langsung, dan pemodelan merupakan alternatif yang dapat dilakukan. Metode evapoklimatologi digunakan untuk menjelaskan kemungkinan suatu keadaan yang akan terjadi dengan menerapkan konsep kekekalan energi dan massa. Keluaran model dapat memberikan besaran mengenai peubah dan komponen neraca air yang sama atau mendekati keadaan sebenarnya dengan cara membandingkan nilai limpasan hasil perhitungan dengan hasil pengamatan. Hasil penghitungan menunjukkan bahwa penggunaan nilai-nilai parameter model kalibrasi mencerminkan pola limpasan yang mirip seperti data pengamatan dengan penyimpangan berkisar antara -6 sampai 4 mm per bulan. Koefisien korelasi kedua deret data mencapai 99% dengan nilai akar kuadrat tengah simpangan 3.8 mm Respons komponen-komponen neraca air terhadap perubahan penutupan vegetasi menunjukkan bahwa limpasan langsung dan lengas tanah peka terhadap perubahan tersebut.

**Kata Kunci:** evapoklimatologi, evapotranspirasi, limpasan, lengas tanah, Sub DAS Manting

## PENDAHULUAN

Pengurusan potensi sumber daya air pada suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) seringkali terjadi antara lain disebabkan oleh tekanan yang makin berat akibat cepatnya peningkatan jumlah penduduk, rendahnya penutupan vegetasi maupun perubahan tata guna lahan. Tekanan tersebut memberikan sumbangan yang penting bagi peningkatan limpasan permukaan, terganggunya kestabilan wilayah DAS yang selanjutnya mempengaruhi daya dukung sumber daya alam.

Sejalan dengan pemanfaatan lahan tersebut menyebabkan terjadinya perubahan fungsi dari kawasan DAS antara lain dalam bentuk perluasan areal untuk pertanian maupun peruntukan lain. Akibatnya kesetimbangan hidrologis DAS menjadi terganggu.

Sub DAS Manting mencakup areal seluas 459.7 ha atau sekitar 12% dari luas DAS Brantas. Sebagian besar arealnya adalah vegetasi hutan dan merupakan salah satu kawasan penting di Jawa Timur karena berperan sebagai penyangga lingkungan dan pengendali banjir di bagian hilir Sungai Brantas. Kecenderungan laju kerusakan dan penurunan kualitas kawasan hutan yang terjadi saat ini perlu diwaspadai agar kondisi hidrologisnya terjaga dengan baik.

Hasil kajian Zubair (1994) mengungkapkan bahwa tingkat degradasi hutan di Sub DAS Manting telah mencapai tingkat yang memprihatinkan. Data yang diperolehnya pada periode 1987 s/d 1990 memperlihatkan bahwa rasio debit aliran dan koefisien aliran relatif tinggi dan cenderung meningkat. Keadaan ini menunjukkan bahwa kondisi hidrologis Sub DAS Manting menurun kualitasnya. Penelitian bertujuan untuk: (a) menduga evapotranspirasi dan lengas tanah bulanan, (b) menentukan nilai-nilai parameter evapoklimatonomi yang mencirikan karakteristik wilayah tersebut, dan (c) menduga perubahan neraca air berdasarkan skenario perubahan penggunaan lahan.

## BAHAN DAN METODE

Wilayah penelitian adalah Sub DAS Manting Kecamatan Pujon Kabupaten Dati II Malang, Jawa Timur. Bahan yang digunakan meliputi data iklim bulanan yakni curah hujan, radiasi global dan limpasan yang mencakup periode 1986 s/d 1999. Data sifat fisik tanah, pola tataguna lahan dan kelas lereng digunakan sebagai data penunjang analisis. Penghitungan dilakukan menggunakan program MS Visual Basic ver. 6.0.

Curah hujan merupakan masukan air sedangkan perubahan air yang tersimpan dalam tanah dinyatakan sebagai turunan pertama lengas tanah terhadap waktu. Air hujan yang jatuh pada bulan tertentu mungkin sekali tidak habis oleh proses penguapan dan limpasan dalam bulan tersebut. Pemilahan terhadap pengurusan air (evapotranspirasi dan runoff) melalui proses langsung dan tidak-langsung merupakan ciri utama yang membedakan model evapoklimatonomi dari model kesetimbangan air lainnya. Proses langsung memanfaatkan input curah hujan yang turun dalam bulan yang sama sedangkan proses tidak-langsung menggunakan curah hujan yang jatuh pada bulan-bulan sebelumnya (yang tersimpan sebagai lengas tanah pada ketebalan lapisan tanah 100 cm).

Persamaan matematik neraca air suatu wilayah dalam bentuk primitif dapat dituliskan sebagai  $P = E + N + dm/dt$ , di mana  $P$  = curah hujan,  $E$  = evapotranspirasi,  $N$  = limpasan, dan  $dm/dt$  = turunan lengas tanah terhadap waktu.

Limpasan Langsung ( $N'$ ) pada suatu bulan hanya terjadi jika curah hujan melampaui nilai tertentu. Argumentasi ini mengharuskan penggunaan dua parameter untuk menyatakan limpasan langsung, yaitu nilai ambang  $P_n$  (mm/bulan) dan  $n_p$  sebagai nisbah limpasan langsung yang nilainya antara nol dan satu. Evapotranspirasi langsung ( $E'$ ) dinyatakan sebagai fungsi evaporiviti,  $e_p$ , yang menggambarkan kapasitas lahan memanfaatkan radiasi matahari untuk menguapkan air hujan dalam bulan tertentu.

Persamaan di atas dapat dituliskan kembali sebagai

$$dm/dt = P' - E'' - N''$$

di mana  $P'$  adalah input curah hujan yang telah dikoreksi oleh  $N'$  dan  $E''$ , sedangkan lambang apostrop-ganda menunjukkan proses yang tidak-langsung.

Proses-proses tidak-langsung diasumsikan berbanding lurus dengan kandungan lengas tanah dan dinyatakan sebagai fungsi dari  $v_N$  dan  $v_E$ , disebut faktor retentiviti (per bulan). Kedua faktor retentiviti dapat digabungkan menjadi  $v$  dan persamaan neraca air menjadi lebih sederhana, yaitu

$$dm/dt = P' - v \cdot m \text{ atau } dm/d\tau = t^* P' - m = M - m$$

dalam hal ini  $M = P'/v$  adalah setara dengan massa input yang terkoreksi dalam satuan mm lengas tanah, sedangkan  $t^* = 1/v$  adalah waktu tinggal lengas tanah dalam satuan bulan, sedangkan  $d\tau = dt/t^*$  adalah kelipatan waktu (tanpa satuan). Jawab dari persamaan diatas adalah unik, disebut transformasi klimatonomi, yaitu

$$m = e^{-\tau} (m_1 + \int_0^{\tau} M e^{\tau} d\tau)$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kalibrasi Model

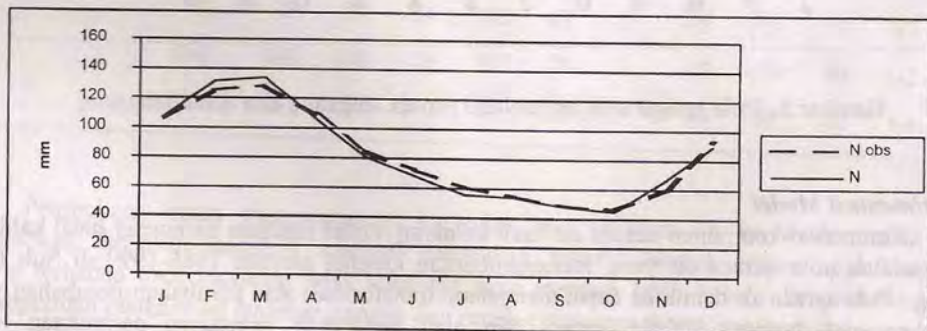
Laporan komprehensif tentang pengukuran albedo yang dimuat dalam Oguntoyinbo (1970) menyimpulkan bahwa albedo untuk wilayah hutan adalah  $0.13 \pm 0.01$ , wilayah tanaman pangan 0.17 dan wilayah urban 0.12. Pengukuran yang dilakukan oleh Bey *et al.* (1990) menunjukkan bahwa nilai bulanan albedo di Sub DAS Konto, DAS Brantas berkurang 0.01 dari nilai rata-rata untuk kenaikan curah hujan sebesar 50 mm bulan<sup>-1</sup>. Sub DAS Manting dengan kawasan hutan 69% memiliki nilai albedo rata-rata sebesar 0.124. Berdasarkan catatan data radiasi matahari di wilayah Sub DAS Manting, sebagai aproksimasi pertama secara tentatif diasumsikan bahwa rata-rata tahunan evaporasi langsung sama dengan evapotranspirasi tidak-langsung. Variasi nilai parameter  $n_p$  dilaporkan dalam beberapa penelitian, antara lain Bey *et al.* (1990) untuk Sub DAS Konto,  $n_p = 0.15$ , Las (1992) untuk beberapa Sub DAS di Kabupaten Sikka dan Ende,  $n_p = 0.18 - 0.235$ , Rahayu (1993) untuk DAS Ciliwung Hulu,  $n_p = 0.22$  dan Leimeheriwa (1994) untuk Sub DAS Citere,  $n_p = 0.152$ .

Nisbah antara limpasan dengan curah hujan di wilayah Sub DAS Manting adalah 0.44, lebih besar dibanding dengan Sub DAS Konto (0.31). Tabel 1 memuat data input dan nilai-nilai parameter untuk kalibrasi model evapoklimatonomi Sub DAS Manting sedangkan hasil kalibrasi dimuat dalam Gambar 1, 2 dan 3.

Tabel 1. Data input (1986-1999) dan nilai parameter yang digunakan untuk proses kalibrasi model

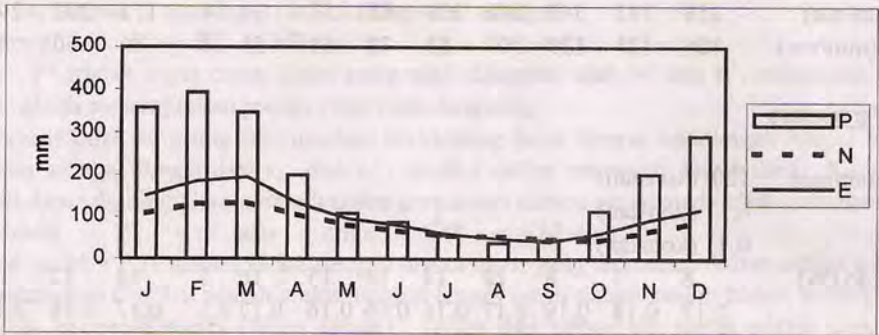
Bulan	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>(1) Input</b>												
G (W/m <sup>2</sup> )	196	208	227	209	204	210	203	226	21	223	225	200
P (mm/mo)	358	393	347	200	109	88	57	39	4	115	202	293
N <sub>obs</sub> (mm/mo)	106	125	129	109	85	72	61	55	4	46	60	92
<b>(2) Parameters</b>												
P <sub>N</sub> (mm/mo)	120 (konstan)											
n <sub>p</sub>	0.17 (konstan)											
e <sub>p</sub>	0.31 (konstan)											
Albedo (%)	8	7	8	12	14	14	15	16	1	14	12	9
E	0.17	0.18	0.19	0.17	0.16	0.16	0.16	0.17	0.1	0.17	0.18	0.16
N	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.25	0.3	0.30	0.30	0.25
t* (mo)	2.7	2.6	2.6	2.7	2.8	2.8	2.8	2.4	2.	2.1	2.1	2.4

Lengas tanah maksimum tercapai pada bulan Maret (463 mm) yakni satu bulan setelah curah hujan maksimum pada bulan Februari. Bersamaan dengan menurunnya curah hujan, kandungan lengas tanah juga menurun pada bulan-bulan selanjutnya hingga mencapai nilai terendah pada bulan Oktober (143 mm). Evaporasi dan limpasan juga bervariasi mengikuti curah hujan dengan *lag-time* satu sampai dua bulan. Seperti ditunjukkan dalam Gambar 1, limpasan hasil perhitungan dengan nilai total tahunan 985 mm sangat mirip dengan nilai limpasan observasi. Penyimpangan terbesar pada bulan Februari dan Nopember, masing-masing 6 mm. Hasil penghitungan menunjukkan bahwa nilai tengah waktu tinggal massa air atau lengas tanah adalah 2.5 bulan.

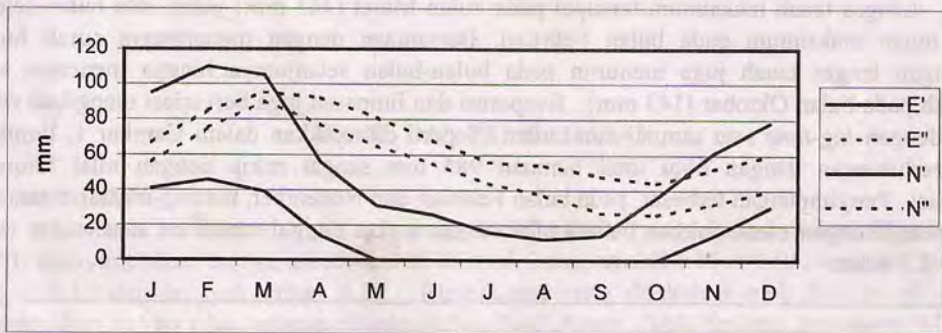


Gambar 1. Variasi limpasan hasil penghitungan dibandingkan dengan observasi.

Nilai ini sangat erat kaitannya dengan proses-proses tidak langsung. Jeluk limpasan tidak langsung yang merupakan aliran bawah permukaan (*sub surface flow*) lebih tinggi dibanding dengan limpasan langsung. Hal ini menunjukkan bahwa kapasitas penahanan air tanah di Sub DAS Manting relatif cukup baik, yakni diduga berkaitan dengan jenis tanahnya (dominan adalah andosol) yang memiliki kandungan bahan organik tinggi.



Gambar 2. Pola neraca air keluaran model evapklimatonomi



Gambar 3. Pola pengurasan air melalui proses langsung dan tidak-langsung

### Eksperimentasi Model

Komponen-komponen neraca air hasil keluaran model maupun parameter hasil kalibrasi di atas adalah pola neraca air yang menggambarkan kondisi periode 1986-1999 di Sub DAS Manting. Pola neraca air demikian dapat mengalami transformasi atau perubahan-perubahan yang disebabkan oleh berbagai faktor, antara lain oleh perubahan penutupan permukaan lahan (penutupan vegetasi) dan perubahan data input. Untuk melihat kepekaan komponen-komponen neraca air terhadap perubahan penutupan vegetasi, disusun suatu skenario di mana areal tanaman pangan (palawija) meningkat 50% sedangkan luas areal rumput (sejenis rumput gajah) untuk makanan ternak meningkat 15%. Komponen evapoklimatonomi Sub DAS Manting skenario di atas disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Eksperimentasi model evapoklimatonomi Sub DAS Manting. Areal tanaman pangan dan areal rumput makanan ternak meningkat masing-masing 50% dan 15% dari kondisi 1986-1999

Bulan	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>(1) Input</b>												
G (W/m <sup>2</sup> )	196	208	227	209	204	210	20	226	219	223	225	200
P (mm/mo)	358	393	347	200	109	88	5	39	45	115	202	293
<b>(2) Parameters</b>												
P <sub>N</sub> (mm/mo)	60 (konstan)											
n <sub>p</sub>	0.13 (konstan)											
e <sub>p</sub>	0.32 (konstan)											
Albedo (%)	12	11	12	16	18	18	1	20	20	18	15	13
E	0.17	0.18	0.19	0.17	0.16	0.16	0.1	0.17	0.17	0.17	0.18	0.16
N	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.2	0.25	0.29	0.29	0.29	0.25
t* (mo)	2.6	2.5	2.4	2.6	2.6	2.6	2.	2.4	2.2	2.2	2.1	2.4
<b>(3) Keluaran</b>												
m	319	402	444	428	370	306	24	193	147	135	163	229
dm/dt	96	73	16	-43	-71	-61	-5	-57	-37	10	44	85
E'	99	115	110	57	31	26	1	13	14	35	62	81
E''	55	74	86	74	61	52	4	34	25	24	31	39
N'	39	43	37	18	7	4		0	0	7	19	30
N''	70	88	97	94	81	67	5	49	42	39	47	58
E	154	189	196	131	92	78	5	47	39	59	93	120
N	109	131	134	112	88	71	5	49	42	46	66	88

Pembukaan hutan mempengaruhi kapasitas laju infiltrasi air ke dalam tanah dan menyebabkan limpasan langsung menjadi bertambah besar. Nisbah antara total limpasan langsung terhadap total limpasan tidak langsung akan menjadi lebih besar. Pembukaan hutan untuk keperluan penanaman tanaman pangan dan rumput makanan ternak cenderung menurunkan

nisbah limpasan langsung  $n_p$  dan nilai ambang curah hujan  $P_N$  yang merupakan batas minimum curah hujan untuk terjadi limpasan langsung. Diasumsikan bahwa penurunan  $n_p$  dan  $P_N$  adalah proporsional dengan peningkatan  $e_p$  sehingga diperoleh nilai  $n_p=0.13$  dan  $P_N=60$  mm/bulan. Sedangkan parameter yang memiliki kecenderungan yang meningkat adalah parameter evaporiviti dan albedo. Penghitungan untuk skenario tersebut menghasilkan peningkatan limpasan langsung sebesar 11% dibandingkan kondisi 1986-1999. Peningkatan limpasan langsung mengakibatkan nisbah rasio limpasan terhadap curah hujan menjadi 44%. Selanjutnya, perubahan luasan hutan tersebut adalah menyebabkan terjadinya penurunan kandungan lengas tanah sebesar 193 mm/tahun yakni dari 3578 mm menjadi 3385 mm. Nilai input massa efektif ( $M^*$ ) tertinggi dicapai pada bulan Februari (583 mm), bersamaan dengan curah hujan maksimum dan selanjutnya terus menurun hingga mencapai titik terendah pada bulan September (60 mm) pada saat curah hujan minimum.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Keadaan hidrologi Sub DAS Manting dapat digambarkan melalui teknik pemodelan evapoklimatonomi. Nilai-nilai parameter yang mewakili kondisi 1986-1999 adalah albedo 0.124, nisbah limpasan langsung  $n_p$  0.17, nilai ambang curah hujan  $P_N$  120 mm/bulan, dan evaporiviti  $e_p$  0.31.
- Hasil kalibrasi menunjukkan model evapoklimatonomi bersifat parsimoni. Hasil penghitungan model sangat mirip dibandingkan dengan data observasi; akar kuadrat tengah simpangan kedua deret adalah 3.8 mm sedangkan penyimpangan terbesar (6 mm) terjadi pada bulan Februari dan Nopember.
- Pengurusan air melalui evapotranspirasi mencapai 1264 mm/tahun atau sekitar 56% dari total curah hujan.
- Respons komponen-komponen neraca air terhadap perubahan penutupan vegetasi dapat ditunjukkan melalui perubahan nilai-nilai parameter model. Skenario peningkatan areal tanaman pangan 50% dan areal rumput untuk makanan ternak 15% mengakibatkan peningkatan limpasan langsung sebesar 11% sedangkan kandungan lengas tanah menurun 193 mm/tahun.
- Dalam memodifikasi parameter, perlu diperhatikan bahwa perubahan nilai suatu parameter dapat mengakibatkan perubahan nilai parameter lain. Jika informasi tentang pola penggunaan lahan tersedia lebih rinci, proses mekanisme *feedback* demikian dapat diintegrasikan ke dalam model sehingga kepekaan tiap parameter dapat dievaluasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bey, A., I. Las dan Y. Koesmaryono. 1990. Laporan Akhir Pemodelan Evapoklimatonomi untuk Prediksi Lengas Tanah dan Evapotranspirasi Sub DAS Konto Hulu (DAS Brantas) Jawa Timur sebagai Studi Kasus. FMIPA, IPB Bogor.

- Laimeheriwa, S. 1994. Analisis Neraca Air Menggunakan Model Evapoklimatonomi dan Topog\_Yield di Sub DAS Citere Jawa Barat. Tesis. Program Pascasarjana IPB, Bogor.
- Las, I. 1992. Pewilayahan Komoditi Pertanian Berdasarkan Model Iklim Kabupaten Sikka dan Kabupaten Ende Nusa Tenggara Timur. Disertasi Doktor. Program Pascasarjana IPB, Bogor.
- Oguntoyinbo, J. S. 1970. Reflection Coefficient of Natural Vegetation Crops and Urban Surface in Nigeria. Quart. J. Roy. Meteorol. Soc. 96:430-441.
- Rahayu, E. S. 1993. Pendugaan Evapotranspirasi dan Lengas Tanah Daerah Aliran Sungai (DAS) Ciliwung Hulu dengan Model Evapoklimatonomi. Jurusan Geofisika dan Metrologi, FMIPA- IPB, Bogor.
- Zubair, H. 1994. Pola Pengelolaan Kawasan Hutan Berdasarkan Karakteristik Hidroorologi Di Daerah Aliran Sungai Konto Hulu-Jawa Timur. Studi Kasus Sub Daerah Aliran Sungai Manting. Disertasi Doktor. Program Pascasarjana IPB, Bogor.