

## IV. EVAPOTRANSPIRASI

---

### Sasaran Pembelajaran/Kompetensi:

1. Mahasiswa mampu menjelaskan proses evapotranspirasi
2. Mahasiswa mampu menjelaskan parameter evapotranspirasi
3. Mahasiswa mampu melakukan perhitungan evapotranspirasi potensial (Penmann) dengan benar
4. Mahasiswa mampu melakukan perhitungan evapotranspirasi aktual (Penmann) dengan benar

### 4.1 Pendahuluan

Evapotranspirasi adalah perpaduan dua proses yakni evaporasi dan transpirasi. Evaporasi adalah proses penguapan atau hilangnya air dari tanah dan badan-badan air (abiotik), sedangkan transpirasi adalah proses keluarnya air dari tanaman (biotik) akibat proses respirasi dan fotosintesis.

Kombinasi dua proses yang saling terpisah dimana kehilangan air dari permukaan tanah melalui proses evaporasi dan kehilangan air dari tanaman melalui proses transpirasi disebut sebagai evapotranspirasi (ET).

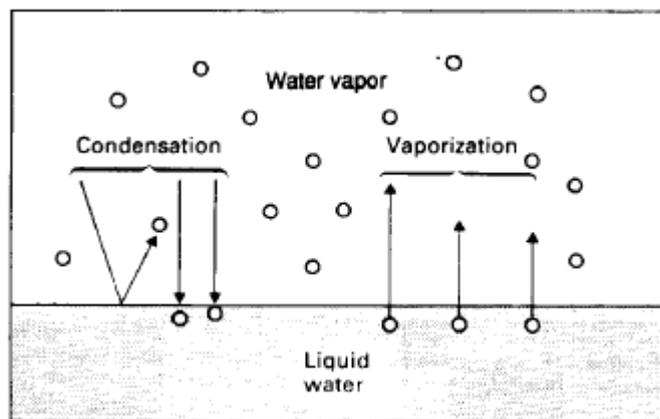
Proses hilangnya air akibat evapotranspirasi merupakan salah satu komponen penting dalam hidrologi karena proses tersebut dapat mengurangi simpanan air dalam badan-badan air, tanah, dan tanaman. Untuk kepentingan sumber daya air, data ini untuk menghitung kesetimbangan air dan lebih khusus untuk keperluan penentuan kebutuhan air bagi tanaman (pertanian) dalam periode pertumbuhan atau periode produksi. Oleh karena itu data evapotranspirasi sangat dibutuhkan untuk tujuan irigasi atau pemberian air, perencanaan irigasi atau untuk konservasi air.

Evapotranspirasi ditentukan oleh banyak faktor yakni:

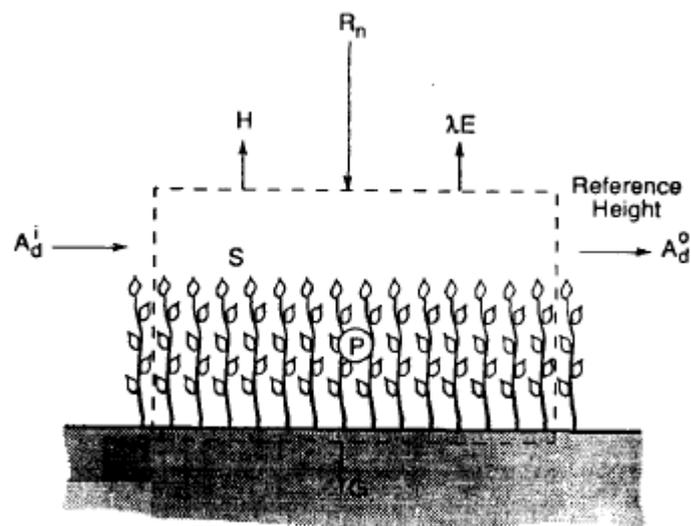
- a. Radiasi surya ( $R_d$ ): Komponen sumber energi dalam memanaskan badan-badan air, tanah dan tanaman. Radiasi potensial sangat ditentukan oleh posisi geografis lokasi,

- b. Kecepatan angin ( $v$ ): Angin merupakan faktor yang menyebabkan terdistribusinya air yang telah diuapkan ke atmosfer, sehingga proses penguapan dapat berlangsung terus sebelum terjadinya keejenuhan kandungan uap di udara,
- c. Kelembaban relatif (RH): Parameter iklim ini memegang peranan karena udara memiliki kemampuan untuk menyerap air sesuai kondisinya termasuk temperatur udara dan tekanan udara atmosfer
- d. Temperatur: Suhu merupakan komponen tak terpisahkan dari RH dan Radiasi. Suhu ini dapat berupa suhu badan air, tanah, dan tanaman ataupun juga suhu atmosfer.

Proses terjadinya evaporasi dan transpirasi pada dasarnya akibat adanya energi yang disuplai oleh matahari baik yang diterima oleh air, tanah dan tanaman. Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 merupakan ilustrasi proses penyerapan energi yang menyebabkan evaporasi dan transpirasi.



Gambar 4.1 Proses penguapan air dari badan air



Gambar 4.2 Komponen kesetimbangan energi pada tanaman

## 4.2 Evaporasi

Evaporasi adalah proses dimana air dalam bentuk cair dikonversi menjadi uap air (*vaporization*) dan dipindahkan dari permukaan penguapan (*vapour removal*). Air dapat berevaporasi dari berbagai permukaan seperti danau, sungai, tanah dan vegetasi hijau.

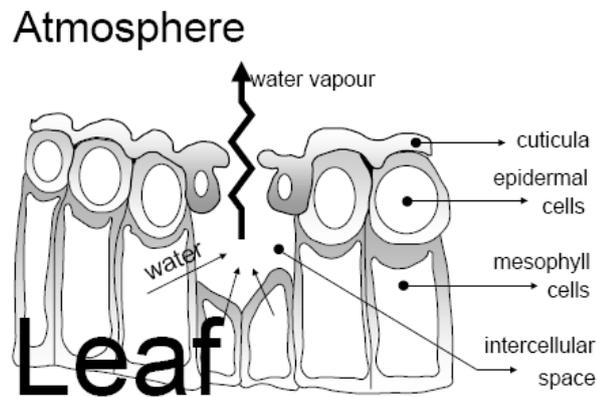
Energi dibutuhkan untuk merubah bentuk molekul air dari fase cair ke fase uap. Radiasi matahari langsung dan faktor lingkungan yang mempengaruhi suhu udara merupakan sumber energi. Gaya penggerak untuk memindahkan uap air dari permukaan penguapan adalah perbedaan tekanan antara uap air di permukaan penguapan dan tekanan udara atmosfer. Selama berlangsungnya proses, udara sekitar menjadi jenuh secara perlahan dan selanjutnya proses akan melambat dan kemungkinan akan berhenti jika udara basah tidak dipindahkan ke atmosfer. Pergantian udara jenuh dengan udara kering sangat tergantung pada kecepatan angin. Oleh karena itu, radiasi surya, temperature udara, kelembaban udara dan kecepatan angin merupakan parameter iklim yang dipertimbangkan dalam penentuan proses evaporasi.

Jika permukaan penguapan adalah permukaan tanah, maka tingkat penutupan tanaman pelindung (*crop canopy*) dan jumlah air tersedia pada permukaan penguapan juga menjadi faktor yang mempengaruhi proses evaporasi. Kejadian hujan, irigasi dan gerakan vertikal air dalam tanah dari muka air tanah dangkal merupakan sumber pembasahan permukaan tanah. Jika tanah dapat menyuplai air dengan cepat yang memenuhi kebutuhan evaporasi, maka evaporasi dari tanah ditentukan hanya oleh kondisi meteorologi. Akan tetapi, bila interval antara hujan dan irigasi cukup lama dan kemampuan tanah mengalirkan lengas ke dekat permukaan tanah kecil, maka kandungan air di lapisan *topsoil* menurun dan menyebabkan permukaan tanah menjadi kering. Pada lingkungan dimana air terbatas, maka jumlah air tersedia menjadi faktor pembatas. Berkurangnya suplai air ke permukaan tanah menyebabkan evaporasi menurun drastis. Proses ini mungkin akan terjadi dalam beberapa hari.

## 4.3 Transpirasi

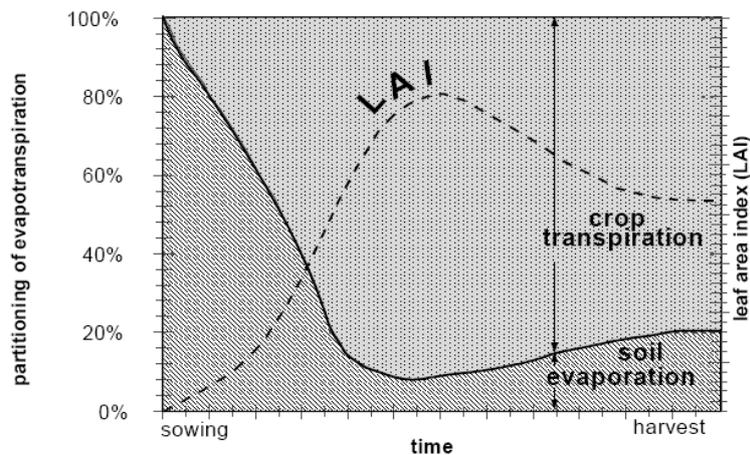
Proses transpirasi meliputi penguapan cairan (air) yang terkandung pada jaringan tanaman dan pemindahan uap ke atmosfer. Tanaman umumnya kehilangan air melalui *stomata*. Stomata merupakan saluran terbuka pada permukaan daun tanaman melalui proses penguapan dan perubahan wujud menjadi gas seperti disajikan pada Gambar

4.3. Air bersama beberapa nutrisi lain diserap oleh akardan ditransportasikan ke seluruh tanaman. Proses penguapan terjadi dalam daun, yang disebut ruang *intercellular*, dan pertukaran uap ke atmosfir dikontrol oleh celah stomata (*stomatal aperture*). Hampir semua air yang diserap oleh akar keluar melalui proses transpirasi dan hanya sebahagian kecil saja yang digunakan dalam tanaman.



Gambar 4.3 Skema stomata pada daun tanaman

Transpirasi seperti evaporasi langsung tergantung pada suplai energi, tekan uap air dan angin. Kandungan lengas tanah dan kemampuan tanah melewatkan air ke akar juga menentukan laju transpirasi, termasuk genangan air dan salinitas air tanah. Laju transpirasi juga dipengaruhi oleh karakteristik tanaman, aspek lingkungan dan praktek pengolahan dan pengelolaan lahan. Perbedaan jenis tanaman akan memberikan laju transpirasi yang berbeda. Bukan hanya tipe tanaman saja, tetapi juga pertumbuhan tanaman, lingkungan dan manajemen harus dipertimbangkan dalam penentuan transpirasi.



Gambar 4.4 Fraksi evaporasi dan transpirasi pada proses evapotranspirasi

#### 4.4 Evapotranspirasi Tanaman

Evapotranspirasi tanaman (ETc) adalah perpaduan dua istilah yakni evaporasi dan transpirasi. Kebutuhan air dapat diketahui berdasarkan kebutuhan air dari suatu tanaman. Apabila kebutuhan air suatu tanaman diketahui, kebutuhan air yang lebih besar dapat dihitung (Hansen dkk., 1986). Evaporasi yaitu penguapan di atas permukaan tanah, sedangkan transpirasi yaitu penguapan melalui permukaan dari air yang semula diserap oleh tanaman. Atau dengan kata lain, evapotranspirasi adalah banyaknya air yang menguap dari lahan dan tanaman dalam suatu petakan karena panas matahari (Asdak, 1995).

Faktor-faktor yang mempengaruhi evaporasi adalah suhu air, suhu udara (atmosfir), kelembaban, kecepatan angin, tekanan udara, sinar matahari. Pada waktu pengukuran evaporasi, kondisi/keadaan iklim ketika itu harus diperhatikan, mengingat faktor itu Sangat dipengaruhi oleh perubahan lingkungan (Sosrodarsono dan Takeda, 1983).

Transpirasi pada dasarnya merupakan proses dimana air menguap dari tanaman melalui daun ke atmosfer. Sistem perakaran tanaman mengadopsi air dalam jumlah yang berbeda-beda dan ditransmisikan melalui tumbuhan dan melalui mulut daun (Viesman dkk., 1972).

Menurut Sri Harto (1993), ada dua bentuk transpirasi yaitu :

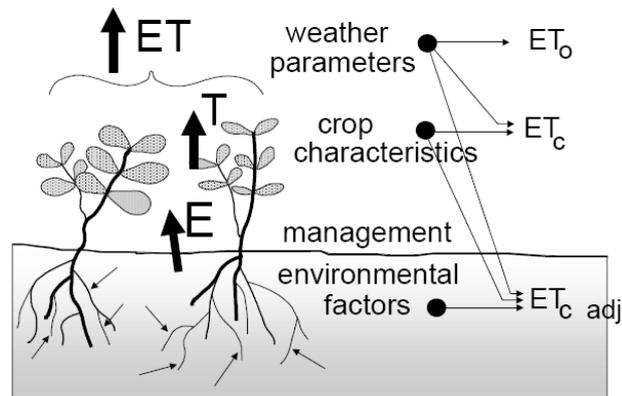
- a. Transpirasi stomata, dimana air lepas melalui pori-pori pada stomata daun
- b. Transpirasi kutikular, dimana air menguap dari permukaan daun ke atmosfer melalui kutikula.

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses transpirasi adalah suhu, kecepatan angin, kelembaban tanah, sinar matahari, gradien tekanan uap. Juga dipengaruhi oleh faktor karakteristik tanaman dan kerapatan tanaman (Kartasapoetra dan Sutedjo, 1994).

Evapotranspirasi (ETc) adalah proses dimana air berpindah dari permukaan bumi ke atmosfer termasuk evaporasi air dari tanah dan transpirasi dari tanaman melalui jaringan tanaman melalui transfer panas laten persatuan area (Hillel, 1983).

Ada 3 faktor yang mendukung kecepatan evapotranspirasi yaitu (1) faktor iklim mikro, mencakup radiasi netto, suhu, kelembaban dan angin, (2) faktor tanaman, mencakup jenis tanaman, derajat penutupannya, struktur tanaman, stadia perkembangan sampai masak, keteraturan dan banyaknya stomata, mekanisme

menutup dan membukanya stomata, (3) faktor tanah, mencakup kondisi tanah, aerasi tanah, potensial air tanah dan kecepatan air tanah bergerak ke akar tanaman (Linsley dkk., 1979).



Gambar 4.5 Skema faktor penentu evapotranspirasi

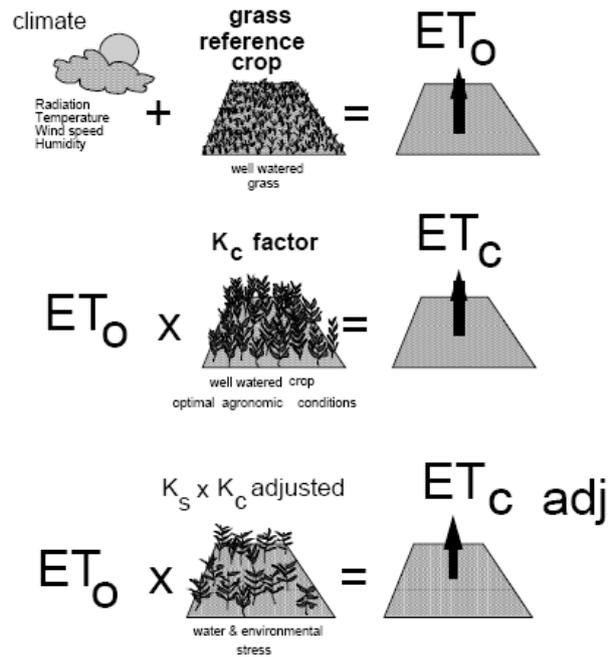
Doonrenbos dan Pruitt (1977), menjelaskan bahwa untuk menghitung kebutuhan air tanaman berupa evapotranspirasi dipergunakan persamaan:

$$ET_c = K_c \times ET_0 \dots\dots\dots (4.1)$$

Keterangan:

- $ET_c$  = evapotranspirasi potensial (mm/hari)
- $ET_0$  = evapotranspirasi acuan (mm/hari)
- $K_c$  = koefisien konsumtif tanaman

Koefisien konsumtif tanaman ( $K_c$ ) didefinisikan sebagai perbandingan antara besarnya evapotranspirasi potensial dengan evaporasi acuan tanaman pada kondisi pertumbuhan tanaman yang tidak terganggu. Dalam hubungannya dengan pertumbuhan dan perhitungan evapotranspirasi acuan tanaman ( $ET_0$ ), maka dimasukkan nilai  $K_c$  yang nilainya tergantung pada musim, serta tingkat pertumbuhan tanaman (Allen, et al., 1998).



Gambar 4.6 Skema perhitungan evapotranspirasi aktual

Nilai koefisien tanaman dibagi atas empat fase pertumbuhan, yaitu :  $K_c$  initial ( $K_c$  in),  $K_c$  development ( $K_c$  dev),  $K_c$  middle ( $K_c$  mid), dan  $K_c$  end.  $K_c$  in merupakan fase awal pertumbuhan tanaman selama kurang lebih dua minggu, sedangkan  $K_c$  dev adalah koefisien tanaman untuk masa perkembangan (masa antara fase initial dan middle).  $K_c$  mid merupakan  $K_c$  untuk masa pertumbuhan dan perkembangan termasuk persiapan dalam masa pematangan.  $K_c$  end merupakan  $K_c$  untuk pertumbuhan akhir tanaman dimana tanaman tersebut tidak berproduksi lagi.

Tabel 4.1. Koefisien Tanaman ( $K_c$ ) Padi Menurut Nedeco/Prosida dan FAO

Bulan	Nedeco/Prosida		FAO	
	Varietas biasa	Varietas unggul	Varietas biasa	Varietas unggul
0,5	1,20	1,35	1,10	1,10
1,0	1,20	1,30	1,10	1,10
1,5	1,20	1,24	1,10	1,05
2,0	1,27	0	1,10	1,05
2,5	1,32	1,12	1,10	0,95
3,0	1,33	0	1,05	0
3,5	1,40		0,95	
4,0	1,30		0	

Sumber : Standar Perencanaan Irigasi, 1986

Vermeiren dan Jobling (1980), mengemukakan beberapa cara untuk menghitung Kc (Koefisien tanaman) sesuai tingkat pertumbuhan tanaman adalah:

a. Koefisien tanaman untuk awal pertumbuhan tanaman (Kc ini)

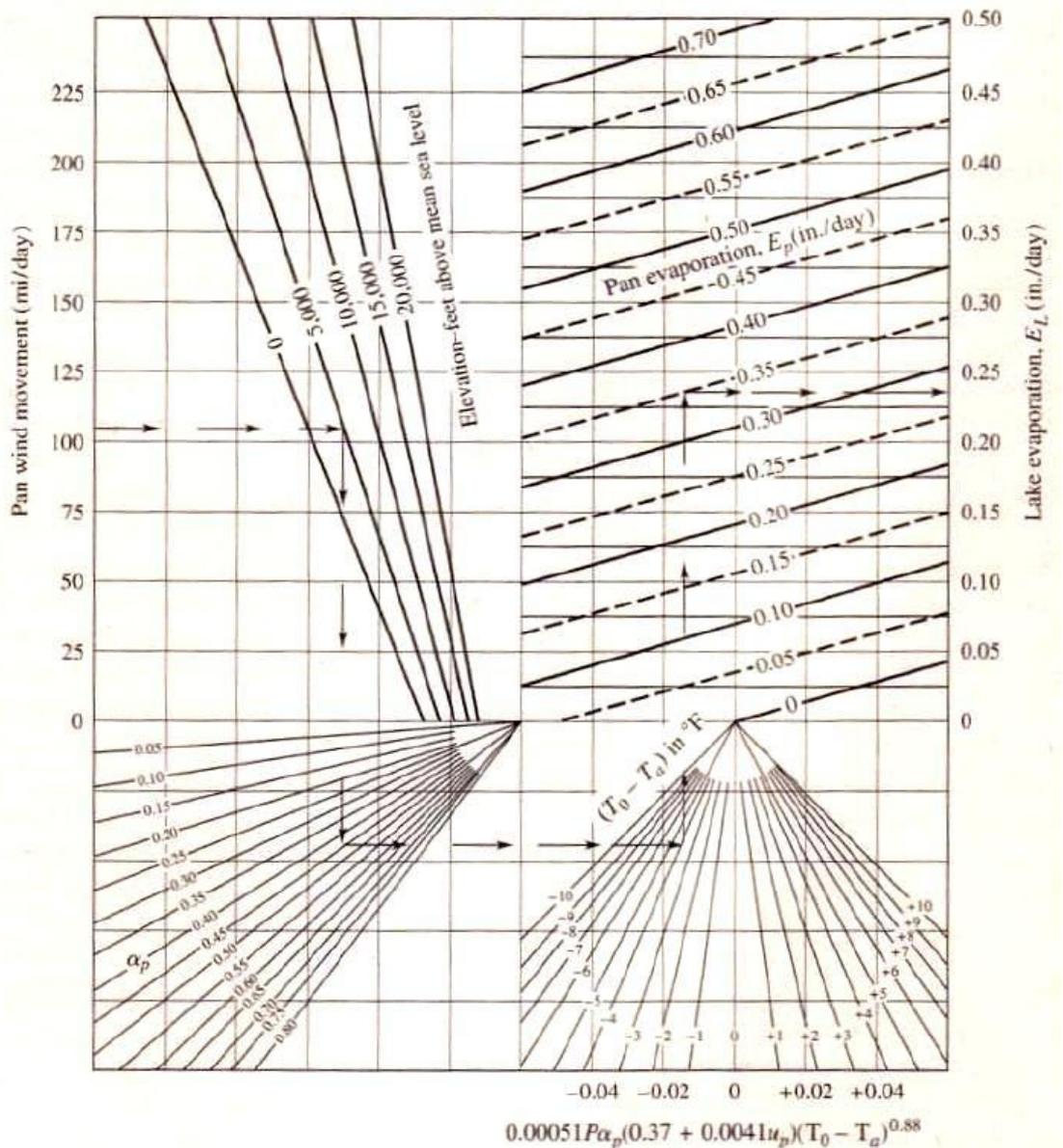
$$Kc \text{ ini} = Kc \text{ ini} (A^1) + \frac{(-10)}{(40-10)} [Kc \text{ ini}(B^1) - Kc \text{ ini}(A^1)] \dots\dots\dots (4.2)$$

Keterangan:

Kc ini (A<sup>1</sup>) : Koefisien tanaman (Diambil dari grafik)

Kc ini (B<sup>1</sup>) : Koefisien tanaman (Diambil dari grafik)

I : Laju infiltrasi pada sebelum penanaman (cm/jam)



Gambar 4.7 Penentuan Evaporasi dengan Grafik

b. Koefisien tanaman untuk fase menengah pertumbuhan tanaman ( $K_c$  mid)

$$K_c \text{ mid} = K_c \text{ mid} + [0,04(U_2 - 2) - 0,004 (RH_{\min} - 45)] (h/3)^{0,3} \dots\dots\dots (4.3)$$

Keterangan:

$K_c$  mid : Koefisien tanaman (Diambil dari tabel)

$U_2$  : Kecepatan angin sebelum tanam (m/s)

$RH_{\min}$  : Kelembaban relatif sebelum tanam (%)

$h$  : Tinggi tanaman pada tahap pertengahan (m)

c. Koefisien tanaman untuk fase akhir pertumbuhan tanaman

$$K_c \text{ end} = K_c \text{ end} + [0,04(U_2 - 2) - 0,004 (RH_{\min} - 45)] (h/3)^{0,3} \dots\dots\dots (4.4)$$

Keterangan:

$K_c$  end : Koefisien tanaman (Diambil dari tabel)

$U_2$  : Kecepatan angin sebelum tanam (m/s)

$Rh_{\min}$  : Kelembaban udara minimal (%)

$h$  : Tinggi tanaman pada tahap akhir (m)

#### 4.5 Evapotranspirasi Acuan ( $E_{To}$ )

Evapotranspirasi acuan ( $E_{To}$ ) adalah nilai evapotranspirasi tanaman rumput-rumputan yang terhampar menutupi tanah dengan ketinggian 8 – 15 cm, tumbuh secara aktif dengan cukup air, untuk menghitung evapotranspirasi acuan ( $E_{To}$ ) dapat digunakan beberapa metode yaitu (1) metode Penman, (2) metode panci evaporasi, (3) metode radiasi, (4) metode Blaney Criddle dan (5) metode Penman modifikasi FAO (Sosrodarsono dan Takeda, 1983).

Menduga besarnya evapotranspirasi tanaman (Handayani, 1992), ada beberapa tahap harus dilakukan, yaitu menduga evapotranspirasi acuan; menentukan koefisien tanaman kemudian memperhatikan kondisi lingkungan setempat; seperti variasi iklim setiap saat, ketinggian tempat, luas lahan, air tanah tersedia, salinitas, metode irigasi, dan budidaya pertanian. Beberapa metode pendugaan evapotranspirasi acuan :

a. Metode Blaney – Criddle

$$E_{To} = c [P ( 0,46 T + 8)] \dots\dots\dots (4.5)$$

Keterangan:

$c$  = Koefisien Tanaman Bulanan

$p$  = Presentase Bulanan jam-jam Hari Terang dalam Tahun

$T$  = Suhu Udara ( $^{\circ}C$ )

b. Metode Thornthwaite

$$ET_o = 1,6 [(10 T/I)]^a \dots\dots\dots (4.6)$$

$$a = 0,49 + 0,0179 I - 0,0000771 I^2 + 0,000000675 I^3$$

Keterangan:

T = Suhu Rata-rata Bulanan (<sup>0</sup>C)

I = Indeks Panas Tahunan

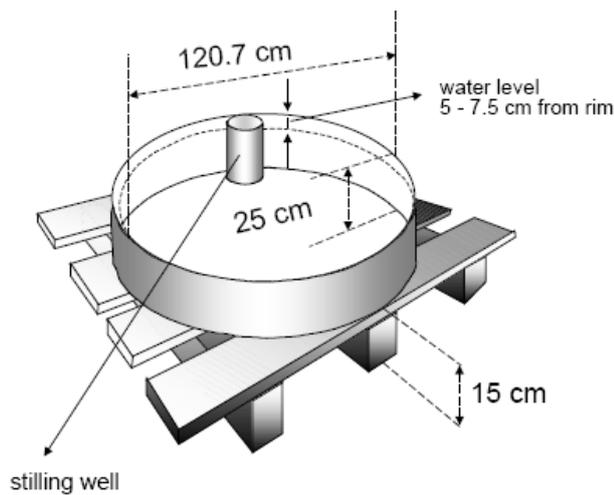
c. Metode Pan Evaporasi

$$ET_o = K_p \times E_p \dots\dots\dots (4.7)$$

Keterangan:

K<sub>p</sub> = Koefisien Panci

E<sub>p</sub> = Evaporasi Panci (mm/hari)



Gambar 4.8 Panci Evaporasi Kelas A

d. Metode Penman

$$ET_o = c (W R_n + (1 - W) f(u) (e_a - e_d) ) \dots\dots\dots (4.8)$$

Metode Penman modifikasi (FAO) digunakan untuk luasan lahan dengan data pengukuran temperatur, kelembaban, kecepatan angin dan lama matahari bersinar (Doorenbos dan Pruitt, 1977).

Harga koefisien panci evaporasi (K<sub>p</sub>) tergantung pada iklim, tipe panci dan lingkungan panci. Untuk tipe Pan A yang dikelilingi oleh tanaman hijau pendek maka

harga koefisien panci berkisar antara 0,4 – 0,85 yang dipengaruhi oleh kecepatan angin dan kelembaban nisbih udara rata-rata. Selanjutnya dikatakan untuk daerah tropis seperti Indonesia dimana kecepatan angin lemah sampai sedang dan kelembaban nisbih udara rata-rata diatas 70 %, harga Kp hanya berkisar dari 0,65 – 0,85.

Tabel 4.2 Kisaran nilai koefisien panci pada berbagai level kecepatan angin dan kelembaban udara

Class A pan	Case A: Pan placed in short green cropped area				Case B: Pan placed in dry fallow area			
	RH mean (%) →	low < 40	medium 40 -70	high > 70		low < 40	medium 40 -70	high > 70
Wind speed (m s <sup>-1</sup> )	Windward side distance of green crop (m)				Windward side distance of dry fallow (m)			
Light < 2	1	.55	.65	.75	1	.7	.8	.85
	10	.65	.75	.85	10	.6	.7	.8
	100	.7	.8	.85	100	.55	.65	.75
	1 000	.75	.85	.85	1 000	.5	.6	.7
Moderate 2-5	1	.5	.6	.65	1	.65	.75	.8
	10	.6	.7	.75	10	.55	.65	.7
	100	.65	.75	.8	100	.5	.6	.65
	1 000	.7	.8	.8	1 000	.45	.55	.6
Strong 5-8	1	.45	.5	.6	1	.6	.65	.7
	10	.55	.6	.65	10	.5	.55	.65
	100	.6	.65	.7	100	.45	.5	.6
	1 000	.65	.7	.75	1 000	.4	.45	.55
Very strong > 8	1	.4	.45	.5	1	.5	.6	.65
	10	.45	.55	.6	10	.45	.5	.55
	100	.5	.6	.65	100	.4	.45	.5
	1 000	.55	.6	.65	1 000	.35	.4	.45

Linsley dan Franzini (1979), menganjurkan penggunaan nilai Kp = 0,70 yang umum digunakan di daerah tropis.

Tabel 4.3 Kisaran nilai ET pada berbagai kondisi iklim wilayah

Regions	Mean daily temperature (°C)		
	Cool ~ 10°C	Moderate 20°C	Warm > 30°C
<b>Tropics and subtropics</b>			
- humid and sub-humid	2 - 3	3 - 5	5 - 7
- arid and semi-arid	2 - 4	4 - 6	6 - 8
<b>Temperate region</b>			
- humid and sub-humid	1 - 2	2 - 4	4 - 7
- arid and semi-arid	1 - 3	4 - 7	6 - 9

Sumber: Allen dkk, 2006

#### 4.6 CONTOH SOAL

Suatu wilayah dengan tanaman yang memiliki faktor  $f = 0,7$ . Suhu udara rata-rata adalah 20°C, koefisien konveski  $h = 0,7$  dengan kecepatan angin pada ketinggian 2

meter adalah 5 m/det. Bila radiasi rata-rata efektif adalah 550 kal/cm<sup>2</sup>/hari nilai n/D = 0,4, Hitung besarnya nilai evapotranspirasi hari tersebut.

**Jawaban:**

Hitung Tekanan Udara Mutlak

$$e_a = h \times e = 0,7 \times 17,53 = 12,27 \text{ mmHg}$$

$$e - e_a = 17,73 - 12,27 = 5,26 \text{ mmHg}$$

Hitung Suhu Mutlak

$$T_a = T_c + 273 = 20 + 273 = 293 \text{ K}$$

$$\Delta = \frac{e_e - e}{t_s - t} = \frac{0,105}{0,100} = 1,05$$

Hitung Radiasi Gelombang Pendek

$$R_c = R_a (0,25 + n/D) = 256,3 \text{ kal/cm}^2/\text{hari}$$

$$R_t = (1 - 0,06) R_c = 240,9 \text{ kal/cm}^2/\text{hari}$$

$$R_b = 117,4 \times 10^{-9} \times 2934 (0,47 - 0,077\sqrt{(12,27)})(0,2+0,8*0,4) = 90,1 \text{ kal/cm}^2/\text{hari}$$

Hitung Energi Budget

$$H = R_t - R_b = 240,9 - 90,1 = 150,8 \text{ kal/cm}^2/\text{hari}$$

Hitung Energi Penguapan Saat Kondisi Jenuh

$$E_s = 0,35 (e - e_a)(0,5 + 0,54 u_2)$$

$$= 0,35 \times (5,26) \times (0,5 + 0,54 \times 5) = 5,9 \text{ mm/hari}$$

Hitung Evaporasi Permukaan Air Bebas

$$E_o = \frac{\frac{\Delta H}{60} + E_a}{\Delta + \gamma} = \frac{1,05 \times \frac{150,8}{60} + 0,49 \times 5,9}{1,05 + 0,49} = 3,6 \text{ mm/hari}$$

Hitung Evapotranspirasi

$$E_p = 0,7 \times 3,6 = 2,5 \text{ mm/hari}$$

**4.7 PENUGASAN**

1. Baca buku FAO No. 56 tentang kebutuhan air tanaman (*Crop Water Requirement*), kemudian buat ringkasan perhitungan metode yang digunakan untuk menghitung ETP tanaman pada suatu wilayah (sesuai data lokasi data CH yang diambil pada tugas sebelumnya).

2. Kumpulkan data kecepatan angin, radiasi, suhu, dan tekanan dari suatu stasiun klimatologi dalam waktu satu tahun.
3. Kumpulkan data evaporasi dari suatu stasiun klimatologi dalam waktu satu tahun.
4. Hitung evaporasi dan bandingkan nilai dari hasil ukur (panci Kelas A)

#### 4.8 SOAL LATIHAN

1. Apa yang dimaksud dengan:
  - a. Evaporasi
  - b. Transpirasi
  - c. Evapotranspirasi
2. Jelaskan faktor yang mempengaruhi nilai Evapotranspirasi.
3. Hitung evapotranspirasi potensial dengan metode Penmann di daerah yang berada pada 10°LS pada bulan Agustus. Data yang diberikan adalah temperatur rata-rata 28°C, kecepatan angin pada 2 m di atas tanah adalah 200 km/hari, RH sebesar 70%, koefisien refleksi permukaan 25%, dan n/N adalah 80%.

#### 4.9 DAFTAR PUSTAKA

- Asdak Chay (1995). *Hidrologi dan Pengelolaan daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada Press.
- Black, Peter E., (1991), *Watershed Hydrology*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Doorenbos J., A.H Kassam, (1979), *Yield Respons to Water*, FAO, Rome.
- Faust, Samuel D., Osman M. Aly, (1981), *Chemstry of Natural Waters*, Ann Arbor Science, Michigan.
- Freeze R. Allan, John A. Cherry (1979), *Groundwater*, Englewood Cliffs, New Jersey.
- (6) Hohnholz J. H., *Applied Geography and Development*, p. 8-23.
- Kodoatie, R.J. dan Roestam Sjarief. (2005). *Pengelolaan Sumber Daya Air Terpadu*. Yogyakarta: Andi.
- Linsley Ray K., Joseph B. Franzini, (1985), *Teknik Sumber Daya Air*, Eralanga, Jakarta.
- Sastrodarsono Suyono dan Kensaku Takeda, (1999), *Hidrologi untuk Pengairan*.

Soewarno, (1991), Pengukuran dan Pengolahan Data Aliran Sungai (Hdrometri),  
Nova, Bandung

Sprong, D., (1979), *Lakes in The Humid Tropical Areas of The World*, Arrevem of the  
literature.

Todd, (1983), *Introduction to Hydrology*. Mc Graw Hill. USA.