# PENERAPAN BEBERAPA MODEL EVAPOTRANSPIRASI DI DAERAH TROPIKA

(Studi Kasus di Sub DAS Ciriung, Cidanau Hulu)
Application of Some Evapotranspiration Models at Tropical Region

Slamet Suprayogi[1], Budi Indra Setiawan[2], Lilik Budi Prasetyo[2]

**_Abstract_**

*Potential evapotranspiration (ETp) can be calculated by ETp models using climatological parameters. Among them, the Penman model is most frequently used for ETp estimation. The Penman models requires five climatic parameters: temperature, relative humidity, wind, saturation vapor pressure, and net radiation. It also uses complicated unit conversions and lengthy calculation. There are a simple models such us: Jensen - Haise models, Hargreaves, Radiation, Turc's, and Makkink's model. These models that requires only two climatic parameters, temperature and incident radiation. The purpose of this study is to find the simplest and effective model among seven models (Penman models, Penman-Monteith, Jensen- Haise, Hargreaves, Radiation, Turc's, and Makkink's models). Such model will be found by comparing of those seven models of calculated ETp based on daily climatic data collected in one year using automatic weather station located at the Ciriung sub cachtment.The error indicators to evaluate the effectiveness of the ETp models are Root Mean Square Error (RMSE), Mean Average Error (MAE), and Logaritmic RMSE (LOG), and the determination coefficient ($R^2$). The result show that Turc model is the most effective along with Hargreaves and Jensen-Haise models.*

**Key words**: *Evapotranspiration models, Climatic parameters.*

[1] Mahasiswa Pascasarjana IPB
[2] )Staf pengajar Pascasarjana IPB

## PENDAHULUAN

Data evapotranspirasi suatu wilayah merupakan data yang penting untuk perencanaan pengembangan sumberdaya air dan pengaturan waktu irigasi pada wilayah tersebut. Menurut Handoko (1995) evapotranspirasi potensial (ETp) menggambarkan laju maksimum kehilangan air suatu pertanaman yang ditentukan oleh kondisi iklim pada keadaan penutupan tajuk tanaman pendek yang rapat dengan penyediaan air yang cukup.

Berbagai model evapotranspirasi yang dikaji dalam penelitian ini adalah Model Penman, Hargreaves, Jensen-Haise, Penman-Monteith, Radiasi, Turc, dan model Makkink. Model Penman dan Penman-Monteith relatif rumit, karena membutuhkan parameter iklim yang banyak dan konversi satuan yang komplek. Model Penman membutuhkan lima parameter iklim yaitu: suhu, kelembaban relatif (*relative humidity*), kecepatan angin, tekanan uap jenuh (*saturation vapor pressure*), dan radiasi netto ( Doorenbos dan Pruitt, 1977). Sedangkan Model Hargreaves, Jensen-Haise, Radiasi, Turc dan model Makkink merupakan model evapotranspirasi yang sederhana, dimana data yang dibutuhkan hanya dua parameter iklim yaitu suhu dan radiasi matahari (Capece *et al.*,2002).

Pada umumnya model evapotranspirasi dikaji berdasarkan data parameter iklim durasi tujuh hari, 10 hari, atau 30 hari. Wu (1997) mengkaji enam model evapotranspirasi dibandingkan dengan evapotranspirasi pengukuran langsung. Model evapotranspirasi yang dikaji adalah: model Penman, Penman Modifikasi, Jensen-Haise, Hargreaves, Kohler, dan model Taylor. Evaluasi efisiensi model dengan cara membandingkan data evapotranspirasi harian hasil pengukuran langsung dengan evapotranspirasi hasil perhitungan model. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa hubungan antara evapotranspirasi harian hasil pengukuran langsung dengan model kurang baik yakni nilai $R^2$ sekitar 0,64. Namun setelah dilakukan analisis rata-rata bergerak (*moving average*) 7 hari evapotranspirasi harian hasilnya lebih baik yakni nilai $R^2$ meningkat menjadi 0,90, dan analisis rata-rata bergerak 15 hari nilai $R^2$ meningkat menjadi 0,94.

Usman (1996) mengkaji tujuh model evapotranspirasi dibandingkan dengan evapotranspirasi hasil pengukuran panci klas A, pada tiga stasiun iklim yang berada di Jawa Barat yaitu stasiun Ciledug, Cimanggu, dan Margahayu. Model yang digunakan adalah model Thornthwaite, Blaney-Criddle, Hargreaves, Jensen-Haise, Prisestly-Taylor, Penman, dan model Penman-Monteith. Evapotranspirasi yang dianalisis adalah evapotranspirasi bulanan. Hasil yang didapatkan adalah:1) stasiun Cileduk nilai $R^2$ tertinggi adalah model Jensen-Haise ($R^2$= 0,64) dan terendah model Blaney-Criddle ($R^2$ = 0,26, 2) stasiun Cimanggu nilai nilai $R^2$ tertinggi adalah model Jensen-Haise ($R^2$= 0,70) 3) stasiun Margahayu nilai $R^2$ tertinggi adalah model Jensen-Haise ($R^2$= 0,40).

Tujuan penelitian adalah mengkaji tujuh model evapotranspirasi potensial untuk mendapatkan model yang efisien dan sederhana, yakni perhitungan mudah dan paling sedikit membutuhkan data parameter iklim.

## METODA PENELITIAN

### Bahan dan Alat

Penelitian ini dilakukan di Sub DAS Ciriung Kabupaten Serang, yang luasnya sekitar 118,01 ha. Penelitian dilakukan mulai Januari 2002 sampai April 2003. Alat yang digunakan penelitian adalah sebagai berikut: untuk pencatat suhu digunakan *logger Thermo recorder type* TR-71S, kelembaban relatif (RH) digunakan *logger Thermo recorder type* TR-72S. sedangkan radiasi matahari digunakan *logger Voltage recorder type* VR-71. Psikrometer (bola basah dan bola kering), serta komputer untuk analisis data. GPS dan peta topografi ( skala 1: 50.000) untuk menentukan bujur dan lintang stasiun.

Pemasangan *logger* untuk pengukuran kelembaban udara relatif (RH), dimulai bulan September 2002. Sedangkan data RH yang tidak terekam logger dihitung menggunakan data psikrometer bola basah dan bola kering. Data RH yang didapatkan dari logger adalah data RH selama delapan bulan (September 2002 – Aprill 2003), kemudian digunakan koreksi data RH hasil perhitungan. Data RH tahun 2002 hari ke 1 – 243 (Januari – Agustus) didapatkan dari data psikrometer yang dikoreksi dengan data RH logger, sedangkan data RH hari ke 244 – 365 ( September – Desember) didapatkan dari hasil rekaman logger.

**Model Evapotranspirasi**

Untuk menghitung evapotranspirasi potensial digunakan model-model berikut:

Model Penman ( Doorenbos dan Pruitt, 1977):

$$ETp = c\left[WxRn + (1-W)f(u)(ea-ed)\right] \quad (1)$$

*ETp* = Evapotranspirasi potensial (mm/hari).
*W* = Faktor pemberat yang berkaitan dengan suhu.
*Rn* = Radiasi netto ekivalen evaporasi (mm/hari).
*f(u)* = Fungsi yang berkaitan dengan angin.
*(ea-ed)* = Perbedaan antara tekanan uap jenuh pada suhu udara rata-rata dengan tekanan uap aktual rata-rata udara (mbar).
*c* = Faktor koreksi.

Model Hargreaves ( Wu, 1997):

$$ETp = 0{,}0135(T+17{,}78)Rs \quad (2)$$

*ETp* = Evapotranspirasi potensial (mm/hari).
*T* = Suhu rata-rata harian (°C) .
*Rs* = Radiasi surya ekivalen evaporasi (mm/hari).

Model Jensen-Haise (Jensen, 1981):

$$ETp = C_T(T-T_x)Rs \quad (3)$$

$$C_T = \frac{1}{C_1 + 7{,}3C_H} \quad (4)$$

$$C_H = \frac{50mb}{e_2 - e_1} \quad (5)$$

$$C_1 = 38 - \frac{2E}{305} \quad (6)$$

$$T_x = -2{,}5 - 0{,}14(e_2 - e_1) - \frac{E}{550} \quad (7)$$

*ETp* = Evapotranspirasi potensial (mm/hari).
*T* = Suhu rata-rata harian (°C).
*Rs* = Radiasi surya ekivalen evaporasi (mm/hari).
*E* = Elevasi stasiun (m).
$e_2$ = Tekanan uap jenuh dihitung berdasarkan suhu masimum harian (mb).
$e_1$ = Tekanan uap jenuh dihitung berdasarkan suhu minimum harian (mb).
*E* = Elevasi (m).

Untuk menghitung nilai e digunakan persamaan berikut (Jensen M.E, 1981):

$$e = 33{,}8639\left[(0{,}00738T + 0{,}8072)^8 - 0{,}000019\left|1{,}8T + 48\right| + 0{,}001316\right] \quad (8)$$

Model Radiasi (Doorenbos dan Pruitt, 1977):

$$ETp = c(W.Rs) \quad (9)$$

*ETp* = Evapotranspirasi potensial (mm/hari).
*W* = Faktor pemberat yang berkaitan dengan suhu.
*Rs* = Radiasi surya ekivalen evaporasi (mm/hari).

*c* = Faktor koreksi berkaitan dengan kelembaban dan kondisi angin.

Model Penman-Monteith (Capece *et al.*,2002):

$$ETp = \frac{\Delta(R_n - G)}{\lambda(\Delta + \gamma^*)} + \frac{\gamma^* M_w (e_a - e_d)}{R\Theta r_v (\Delta + \gamma^*)} \quad (10)$$

*ETp* = Evapotranspirasi potensial ($kg/m^2$ atau mm/detik).
*Rn* = Radiasi netto ($kW/m^2$).
$\Delta$ = Slope fungsi tekanan uap jenuh (Pa/°C).
*G* = Aliran bahang ke dalam tanah ($kW/m^2$).
$\gamma^*$ = Konstanta psychometric (Pa/°C).
$e_a$-$e_d$ = Defisit tekanan jenuh udara (kPa).
*Mw* = Massa molekul air (0.018 kg/mol).
*R* = Konstatanta gas ($8{,}31 \times 10^{-3}$ kJ/mol/K).
$\Theta$ = Suhu Kelvin (K).
*rv* = Tahanan kanopi (det/m).

Model Turc (Capece *et al.*,2002):

$$ETp = 0.013\left(\frac{T}{T+15}\right)(R_s + 50) \quad (11)$$

*ETp* = Evapotranspirasi mm/hari.
*T* = Suhu udara rata-rata (°C).
*Rs* = Radiasi surya (ly/hari).

Model Makkink (Capece *et al.*,2002):

$$ETP = 0.61\left(\frac{\Delta}{\Delta+\gamma}\right)\frac{R_s}{58{,}5} - 0{,}12 \quad (12)$$

*ETp* = Evapotranspirasi potensial (mm/hari).
$\Delta$ = Slope fungsi tekanan uap jenuh (mb/°C).
$\Delta$ = $33{,}8639[0{,}05904(0{,}00738T+0{,}8072)^7-0{,}0000342]$.
$\gamma$ = Konstan psychometrik (mb/°C).

Berikut ini (Tabel 1) disajikan parameter iklim yang diperlukan untuk perhitungan masing-masing model evapotranspirasi tersebut .

Tabel 1. Parameter iklim yang diperlukan masing-masing model

| No | Model | T | Rs | RH | u | Panjang hari | Faktor tanaman |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Penman | X | X | X | X | X | |
| 2 | Penman-Monteith | X | X | X | X | X | X |
| 3 | Jensen-Haise | X | X | | | | |
| 4 | Hargreaves | X | X | | | | |
| 5 | Radiasi | X | X | | | X | |
| 6 | Turc | X | X | | | | |
| 7 | Makkink | X | X | | | | |

**Kreteria Pengujian Model Evapotranspirasi**

Untuk mengkaji antar model digunakan tiga indikator kesalahan yaitu 1) *Root Mean Square Error* (*RMSE*), 2) *Mean Absolute Error* (*MAE*), dan 3) *Logaritmic RMSE* (*LOG*). Disamping itu untuk mengetahui hubungan antar model digunakan tolok ukur koefisien determinasi ($R^2$). Indikator-indikator tersebut dirumuskan sebagai berikut:

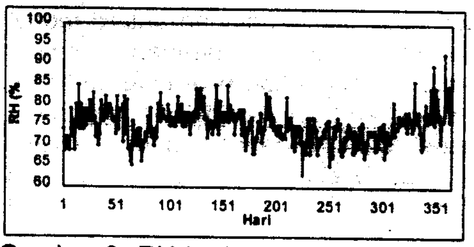
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(ETpai - ETpmi)^2} \quad (13)$$

$$MAE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}|ETpai - ETpmi| \quad (14)$$

$$LOG = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(\log ETpai - \log ETpmi)^2} \quad (15)$$

$$R^2 = 1 - \left[ \frac{\sum (ETpai - ETpmi)^2}{\sum (ETpai - ET\overline{pa})^2} \right] \quad (16)$$

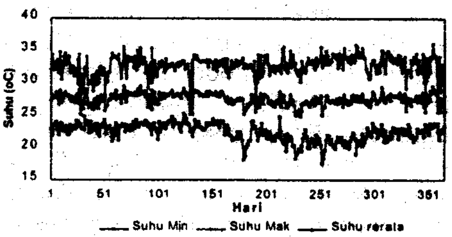
*ETpai* adalah evapotranspirasi potensial model sebagai acuan ke *i*, dan *ETpmi* adalah evapotranspirasi model lainnya ke *i*, dan $ET\ \overline{pa}$ adalah ETp rata-rata model sebagai acuan.



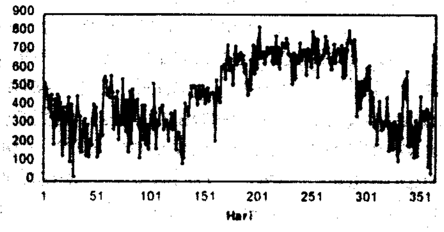

Gambar 3. RH harian sub DAS Ciriung tahun 2002

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pembacaan data logger suhu, diperoleh kisaran suhu minimum daerah penelitian antara 17,5 – 25,3 °C, kisaran suhu maksimum antara 26,8-36,1 °C, sedangkan kisaran suhu rerata antara 25,0 – 29,7 °C. Kurva suhu ber dasarkan hasil rekaman *logger* disajikan pada Gambar 1. Hasil pengukuran radiasi matahari mempunyai kisaran antara 25,0 – 832,5 ly/hari, hasil pengukuran selengkapnya disajikan pada Gambar 2. Kisaran nilai RH daerah penelitian adalah 63 – 93 %, data RH secara keseluruhan disajikan pada Gambar 3.




Gambar 1. Suhu harian sub DAS Ciriung tahun 2002




Gambar 2. Radiasi harian sub DAS Ciriung tahun 2002

Berdasarkan pembandingan antar model dengan indikator *RMSE* nilainya berkisar antara 0,3631 – 2,7087. Nilai *RMSE* terkecil ditunjukkan oleh pembandingan antara model Peman dengan model Turc yaitu sebesar 0,3631, sedanggkan nilai *RMSE* terbesar adalah hasil pembandingan antara model Radiasi dan model Makkink. Hasil perhitungan RMSE secara rinci disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai *Root Mean Square Error* (*RMSE*) antar model evapotranspirasi

| | RMSE | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Penman | J-H | Hargreaves | Pen-Mont | Radiasi | Turc | Makkink |
| Penman | 0 | 0.6924 | 0.4438 | 1.320 | 1.7210 | 0.3631 | 1.0089 |
| J-H | 0.6924 | 0 | 0.4369 | 0.840 | 1.2006 | 0.9776 | 1.6286 |
| Hargreaves | 0.4438 | 0.4369 | 0 | 0.903 | 1.3036 | 0.6858 | 1.4079 |
| Pen-Mont | 1.3201 | 0.8402 | 0.9034 | 0 | 0.4101 | 1.5762 | 2.3032 |
| Radiasi | 1.7210 | 1.2006 | 1.3036 | 0.4101 | 0 | 1.9778 | 2.7087 |
| Turc | 0.3631 | 0.9778 | 0.6858 | 1.5762 | 1.9778 | 0 | 0.7641 |
| Makkink | 1.0089 | 1.6286 | 1.4079 | 2.3032 | 2.7087 | 0.7641 | 0 |

Keterangan: J-H = Jensen-Haise, Pen-Mont = Penman-Monteith

Pembandingan antar model berdasarkan indikator *MAE* nilainya berkisar antara 0,2937 – 2,5309. Nilai *MAE* terkecil ditunjukkan oleh hasil pembandingan antara model Penman dengan model Turc, sedangkan nilai MAE terbesar ditunjukkan hasil pembandingan antara model Makkink dengan model Radiasi. Pembandingan antar model berdasarkan indikator *LOG* nilainya berkisar antara 0,0286 –

0,2391. Nilai *LOG* terkecil ditunjukkan oleh hasil pembandingan antara model Penman-Monteith dengan model Radiasi, sedangkan nilai LOG terbesar ditunjukkan hasil pembandingan antara model Makkink dengan model Radiasi. Secara keseluruhan hasil perhitungan MAE dan *LOG* disajikan pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Nilai *Mean Average Error* (*MAE*) antar model evapotranspirasi

| | *MAE* | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Penman | J-H | Hargreaves | Pen-Mont | Radiasi | Turc | Makkink |
| Penman | 0 | 0.5515 | 0.4031 | 1.2226 | 1.6047 | 0.2937 | 0.9274 |
| J-H | 0.5515 | 0 | 0.3216 | 0.7328 | 1.1102 | 0.7650 | 1.4268 |
| Hargreaves | 0.4031 | 0.3216 | 0 | 0.8233 | 1.2054 | 0.5869 | 1.3265 |
| Pen-Mont | 1.2226 | 0.7328 | 0.8233 | 0 | 0.3821 | 1.3932 | 2.1488 |
| Radiasi | 1.6047 | 1.1102 | 1.2054 | 0.3821 | 0 | 1.7747 | 2.5309 |
| Turc | 0.2937 | 0.7650 | 0.5869 | 1.3932 | 1.7747 | 0 | 0.7592 |
| Makkink | 0.9274 | 1.4268 | 1.3265 | 2.1488 | 2.5309 | 0.7592 | 0 |

Keterangan: J-H = Jensen-Haise, Pen-Mont = Penman-Monteith

Tabel 4. Nilai *Logaritmic RMSE* (*LOG*) antar model evapotranspirasi

| | LOG | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Penman | J-H | Hargreaves | Pen-Mont | Radiasi | Turc | Makkink |
| Penman | 0 | 0.0601 | 0.0597 | 0.1165 | 0.1433 | 0.0682 | 0.1039 |
| J-H | 0.0601 | 0 | 0.0480 | 0.0859 | 0.1094 | 0.0830 | 0.1466 |
| Hargreaves | 0.0597 | 0.0480 | 0 | 0.0683 | 0.0959 | 0.0546 | 0.1483 |
| Pen-Mont | 0.1165 | 0.0859 | 0.0683 | 0 | 0.0286 | 0.1160 | 0.2111 |
| Radiasi | 0.1433 | 0.1094 | 0.0959 | 0.0286 | 0 | 0.1431 | 0.2391 |
| Turc | 0.0682 | 0.0830 | 0.0546 | 0.1160 | 0.1431 | 0 | 0.1178 |
| Makkink | 0.1039 | 0.1466 | 0.1483 | 0.2111 | 0.2391 | 0.1178 | 0 |

Keterangan: J-H = Jensen-Haise, Pen-Mont = Penman-Monteith

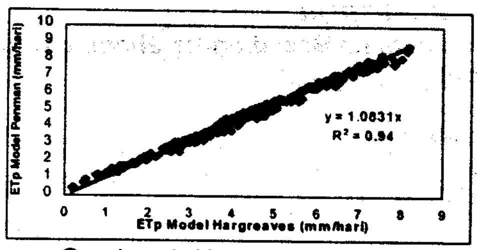
Hasil perhitungan koefisien determinasi ($R^2$) antar model didapatkan hasil yang bervariasi yaitu antara 0,0017 – 0,9683. Nilai $R^2$ terkecil ditunjukkan antara model Penman-Monteith dengan Makkink, sedangkan nilai $R^2$ terbesar ditunjukkan antara model Penman-Monteith dengan model Radiasi. Hasil perhitungan $R^2$ secara keseluruhan disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai $R^2$ antar model evapotranspirasi

| | $R^2$ | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Penman | J-H | Hargreaves | Pen-Mont | Radiasi | Turc | Makkink |
| Penman | 0 | 0.8599 | 0.9425 | 0.4913 | 0.1355 | 0.9615 | 0.7030 |
| J - H | 0.8599 | 0 | 0.9610 | 0.8558 | 0.7055 | 0.8048 | 0.4582 |
| Hargreaves | 0.9425 | 0.9610 | 0 | 0.7848 | 0.5518 | 0.8760 | 0.4772 |
| Pen-Mont | 0.4913 | 0.8558 | 0.7848 | 0 | 0.9683 | 0.5325 | 0.0017 |
| Radiasi | 0.1355 | 0.7055 | 0.5518 | 0.9683 | 0 | 0.3554 | 0.2090 |
| Turc | 0.9615 | 0.8048 | 0.8760 | 0.5325 | 0.3554 | 0 | 0.7612 |
| Makkink | 0.7030 | 0.4582 | 0.4772 | 0.0017 | 0.2090 | 0.7612 | 0 |

Keterangan: J-H = Jensen-Haise, Pen-Mont = Penman-Monteith

Berdasarkan tiga indikator kesalahan yaitu *RMSE*, *MAE*, dan *LOG* terdapat empat model yang mempunyai nilai-nilai indikator kesalahan yang relatif kecil. Model tersebut adalah: model Penman, Jensen-Haise, Hargreaves, dan model Turc. Model Penman dengan model Jensen-Haise (*RMSE* = 0,6924, *MAE* = 0,5515, *LOG* = 0,0601), Penman dengan Hargreaves (*RMSE* = 0,44, *MAE* = 0,4031, *LOG* = 0,0597), dan model Penman dengan modelTurc (*RMSE* = 0,3631, *MAE* = 0, 2937). Disamping mempunyai nilai-nilai indikator kesalahan yang kecil, keempat model tersebut mempunyai nilai $R^2$ yang cukup besar. Model Penman dengan model Jensen-Haise nilai $R^2$ = 0,8599, Penman dengan Hargreaves $R^2$ = 0,9425, dan model Penman dengan model Turc $R^2$ = 0,9615. Nilai-nilai indikator kesalahan relatif kecil dan nilai $R^2$ yang cukup besar menunjukkan bahwa empat model tersebut mempunyai hasil yang hampir sama untuk menduga evapotranspirasi potensial di sub DAS Ciriung. Dengan demikian untuk menduga evapotranspirasi potensial di sub DAS Ciriung dapat digunakan model-model sederhana yang hanya membutuhkan dua pameter iklim yaitu temperatur dan radiasi matahari. Hubungan antara model Penman dengan salah satu model sederhana disajikan pada Gambar 4.




Gambar 4. Kurva hubungan antara Model Penman dengan Hargreaves

**KESIMPULAN**

Model evapotranspirasi sederhana yang hanya membutuhkan dua parameter iklim yaitu temperatur udara dan radiasi matahari, dapat untuk menduga evapotranspirasi di sub Das Ciriung. Ketelitian model sederhana tersebut setara dengan model Penman yang banyak membutuhkan parameter iklim dan perhitungan rumit serta konversi satuan yang komplek. Sesuai dengan kriteria efektivitas, urutan model yang paling efektif diterapkan di sub DAS Ciriung adalah model Turc, Hargreaves, dan model Jensen-Haise.

**UCAPAN TERIMA KASIH**

Penelitian ini dapat dilaksanakan atas bantuan fasilitas-fasilitas dari kerjasama antara University of Tokyo dengan Institut Pertanian Bogor (Research Unit For Biological Resources and Development, RUBRD-UT/IPB).

**PUSTAKA**

Doorenbos J and Pruitt W.O. 1977. Guideline fo Predicting Crop Water Requirement. FAO.Rome. 144 p

Capece J.C, Catteneo D, Lim Y.S, Rodriguez E.E, Upham L, Campbel K.L.2002. Comparison of Evapotranspiration Estimation Methods. http://www.SouthernDataStream.com. [12 Mei 2003]:35 p

Handoko . editor. 1995. Klimatologi Dasar. Pustaka Jaya. Jakarta. 192 p

Jensen M.E. editor. 1981. Design and Operation of Farm Irrigation System. American Society of Agricultural Engineers. Michigan. 826 p

Usman. 1996.Analisis Kepekaan Beberapa Metode Pendugaan Evapotranspirasi Potential Terhadap Perubahan Iklim. Tesis S2 PPS IPB.Bogor. 85 p

Wu.I.P. 1997. A Simple Evapotranspiration Model for Haeai: The Hargreaves Model. CTAHR Sheet Engeineer's Notebook no.16 May 1997