

MANFAAT PROGRAM KOMPUTER UNTUK EVALUASI
IMBANGAN AIR DENGAN METODE
THORNTHWAITTE-MATHER

A Microcomputer Package for Evaluating Water Balance

Oleh
Pramono Hadi *

ABSTRACT

The BASIC program, WTRBLN1, is a program for evaluating monthly water balance. The program computes the heat index, which gives the monthly value of i corresponding to mean monthly temperature. By this value, uncorrected value of evapotranspiration can be determined, in accordance with monthly temperature. The correction factor f will be called from the program memory, (WTRBLN.IND) and the value depends on the latitude of the area, where the water balance evaluation is being run. The program decides when the equation of runoff will start, and also can evaluate the available water for runoff. The package is written by microsoft QuickBasic compiler for an IBM-PC and compatibles, and can be adapted to many microcomputer with little modifications.

INTISARI

Program komputer dengan nama "WTRBLN1" adalah program komputer untuk mengevaluasi imbalanced air yang dikemukakan oleh Thornthwaite-Mather. Program ini terdiri dari dua file, yaitu file programnya sendiri (WTRBLN1.EXE) dan file untuk menyimpan data faktor f (WTRBLN.IND). Faktor f ini berguna untuk mengoreksi nilai evapotranspirasi potensial yang dihitung berdasarkan indek panas dan temperatur bulanan rata-rata. Faktor f ini juga tergantung dari letak lintang suatu daerah dimana evaluasi imbalanced air ini dilakukan.

Program ini dapat menentukan kapan perhitungan *runoff* dimulai. Program ini tidak dapat melakukan perhitungan imbalanced air secara siklis tetapi secara berurutan dari bulan ke bulan tergantung kapan mulainya. Penentuan berapa tersedianya air untuk *runoff* bulan berikutnya dapat kita berikan sebagai masukan, misalnya 50 persen. Program ini ditulis dengan menggunakan bahasa Basic untuk komputer IBM-PC dan kompatibelnya.

* Drs. Pramono Hadi adalah dosen pada Jurusan Geografi Fisik, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

PENDAHULUAN

Perhitungan imbangan air untuk pengembangan daerah pertanian sangat diperlukan. Cara-cara perhitungan imbangan air banyak dilakukan oleh para ahli, misalnya seperti yang dilakukan Blancy-Criddle, Thornthwaite-Mather, Penman, dan lain-lain. Masing-masing cara perhitungan mempunyai kelebihan dan kekurangan. Cara yang akan dipilih, tergantung dari tujuan yang akan dicapai dan data yang dapat disediakan.

Dalam tulisan ini dibahas cara perhitungan imbangan air oleh Thornthwaite-Mather. Cara ini merupakan cara yang paling sederhana, karena dalam perhitungan hanya diperlukan data hujan bulanan rata-rata dan temperatur bulanan rata-rata. Pada prinsipnya, yang perlu mendapatkan perhatian adalah penentuan besarnya evapotranspirasi potensial. Besarnya evapotranspirasi ini berbeda-beda dari satu tempat ke tempat lain, tergantung dari letak lintang tempat tersebut.

Dalam metode ini, data lain yang diperlukan adalah 'water holding capacity' (WHC). Untuk mendapatkan nilai WHC, didasarkan atas data tekstur tanah dan jenis tanaman penutup lahan, atau dengan cara membuat kurve pF dari jenis tanah yang bersangkutan.

PERHITUNGAN IMBANGAN AIR MENURUT THORNTHWAITTE-MATTER

Runoff bulanan suatu daerah dapat dihitung jika tersedia data hujan dan temperatur. Perhitungan *runoff* bulanan dengan metode ini dapat dilakukan dengan asumsi-asumsi sebagai berikut (Smith, 1987):

- Tidak ada aliran langsung melainkan hanya aliran dasar (*basic runoff*).
- Dalam memperkirakan besarnya *runoff*, faktor topografi dan tipe tajuk tanaman tidak dipertimbangkan.
- Kondisi kelengasan tanah pada suatu saat diasumsikan merata untuk semua wilayah.
- Tiap bulan hanya tersedia 50 persen air untuk *runoff*, dan 50 persennya lagi akan ditambahkan untuk *runoff* bulan berikutnya.

Evapotranspirasi Potensial dan Evapotranspirasi Aktual

Evapotranspirasi adalah gabungan evaporasi, penguapan air melalui tanah, muka air bebas dan tanaman basah; dan transpirasi, yaitu penguapan air yang disebabkan proses metabolisme tanaman.

Evapotranspirasi potensial (PE) adalah potensi untuk terjadinya evaporasi dan transpirasi dalam kondisi iklim tertentu. PE dapat dihitung berdasarkan pendekatan empiris seperti yang dikemukakan beberapa ahli. Thornthwaite mendasarkan pada indeks panas untuk menghitung PE, Penman mendasarkan kelengasan udara, sedang Holdridge mendasarkan pada temperatur biologis.

Di bawah ini adalah rumus-rumus untuk mencari PE menurut Thornthwaite (Kinje, 1973):

$$PE = f \times PEc \quad (1)$$

$$i = (T/5)^{1,514} \quad (2)$$

$$PEc = 16(10 T/I)^a \quad (3)$$

$$I = i \quad (4)$$

$$a = 675 \cdot 10^{-9} \cdot I^3 - 77 \cdot 10^{-6} \cdot I^2 + 0,1792 I + 0,49239 \quad (5)$$

di mana,

- PE = Evapotranspirasi potensial (mm),
- PEc = Evapotranspirasi potensial mutlak,
- f = faktor koreksi berdasarkan letak lintang,
- i = indek panas bulanan,
- I = total indek panas selama 12 bulan,
- a = nilai tetapan berdasarkan nilai I,
- T = Temperatur bulanan rata-rata ($^{\circ}$ C).

Evapotranspirasi aktual (AE) diasumsikan sama dengan PE, hujan bulanan yang terjadi (P) lebih besar atau sama dengan PE. Tetapi bila P lebih kecil dari PE maka akan terjadi keadaan "*moisture deficit*", sehingga diperlukan tambahan kadar air dari persediaan yang ada dalam tanah. Banyaknya kadar air tambahan ini tergantung pada kondisi kelengasan tanah (*storage*), permeabilitas tanah, kedalaman air tanah dan titik layu tanaman. Besarnya AE dapat diukur di lapangan dengan menggunakan lysimeter, tetapi cara ini hanya dilakukan terbatas dalam percobaan-percobaan saja, karena hanya mencakup satuan luas yang kecil dan jenis tanaman tertentu pula.

Penentuan "Water Holding Capacity" (WHC)

Nilai WHC dapat diperoleh dari analisa laboratorium contoh-contoh tanah. Nilai ini tergantung pada jenis tanah (tekstur) dan kedalaman daerah perakaran tanaman.

Tanah yang diambil sebagai contoh harus cukup mewakili kondisi tanah daerah yang bersangkutan. Masing-masing contoh tanah tersebut dianalisis di laboratorium untuk mengetahui hidrolik konduktivitasnya. Berdasarkan data ini dapat dibuat grafik yang dinamakan pF-kurve, begitu pula diperlukan data penyebaran jenis tanaman, untuk menentukan klas perakaran. Untuk ini dapat digunakan peta penggunaan lahan.

Kedalaman daerah perakaran ditentukan berdasarkan jenis penggunaan lahan, untuk ini digunakan peta penggunaan lahan atau peta penyebaran jenis tanaman. Berdasarkan uji laboratorium dan atau data sekunder, didapatkan data titik layu (*wilting point*) dari jenis tanaman tertentu (misal titik layu suatu jenis tanaman = pF 4.2).

Pada Gambar 1 disajikan kurve pF suatu jenis tanah dan kemudian penentuan nilai WHC ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{WHC} &= (\text{kapasitas lapang-titik layu}) \times \text{kedalaman perakaran.} \\ \text{WHC} &= (36\% - 12\%) \times 70 \text{ cm} = 180 \text{ mm.} \end{aligned} \quad (6)$$

Nilai WHC ini berguna untuk menentukan kelengasan tanah, dengan menggunakan rumus (Meijerink, 1985b; Mock, 1973):

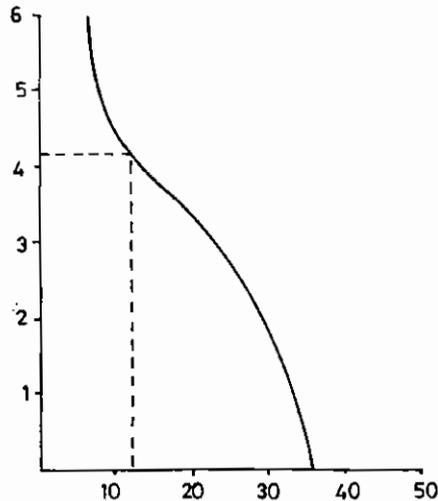
$$\text{SM} = \text{WHC} \cdot e^{-[\text{APWL}/\text{WHC}]} \quad (7)$$

di mana :

SM = kelengasan tanah

APWL = *accumulated potential water loss* (mm),

e = 2.718



Gambar 1. Kurve pF untuk Suatu Jenis Tanah

Grafik yang menggambarkan tersedianya kapasitas air (*available water capacity*) berdasarkan tekstur tanahnya dapat dilihat pada Gambar 2.

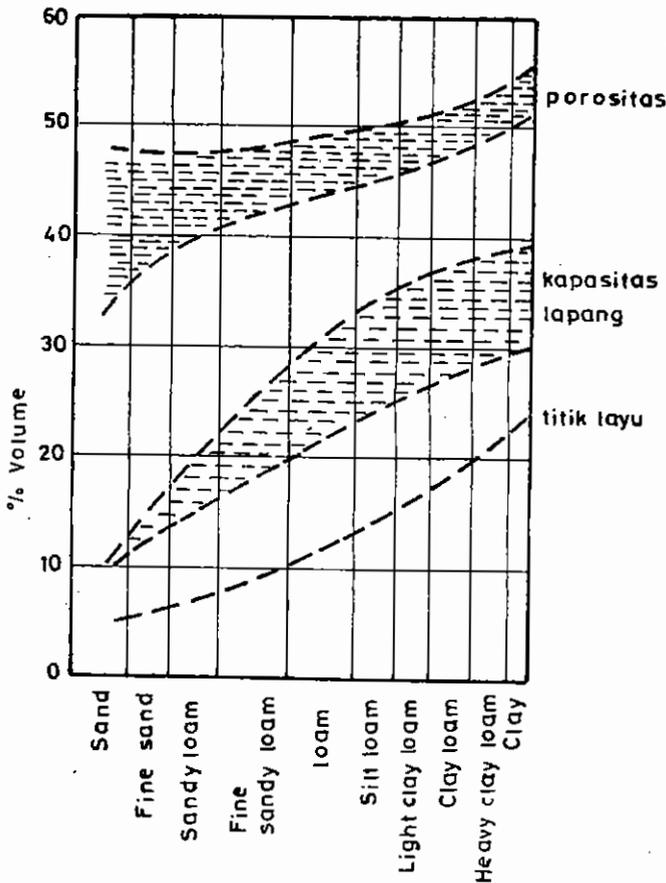
Penentuan "Runoff" Bulanan

Runoff bulanan lebih dominan dipengaruhi oleh keadaan tanah dan vegetasi. Pada tanah yang kelembabannya tinggi, tanaman dengan mudah menyerap air secara maksimum, yang berarti juga terjadi transpirasi lebih besar. Sebaliknya bila tanah dalam keadaan kurang lembab, tanaman pun sulit menyerap air, sehingga mengurangi transpirasi yang terjadi. Besarnya evaporasi dari permukaan tanah, sangat tergantung dari

kondisi tanah tersebut. Bila tanahnya cukup mampat, daya kapiler tanah menjadi tinggi, menyebabkan evaporasi menjadi besar; tetapi sebaliknya bila tanah dalam kondisi gembur, evaporasi akan berkurang pula (Meijerink, 1985a; Gregory, 1976).

Kondisi lain yang perlu diperhatikan adalah intensitas hujan. Selama tanah dalam keadaan tidak jenuh air, hujan yang jatuh sebagian akan terinfiltrasi.

Selain faktor di atas, karakteristik DAS seperti kondisi topografi, kondisi geologi, dan kerapatan sungai, sangat mempengaruhi besarnya *runoff* yang dihasilkan dalam DAS



Gambar 2. Ketersediaan Kapasitas Air untuk Beberapa Jenis Tanah Berdasarkan Teksturnya.

tersebut. DAS dengan topografi yang kasar dengan lapisan kedap air (*impermeable*) yang dominan akan menghasilkan *runoff* yang lebih besar bila dibandingkan dengan kondisi DAS yang berlawanan dengan keadaan di atas.

Dalam pendekatan Thornthwaite, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan:

1. banyaknya air hujan yang langsung menjadi *runoff* pada saat itu (pada bulan yang bersangkutan),
2. banyaknya air hujan yang terinfiltrasi, tetapi beberapa saat kemudian, masih dalam bulan yang sama muncul lagi sebagai *runoff*,
3. banyaknya air hujan yang terinfiltrasi dan perkolasi, yang kemudian muncul sebagai *runoff* pada bulan berikutnya.
4. banyaknya air hujan yang terinfiltrasi dan perkolasi, tidak akan muncul sebagai *runoff*.

Untuk menentukan besarnya masing-masing komponen *runoff* tersebut sangat sulit. Tetapi umumnya diasumsikan harga 50 persen dari air yang tersedia pada bulan bersangkutan akan menjadi *runoff* pada bulan berikutnya sehingga *runoff* bulan berikutnya adalah 50 persen dari *runoff* yang langsung terjadi pada bulan tersebut ditambah dengan 50 persen *runoff* yang berasal dari bulan sebelumnya. Terjadinya *runoff* dimulai pada bulan tertentu, dimana pada bulan ini besarnya *runoff* tidak mendapat tambahan sisa air yang seharusnya tersedia dari bulan sebelumnya.

PROGRAM WTRBLN1

Program WTRBLN1, adalah program untuk menghitung *runoff* bulanan menurut metode Thornthwaite dan Mather. Angka "1", menunjukkan jenis/versi program ini, yakni dalam penentuan *runoff* bulanan 50 persen. Sedang versi lainnya, tidak dibahas dalam tulisan ini, yang merupakan modifikasi dari metode Thornthwaite dan Mather. Agar lebih jelas, di bawah ini diberikan contoh perhitungan *runoff*.

Contoh Perhitungan Runoff

Pada daerah aliran sungai Bodri, Jawa Tengah ($7^{\circ} 11'$), dengan ketinggian rata-rata DAS = 540 m dpal, terdapat data hujan rata-rata bulanan dan data temperatur udara bulanan hasil pencatatan tahun 1973 - 1976 (Tabel 1) (Darmakusuma dkk., 1980).

Berdasarkan peta tanah dan peta penggunaan lahan, dapat dideliniasi unit-unit berdasar penyebaran jenis penggunaan lahan dan jenis tanah (yang dipentingkan penyebaran berdasarkan tekstur tanahnya). Dari data penggunaan lahan diperoleh kedalaman rata-rata zone perakaran, sedang dari data tekstur tanah diperoleh data kapasitas lapang dan titik layu, sehingga dari data-data tersebut di atas dapat ditentukan harga WHC rata-rata tertimbang dari beberapa unit dalam DAS bersangkutan. Sebagai contoh, hasil perhitungan, WHC untuk DAS Bodri = 300 mm.

TABEL 1. CURAH HUJAN RATA-RATA DAN TEMPERATUR UDARA BULANAN DAS BODRI,
TAHUN 1973-1986

Bulan	Temp ^{*)} (°C)	Hujan (mm)
Januari	26,4	357
Pebruari	26,6	378
Maret	26,3	462
April	27,4	322
Mei	27,6	301
Juni	27,4	93
Juli	27,1	90
Agustus	27,5	95
September	27,9	211
Oktober	28,0	264
Nopember	27,6	401
Desember	27,4	387

*) Tinggi tempat pengukuran temperatur = 2 m dpl.

Cara Menjalankan Program

Sebenarnya program ini dapat diubah-ubah sesuai keperluan, tetapi di sini akan dibahas prosedur untuk mempermudah pengerjaannya. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

- 1) Masukkan disket pada drive B. Disket ini berisi file-file;
 - WTRBLN1.EXE = merupakan program utama,
 - WTRBLN1.BAS = program dalam bahasa Basic,
 - WTRBLN.IND = file yang berisi faktor indek panas berdasarkan letak lintang,
 - WTRBLN.DAT = file berisi contoh untuk demonstrasi program ini,
 - WTRBLN.LIS = merupakan file yang berisi hasil perhitungan, dan file ini dapat diedit dengan menggunakan 'Word Processor'.
- 2) Run program WTRBLN1, kemudian berturut-turut akan muncul pertanyaan-pertanyaan sebagai berikut:
 - L1 Memasukkan data dengan KEYBOARD atau FILE, K/F ? Bila belum pernah menyimpan data, atau baru pertama kali menggunakan program ini, maka pilih K.
 - L2 Masukkan TEMPERATUR untuk bulan ke, masukkan temperatur bulan Januari, kemudian tekan <Enter> dan seterusnya sampai bulan Desember.

- L3 Masukkan Hujan untuk bulan ke, masukkan hujan bulan Januari, kemudian tekan <Enter> dan seterusnya sampai bulan Desember.
- L4 Apa Anda ingin memasukkan Data RUNOFF bulanan (pengamatan), Y/N ? Bila mempunyai data pengamatan *runoff*, jawab Y (ke L5). Data ini berfungsi sebagai pembandingan terhadap hasil pendekatan Thornthwaite. Bila tidak mempunyai data *runoff*, jawab N (kemudian L6).
- L5 *Runoff* hasil pengamatan untuk bulan ke ? masukkan *Runoff* bulan Januari, kemudian tekan <Enter> dan seterusnya sampai bulan Desember.
- L6 Anda ingin membetulkan data tersebut, Y/N ? Jika ternyata dalam memasukkan data-data terdapat kekeliruan, jawab Y, hal ini akan menghapus data yang telah dimasukkan, dan prosedur dimulai dari awal (L1).
- L7 Anda ingin menyimpan data tersebut pada disket, Y/N ? Jika Y, ke L8.
- L8 Tuliskan nama File baru ? sebaiknya nama file baru tidak sama dengan nama file yang telah ada dalam layar (*screen*).
- L9 Masukkan salah satu File Data di atas ? nama file yang akan dimasukkan adalah B:nama file.DAT, tekan <Enter>.
- L10 Lintang Selatan atau Utara, S/U ?; tuliskan S atau U, tekan <Enter>. Jika jawabnya S, kemudian L11. Jika jawabnya U, kemudian L12.
- L11 Masukkan letak lintang (LS) Derajat, Menit ? sesuai letak lintang DAS yang bersangkutan. Misal DAS Bodri terletak pada 7°11' LS, maka tuliskan 7,11.
- L12 Masukkan letak lintang (LU) Derajat, Menit ? seperti prosedur L11.
- L13 Masukkan tinggi tempat (m) pada Pengukuran Temp.? Pengukuran temperatur mungkin tidak pada DAS yang bersangkutan, tetapi data diambil dari tempat lain yang mempunyai ketinggian berbeda dengan ketinggian DAS.
- L14 Masukkan tinggi tempat (m) pada lokasi yang baru? Tinggi tempat baru, adalah ketinggian rata-rata DAS. Data ini berfungsi sebagai patokan untuk menyesuaikan nilai T berdasarkan pendekatan Mock.
- L15 Masukkan nilai '*water holding capacity*' (WHC) mm ?
- L16 Judul Tabel (baris pertama) ? isikan judul yang dikehendaki, bila tidak, tekan <Enter> maka judulnya "EVALUASI IMBANGAN AIR (THORNTHWAITE AND MATHER)".
- L17 Sub-Judul (baris kedua) ? isikan sub-judul yang dikehendaki, bila tidak, tekan <Enter> maka sub-judulnya adalah "*Long term average monthly water balance*".

Hasil Perhitungan

Hasil perhitungan *runoff* berdasar metode ini, berupa suatu tabel yang cukup lengkap. Hasilnya dapat dicetak, dan dapat pula disimpan dalam disket, yang memungkinkan untuk diedit dengan menggunakan '*Word Processor*'.

PENUTUP

Program komputer untuk evaluasi imbalanced air dengan metode Thornthwaite & Mather dalam tulisan ini cukup sederhana dan sangat bermanfaat serta praktis penggunaannya (Tabel 2). Efisiensi waktu sangat terasa sekali, dan dengan mudah dilakukan bila ingin mencoba-coba (*trial and error*) untuk mendapatkan harga yang lebih sesuai. Dalam hal ini tentunya harus ada data lain sebagai pembandingan, misalnya data hasil pengukuran.

TABEL 2. EVALUASI IMBANGAN AIR (THORNTHWAITE DAN MATHER) DAERAH ALIRAN SUNGAI BODRI JAWA TENGAH (1973/76) (7° 11' LS)

	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGU	SEP	OKT	NOP	DES	TOTAL
T	23.2	23.4	23.1	24.2	24.4	24.2	23.9	24.3	24.7	24.8	24.4	24.2	
P	357	378	462	322	301	93	90	95	211	264	401	387	3361
PE	94	86	92	105	110	107	104	111	110	115	106	104	1243
P-PE	263	292	370	217	191	-14	-14	-16	101	149	295	283	2118
APWL	0	0	0	0	0	-14	-28	-44	0	0	0	0	0
ST	300	300	300	300	300	287	273	259	300	300	300	300	
dST	0	0	0	0	0	-13	-13	-14	+41	0	0	0	
AE	94	86	92	105	110	106	103	109	110	115	106	104	1240
D	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	3
S	263	292	370	217	191	0	0	0	60	149	295	283	2121
RO	250	271	320	269	230	115	58	29	30	90	192	238	2092
RLO	319	230	314	271	227	107	72	58	93	130	196	27	2235

Water Holding Capacity (WHC) = 300mm, Runoff rata-rata bulanan = 50 persen dari tersedianya air untuk Runoff, perhitungan Runoff dimulai bulan ke 9.

KETERANGAN

- T = Temperatur udara rata-rata bulanan (C) pada ketinggian 540 m dpal.
 P = Hujan rata-rata bulanan
 PE = Evapotranspirasi Potensial bulanan
 P-PE = Hujan dikurangi Evapotranspirasi
 APWL = Akumulasi potensi air yang hilang (*Accumulated Potential Water Loss*)
 ST = Kelengasan tanah tersimpan (*Soil Moisture Storage*)
 dST = Perubahan kelengasan tanah (*Change in Soil Moisture*)
 AE = Evapotranspirasi aktual
 D = Kekurangan lengas tanah (*Moisture Deficit*)
 S = Kelebihan lengas tanah (*Moisture Surplus*)
 RO = *Runoff* bulanan (Thornthwaite-Mather)
 RLO = *Runoff* bulanan hasil pengamatan (Semua satuan dalam mm).

DAFTAR PUSTAKA

- Darmakusuma Darmanto, Soenarso Simoen, Sutanto BR, Suyono, 1980. *Studi Perbandingan Perkiraan Runoff dengan Metode Thornthwaite dan Mather dan Pengukuran Langsung di DAS Bodri, Kendal, Semarang*. Laporan Penelitian, Fakultas Geografi UGM, Yogyakarta.
- Gregory, K.J., and Walling, D.E., 1976. *Drainage Basin Form and Process, a Geomorphological Approach*. London : Edward Arnold,
- ITC 1983. *Water Balance of The Ao De Montija Catchment 1981-1982 and Some Related Subject*. Field Work Report, Geomorphology Department, ITC-Enschede, Nederland.
- Kjnje, J.W., 1973. *Determining Evapotranspiration, Drainage Principles and Applications*, Vol 3. Wageningen: Institute for Land and Water Management Research.
- Meijerink, A.M.J., 1985a. *Hydrological Method and Exercices*. Lecture Note, ITC-Enschede, Nederland.
- Meijerink, A.M.J., 1985b. *Soil-Rock-Water: Saturated and Unsaturated Flow*. Lecture Note, ITC-Enschede, Nederland.
- Mock, F.J., 1973. *Land Capability Appraisal Indonesia: Water Availability Appraisal*. Bogor: FAO-UNO.
- Selby, M.J., 1985. *Earth's Changing Surface, an Introduction to Geomorphology*. New York.: Oxford University Press,
- Smith G., Sicco, 1987. *Forest Hydrology : Influence of Vegetation on Runoff*. Lecture Note, ITC-Enschede, Nederland.