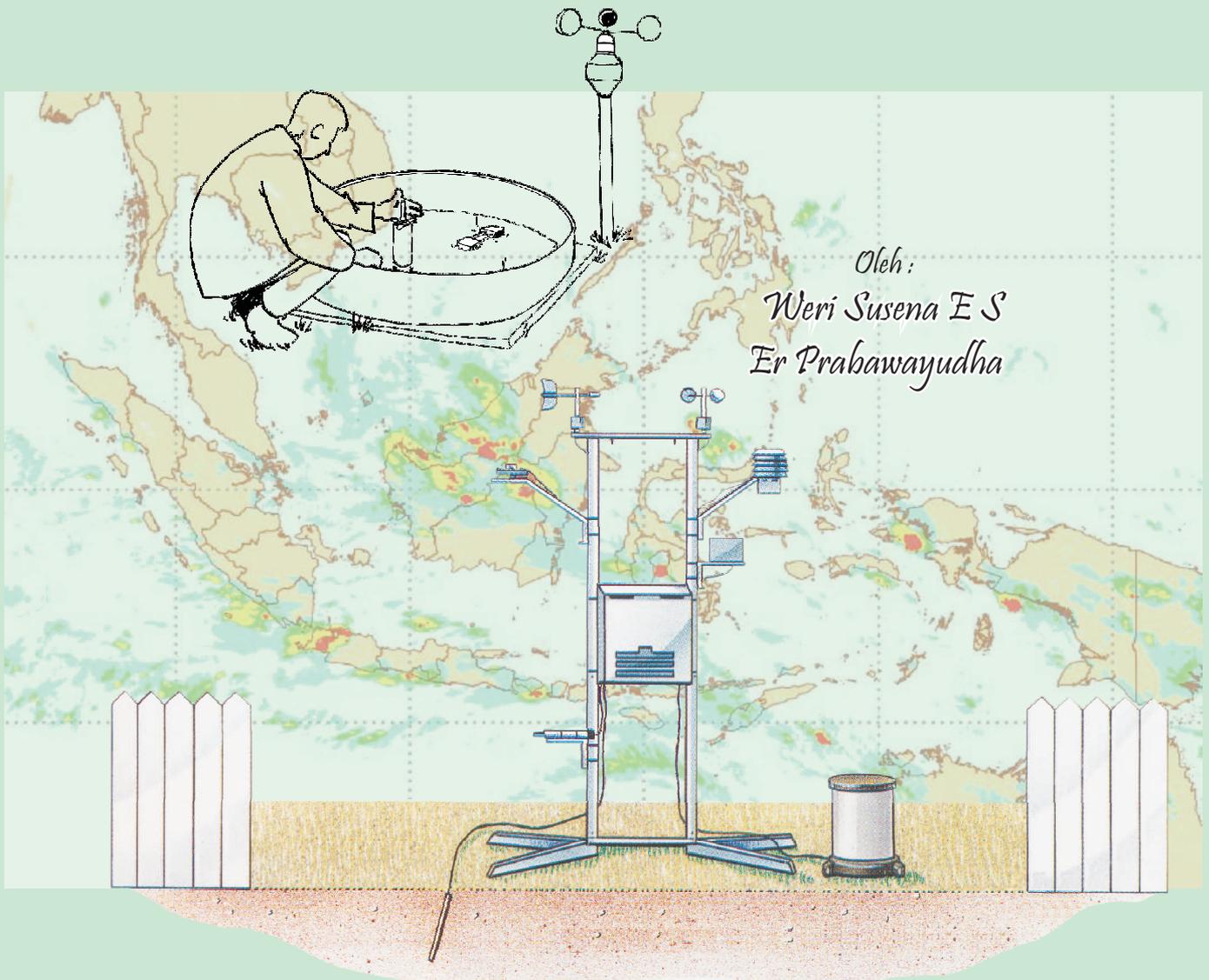


# KLIMATOLOGI PERTANIAN

Buku Ajar

UNTUK MAHASISWA POLITEKNIK PERTANIAN NEGERI PAYAKUMBUH



Oleh:  
*Weri Susena E S*  
*Er Prabawayudha*

POLITEKNIK PERTANIAN  
NEGERI PAYAKUMBUH  
2022

## Kata Pengantar

Segenap puji syukur disampaikan kehadirat Allah SWT atas rahmat dan ridho-Nya sehingga penyusunan Buku ini bisa diselesaikan dengan baik.

Buku ini disusun sebagai Buku Pegangan Mahasiswa Politeknik Pertanian Negeri Payakumbuh pada Mata Ajaran Klimatologi Pertanian, untuk memenuhi kebutuhan kompetensi bidang ke tata air-an (*water management*). Diharapkan buku ini dapat melengkapi referensi yang sudah ada, sehingga proses belajar-mengajar dapat dilaksanakan dengan lancar.

Disadari bahwa tiada gading yang tak retak, dalam penyusunan buku masih dirasa memiliki banyak ketidak sempurnaan. Kritik dan saran untuk perbaikan dimasa datang tentunya sangat diharapkan.

Penyusun,

Weri Susena E S  
Er Prabawayudha

## Daftar Isi

Kata Pengantar	i
Daftar Isi	ii
Daftar Tabel	iii
Daftar Gambar	iv
BAB I. Pendahuluan	1
A. Pengertian dan definisi klimatologi pertanian	1
B. Manfaat dan tujuan klimatologi pertanian	4
C. Hubungan iklim dan komponen pertanian	6
BAB II. Hubungan Iklim dan Tanaman	17
A. Peran iklim dalam pertanian	17
B. Kesesuaian hubungan iklim dan tanaman	19
C. Aspek iklim yang berhubungan erat dengan tanaman	24
D. Respon tanaman terhadap cuaca dan iklim	27
BAB III. Unsur Iklim dan Pengukurannya	44
A. Mekanisme pembentukan iklim	44
B. Faktor pengendali iklim dan unsur-unsur iklim	45
C. Pengukuran unsur-unsur iklim	47
BAB IV. Metode Klimatologi	73
A. Pengujian homogenitas data	73
B. Pengisian data hilang	75
C. Analisis peluang hujan	77
BAB V. Evapotranspirasi dan Kebutuhan Air Tanaman	80
A. Pengertian evapotranspirasi	80
B. Penentuan evapotranspirasi dengan metoda langsung	81
C. Penentuan evapotranspirasi dengan metoda tidak langsung	83
D. Kebutuhan air tanaman	85
E. Koefisien tanaman	86
BAB VI. Analisis Neraca Air dan Pola Tanam	88
A. Siklus hidrologi	88
B. Pengertian neraca air	91
C. Neraca air umum	93
D. Neraca air lahan	94
E. Pola tanam	96

BAB VII. Fenomena Iklim Global	100
A. Iklim wilayah Indonesia	100
B. Perubahan iklim, El-Nino dan La-Nina	107
C. Dampak El-Nino dan La-Nina bagi Indonesia	117
BAB VIII. Klasifikasi Iklim	123
A. Pengertian umum	123
B. Klasifikasi iklim secara genetik	124
C. Klasifikasi iklim secara empirik	125
Lampiran	

## Daftar Tabel

Tabel	halaman
2.1. Susunan normal udara kering di atmosfer	26
2.2. Rincian spektrum radiasi surya dan pengaruhnya pd tumb	36
2.3. Intensitas cahaya jenuh untuk beberapa kultivar tanaman	37
2.4. Batas-batas suhu kardinal beberapa tanaman	40
4. Penggolongan tumbuhan berdasarkan kondisi kadar air tanah	42

## Daftar Gambar

Gambar	halaman
1.1. Mekanisme pengendalian produksi oleh cuaca & iklim	6
2.1. Mekanisme pengaruh iklim terhadap tanaman	31
2.2. Hubungan metabolisme dan faktor lingkungan	34
3.1. Diagram mekanisme pembentukan, stratifikasi dan distribusi iklim	45
3.2. Denah stasiun klimatologi tidak lengkap	50
3.3. Denah stasiun klimatologi lengkap	50
3.4. Cara melakukan pembacaan termometer	52
3.5. Cara memperbaiki posisi air raksa pada termometer	54
3.6. Cara membaca termometer maksimum dan minimum	54
3.7. Psikrometer standar	60
3.8. Anemometer tipe Counter	62
3.9. Campbell stokes dan bagian-bagiannya	63
3.10. Macam bentuk kertas pias Campbell Stokes	65
3.11. Alat penakar hujan biasa	67
3.12. Alat penakar hujan otomatis	68
3.13. Panci kelas A	70
3.14. Stilling ell dan hook gauge	70
3.15. Lingkungan penempatan panci Kelas A	71
4.1. Bentuk Kurva massa ganda	74
4.2. Posisi stasiun pada metode kuadran empat	76
5.3. Ilustrasi penentuan nilai ETC	86
5.4. Ilustrasi penentuan nilai ETo	86
5.5. Distribusi nilai kc berdasarkan fase pertumbuhan	87

## I. PENDAHULUAN

Tujuan Instruksional Khusus
<ol style="list-style-type: none"><li>1. Mahasiswa diharapkan mampu untuk menjelaskan pengertian dan definisi klimatologi pertanian</li><li>2. Mahasiswa diharapkan mampu untuk menjelaskan manfaat dan tujuan klimatologi pertanian</li><li>3. Mahasiswa diharapkan mampu untuk menjelaskan hubungan iklim dan komponen pertanian</li></ol>

### A. Pengertian dan definisi klimatologi pertanian

Klimatologi atau ilmu iklim berasal dari kata Yunani *klima* dan *Logos* dimana *klima* berarti berlereng atau berkecenderungan dan *logos* berarti pengkajian/ilmu. Sebagai ilmu, klimatologi mempelajari keadaan atmosfer dalam suatu periode waktu panjang sehingga berbeda dari meteorologi yang mempelajari keadaan atmosfer sesaat. Dalam praktek, klimatologi menggunakan data cuaca (meteorologi) selama beberapa tahun untuk memperoleh gambaran keadaan iklim suatu daerah.

Konsep lama mengatakan bahwa iklim merupakan rata-rata cuaca (keadaan atmosfer) di suatu tempat Periode data iklim yang ideal sekurang-kurangnya 30 tahun penuh (Mc. Intosh. 1972).

Konsep baru mengatakan bahwa iklim merupakan suatu kisaran keadaan atmosfer yang 'berhembus' dari suatu nilai tinggi ke nilai rendah, dan pengertian peluang kejadian menjadi lebih penting dari pada keadaan cuaca. Cuaca merupakan keadaan sesaat dari atmosfer (waktu; sejam, sehari, seminggu), sedangkan iklim merupakan keadaan atmosfer selama suatu periode.

Umum mengetahui bahwa klimatologi merupakan ilmu yang terlepas dari meteorologi. Klimatologi berkaitan dengan penjelasan dan informasi peredaran cuaca dan unsur-unsur atmosfer dalam jangka pendek maupun jangka panjang. Klimatologi mempelajari tentang penyebaran-penyebaran menurut waktu dan tempat (misalnya di suatu daerah pada jam demi jam, hari demi hari, tahun demi tahun dan sebagainya).

Meteorologi adalah ilmu yang mempelajari proses-proses fisika yang terjadi di atmosfer (minimal pada batas tropopause) pada suatu saat tertentu. Para ahli meteorologi mikro membatasi penelitian-penelitiannya sampai pada dua atau ratusan meter di atas permukaan tanah. Kendati lapisan ini merupakan sebagian kecil dari lapisan atmosfer, para ahli memiliki alasan penting :

1. Tumbuhan, hewan dan manusia hidup dalam lapisan ini. Pengetahuan mengenai meteorologi mikro sangat berguna dalam bidang pertanian, hidrologi, kehutanan dan kesehatan umum.
2. Perubahan yang sering terjadi di atmosfer timbul disebabkan oleh lapisan terendah ini, misalnya pada hari-hari tidak berawan, radiasi matahari melalui atmosfer mengalami sedikit pengurangan kekuatannya, radiasi ini hanya dirubah kedalam panas ketika menyentuh permukaan bumi.

Contoh-contoh kajian dibidang meteorologi misalnya : mengapa terjadi hujan di Pulau Sumatera, proses-proses apa yang bekerja dalam pergerakan angin, pembentukan butir-butir hujan dan sebagainya. Jadi Meteorologi lebih menekankan kepada prosesnya, sedangkan klimatologi pada hasil dari proses tersebut. Disamping itu,

periode waktu kajian meteorologi lebih singkat dibandingkan dengan klimatologi.

Menurut WMO dalam "Guide to Agricultural Meteorological Practices", Meteorologi Pertanian adalah segala sesuatu mengenai interaksi antara meteorologi dan faktor-faktor hidrologi pada satu pihak dan pertanian dalam arti luas dipihak lain, termasuk hortikultura, peternakan dan kehutanan, dengan tujuan menentukan pengaruh-pengaruh cuaca dan iklim kemudian menggunakan pengetahuan tentang pengaruh tersebut untuk keperluan usaha pertanian.

Bidang klimatologi/meteorologi pertanian terbentang diantara lapisan tanah sedalam perakaran tumbuhan dengan lapisan udara tempat hidup tanaman dan hewan sampai pada lapisan tertinggi yang penting bagi biologi udara, yaitu lapisan yang penting bagi penyebaran biji, spora, tepung sari dan serangga.

Selain iklim alami, meteorologi pertanian juga memperhatikan perubahan-perubahan lingkungan, (seperti penghalang-penghalang angin dan daerah-daerah pelindung, irigasi, rumah-rumah kaca dan sebagainya), perbedaan iklim di tempat penyimpanan, baik di dalam ruangan maupun lapangan terbuka, keadaan lingkungan hewan dan bangunan pertanian serta pengaruh iklim selama pengangkutan hasil panen.

Sampai tahun limapuluhan abad ini gambaran iklim diperoleh dari nilai rata-rata Selama periode pengkajian. Kebiasaan ini memberi kesan iklim bersifat statis. Demikian pandangan masyarakat pada waktu itu. Pandangan saat ini berubah, iklim dalam kenyataan senantiasa berubah karena metode analisis statistik sebagai faktor pembentuknya berubah.

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi semakin mendorong keinginan manusia untuk mengantisipasi masa depannya. Kemajuan ini bisa terwujud bila keadaan atmosfer yang akan datang diketahui sejak dini. Dengan kata lain peramalan iklim/musim dapat diperhitungkan. Keinginan manusia mempersiapkan masa depannya ditunjang perkembangan ilmu dan peralatan sampai pertengahan abad ini. Kemudian bertambah besar dengan hadirnya teknologi canggih, seperti radar dan satelit cuaca maupun satelit lingkungan. Kehadiran komputer sangat membantu perkembangan ilmu iklim mengingat kemampuannya mengerjakan data berjumlah sangat besar dengan cepat.

#### B. Manfaat dan tujuan klimatologi pertanian

Pengetahuan yang luas tentang berbagai hubungan antara iklim dan subjek-subjek pertanian tanaman dan ternak, memungkinkan penggalan potensi iklim di tiap tempat untuk perencanaan intensifikasi dan ekstensifikasinya.

Manfaat utama Klimatologi Pertanian sebagai dasar strategi dalam penyusunan rencana dan kebijakan pengelolaan usahatani pertanian tanaman dan peternakan. Lingkup kebijakan dapat meliputi sebidang lahan, suatu wilayah/ teritorial pertanian maupun untuk kebijakan pada lingkup nasional meliputi berbagai hal sebagai berikut (NasirA.A, 1993) :

- a. Seleksi terhadap kultivar tanaman, species dan **ras** ternak yang beradaptasi baik dengan kondisi iklim setempat sehingga potensial untuk dibudidayakan secara luas.

- b. Memiliki wilayah-wilayah yang kondisi iklimnya sesuai untuk pengembangan suatu kultivar tanaman dan ras ternak tertentu yang baru diintroduksi dari daerah lain atau dari luar negeri
- c. Berbagai hasil penelitian dan percobaan memungkinkan untuk memilih, teknologi yang terbaik untuk perbaikan iklim mikro sehingga dapat mendorong pertumbuhan, perkembangan dan produksi tanaman dan ternak baik jumlah maupun mutunya. Contohnya penggunaan berbagai jenis mulsa, rumah kaca, rumah plastik, rumah jaring, irigasi, drainase semuanya untuk tanaman. Dibiidang peternakan dilakukan perbaikan desain perkandangan, sistem ventilasi, drainase, sanitasi dan pengaturan kepadatan populasi ternak di dalam kandang.
- d. Pengaturan polatanam meliputi jadwal pergiliran tanaman, dan pemilihan kultivar untuk penanaman tumpangsari.
- e. Pewilayahan komoditas pertanian dan pemetaannya.

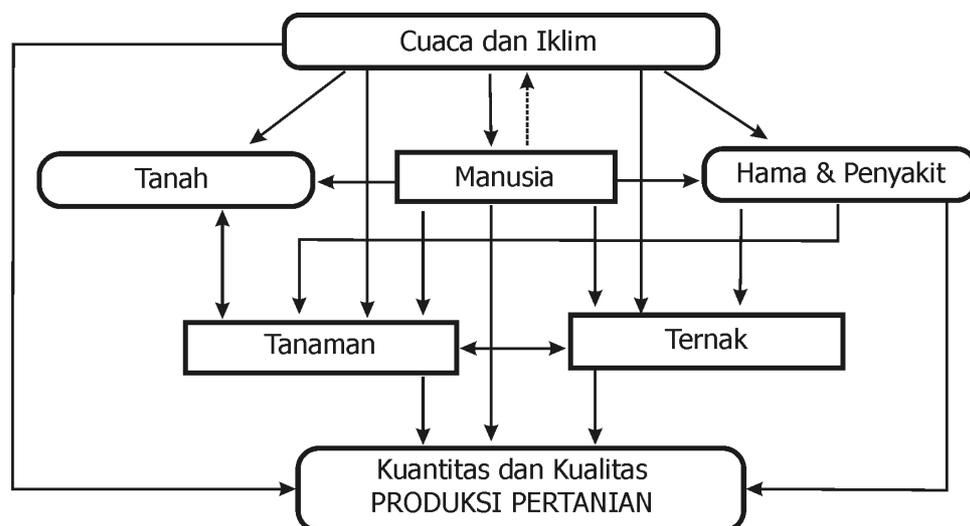
Pengetahuan tentang klimatologi pertanian perlu dipelajari dengan tujuan agar :

1. Ahli pertanian lebih sadar akan cuaca dan iklim dan melatih mengukur pengaruh-pengaruh meteorologi dan iklim terhadap penelitian-penelitian yang dilakukan.
2. Agar para ahli pertanian menggunakan setiap keahlian meteorologi yang ada hubungannya dengan pertanian untuk membantu petani menggunakan lingkungan fisiknya dengan lebih efisien menuju tujuan utama memperbaiki pertanian baik kualitas maupun kuantitasnya.

### C. Hubungan iklim dan komponen pertanian

Klimatologi pertanian melibatkan interaksi setiap saat secara berkelanjutan dalam kurun waktu lama antara cuaca dan hidrologi sebagai komponen fisika lingkungan/iklim di satu sisi, dengan komponen-komponen pertanian dalam arti luas di sisi lainnya. Secara luas pertanian meliputi budidaya: tanaman pangan, tanaman perkebunan, tanaman hortikultura, kehutanan dan usaha peternakan. Sebenarnya dapat ditambahkan budidaya perikanan darat (rawa, danau, tambak, kolam, dan sebagainya), tetapi tidak seluas penangkapan ikan di laut sehingga jarang dikaitkan dalam pertanian.

Hubungan diantara komponen iklim dan pertanian secara luas tersebut dapat diterangkan secara diagramatis seperti pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1. Mekanisme pengendalian produksi pertanian oleh cuaca & Iklim

Dari diagram tersebut terlihat adanya hubungan saling terkait dan rumit antar komponen iklim, tanah, tanaman, ternak, hama penyakit dan manusia sebagai pengelola untuk menghasilkan produksi pertanian dengan kuantitas dan kualitas yang tinggi. Selanjutnya cuaca dan iklimpun masih berpengaruh terhadap hasil yang telah dipanen terutama pada hasil panen komoditas tertentu yang proses pasca panennya secara alamiah misalnya penjemuran, penganginan dan sebagainya.

Pada diagram terlihat pengaruh iklim/cuaca sangat luas karena mempengaruhi langsung tanah, tanaman, ternak, hama penyakit, hasil panen dan manusia. Selanjutnya manusia sebagai pengelola pertanian juga berpengaruh kuat dengan cara mengatur tanah, tanaman, ternak, proses pasca panen dan mengendalikan penyebaran hama dan penyakit. Penjelasan tentang pengaruh dan hubungan antara iklim/cuaca dengan komponen pertanian secara lebih rinci diterangkan sebagai berikut :

#### 1. Pengaruh terhadap tanah

Proses "*Weathering*" atau pengaruh cuaca jangka panjang terhadap tanah sangat menentukan kondisi alamiah tanah terutama sifat fisika dan kimia tanah. Melalui pelapukan oleh iklim dan cuaca akan mempengaruhi kandungan kimia tanah, struktur dan tekstur tanah, kandungan jasad renik serta kapasitas menahan dan melepaskan kandungan panas dan air. Proses "*Weathering*" atau pelapukan dapat terjadi karena fluktuasi suhu diurnal yang sangat besar atau oleh pemecahan tetesan butir

hujan yang intensif, diikuti oleh proses erosi oleh angin kencang atau oleh hujan ekstrem dalam jangka panjang. Beberapa contoh diantaranya tanah padang pasir dan tanah debu di daerah gurun, serta tanah aluvial di daerah pinggir sungai adalah suatu contoh pengaruh iklim terhadap tanah.

## 2. Pengaruh terhadap tanaman

Pengaruh iklim terhadap tanaman diawali oleh pengaruh langsung cuaca terutama pengaruh radiasi dan suhu terhadap fotosintesis, respirasi, transpirasi dan proses-proses metabolisme di dalam sel organ tanaman. Fotosintesis dan respirasi adalah proses biokimia, sehingga memerlukan katalisator sebagaimana proses kimia fisik. Kecepatan proses tergantung pada aktivitas katalisator yang diatur oleh suhu. Pada kisaran suhu toleransi semakin tinggi suhu akan mempercepat proses dan meningkatkan produksi. Bedanya adalah bahwa pada proses biokimia katalisatornya adalah enzim. Enzim adalah protein, suatu zat yang peka terhadap suhu.

Pada proses fotosintesis, suhu reaksi dan jumlah energi yang terserap sangat ditentukan oleh intensitas radiasi PAR (photosintetic active radiation), sehingga pada daun di puncak tajuk yang memperoleh radiasi langsung pengaruh suhu udara terhadap fotosintesis tidak terlalu besar. Fotosintesis hanya berlangsung siang hari. Sedangkan intensitas respirasi/ pernapasan daun sepenuhnya dipengaruhi oleh suhu udara dan berlangsung terus-menerus sepanjang umur tanaman. Maka semakin rendah suhu udara harian akan semakin rendah

penggunaan karbohidrat untuk respirasi. Produksi gugus karbohidrat netto harian pada tanaman merupakan produk bruto fotosintesis siang hari dikurangi pemanfaatan untuk respirasi 24 jam. Maka pada kisaran toleransi, semakin tinggi intensitas radiasi PAR yang berlangsung semakin lama, disertai suhu udara yang rendah akan menghasilkan produk fotosintesis netto yang semakin tinggi.

Dengan fotosintesis netto inilah pertumbuhan dan perkembangan tanaman semakin optimum disertai pengisian organ cadangan energi karbohidrat semakin besar yakni di dalam: akar, batang, daun, buah, biji serta pada berbagai macam umbi. Maka jelas bahwa pertumbuhan dan perkembangan tanaman sangat ditentukan oleh bahan cadangan ini yang besarnya tergantung kepada penerimaan radiasi surya dan di pengaruhi oleh tinggi rendahnya suhu lingkungan.

Perlu diingat bahwa toleransi tumbuhan terhadap radiasi dan suhu berbeda untuk tiap varietas dan spesies. Hal tersebut ditentukan oleh daya toleransi enzim terhadap suhu. Tanaman yang berasal dari plasma nutfah di daerah dengan penerimaan radiasi dan suhu tertentu akan memiliki toleransi yang baik bila dipindahkan ke tempat lain yang kisaran suhunya hampir sama dengan daerah asalnya.

Selanjutnya kondisi iklim di suatu daerah terutama penerimaan radiasi surya dan kondisi suhu udara dan tanah akan menentukan pertumbuhan, perkembangan serta kandungan kimiawi dari organ.

Disamping energi radiasi dan suhu air sangat diperlukan untuk pembentukan sel dan berbagai proses fisiologi lainnya, antara lain pengaturan tekanan turgor, pembuang kelebihan panas keluar dari tajuk melalui transpirasi, pelarutan dan pengangkutan zat hara di dalam tanaman dan sebagainya. Sumber air alami bagi tumbuhan adalah neraca antara unsur iklim presipitasi (curah hujan, salju, dan embun) dengan evapotranspirasi (penguapan total transpirasi tanaman ditambah evaporasi tanah dibawahnya).

Dari uraian di atas jelaslah bahwa radiasi surya, suhu udara, presipitasi dan evapotranspirasi merupakan unsur-unsur iklim yang berpengaruh kuat terhadap produksi tanaman baik terhadap kuantitas maupun kualitasnya.

Berdasarkan konsep hubungan antara penerimaan energi surya yang diwakili oleh data suhu udara dan penerimaan air yang diwakili oleh data curah hujan, beberapa ahli telah menyusun metode klasifikasi iklim berdasarkan kesesuaiannya bagi vegetasi. Diantaranya adalah metode klasifikasi iklim menurut Koppen dan Thornthwaite.

### 3. Pengaruh terhadap hewan/ternak

Iklim mempengaruhi hewan/ternak dengan dua jalan yakni pengaruh langsung terhadap tubuh ternak dan pengaruh tidak langsung melalui pakan alamiah yang tersedia (varietas-varietas hijauan pakan) yang merupakan produk iklim. Tiap tipe iklim utama (tropis, sedang, kering dan kutub) yang perbedaannya sangat kontras menyebabkan masing-masing tipe iklim tersebut

dihuni oleh spesies hewan dengan daya adaptasi dan ketahanan tubuh yang berbeda-beda. Beberapa contoh diantaranya adalah perbedaan antara bangsa sapi Zebu (*Bos indicus*) atau sapi tropika dan bangsa sapi Eropa (*Bos taurus*) antara lain sebagai berikut :

Sapi Eropa ( <i>Bos taurus</i> )	Sapi Zebu ( <i>Bos indicus</i> )
Tidak berpunuk	Berpunuk
Berkulit tebal: 7- 8 mm	Berkulit tipis: 5-6 mm
Sapi dewasa berlemak bawah kulit tebal	Sapi dewasa berlemak bawah kulit tipis
Berambing besar	Berambing kecil
Suhu optimum: 4°C-15°C	Suhu optimum: 15 °C - 30° C
Kapasitas produksi susu tinggi	Kapasitas produksi susu rendah
Prod susu, kadar laktose dan nitrogen turun pada T > 24°C	Prod susu, kadar laktose dan nitrogen turun pada T > 35°C
Bobot maksimum sapi jantan dewasa mencapai 1000 kg	Bobot maksimum sapi jantan dewasa mencapai 700 kg

Contoh lain adalah pada domba penghasil bulu (wool), ras unggul umumnya berasal dan daerah iklim sedang, yang memiliki populasi bulu per satuan luas kulit lebih tinggi dan bulunya lebih panjang dibandingkan dengan domba daerah iklim tropika maupun daerah iklim kering.

#### 4. Pengaruh terhadap hama dan penyakit

Kondisi iklim sangat berpengaruh terhadap dinamika populasi hama (hewan patogen) dan bibit penyakit (Jasad renik

patogen) serta tingkat serangannya. Terutama suhu udara berpengaruh kuat terhadap pertumbuhan dan perkembangan hama dan penyakit.

Peningkatan suhu udara akan mempercepat perkembangan hama sehingga mempercepat peningkatan jumlah populasi hama, hal ini umumnya terjadi di daerah beriklim kering. Peledakan serangan hama di daerah arid umumnya berlangsung pada musim panas yang sering menimbulkan bencana berupa gagal panen. Sedangkan serangan hama di daerah tropika umumnya terjadi di waktu musim kemarau.

Jasad renik patogen sangat peka terhadap udara kering karena kandungan air di dalam tubuhnya sulit untuk mengantisipasi kehilangan air oleh penguapan. Maka umumnya populasi bibit penyakit sulit berkembang di daerah kering walaupun suhunya yang tinggi sebenarnya akan mempercepat perkembangan populasi. Jasad renik lebih mampu bertahan hidup di dalam kondisi udara lembab. Udara bersuhu tinggi dan lembab akan mempercepat perkembangan populasi jasad renik. Maka umumnya peningkatan serangan penyakit berasosiasi dengan suhu udara dan kelembaban yang relatif tinggi di daerah tropika pada waktu musim hujan.

Penjelasan di atas terutama berlaku pada jasad renik patogen yang berupa bakteri dan jamur yang kehidupannya berhubungan langsung dengan atmosfer. Sedangkan jasad renik berupa virus yang penyebarannya melalui cairan dengan kontak langsung pengaruh cuaca dan iklim tidak terlalu kuat.

Kondisi cuaca dan iklim mempengaruhi serangan hama penyakit terhadap hewan secara tidak langsung. Timbulnya serangan hama dan penyakit terhadap-hewan umumnya dipengaruhi oleh berbagai sebab (Nielsen A.C. W, 1980) sebagai berikut :

- a. Penurunan daya tahan hewan/ ternak terhadap penyakit yang disebabkan oleh kondisi cuaca dan iklim yang menurunkan tingkat kenyamanan tubuh.
- b. Peningkatan daya tahan hama dan bibit penyakit secara evolusi sehingga mampu mengalahkan daya tahan tubuh hewan/ ternak.

Pemahaman yang baik terhadap hubungan antara kondisi iklim hewan dan hama maupun penyakit memungkinkan para ahli kesehatan hewan, ahli peternakan dan ahli iklim, untuk mencari teknologi yang tepat guna mengantisipasi serangan hama dan penyakit hewan.

#### 5. Pengaruh terhadap produksi pertanian pascapanen

Pengelolaan terhadap produksi tanaman maupun hewan pasca panen di daerah pertanian sering kali dilakukan secara sederhana melalui proses alamiah diantaranya proses-proses penjemuran, penganginan, dan pemeraman pada atmosfer terbuka. Hal ini menyebabkan proses tersebut akan sangat dipengaruhi oleh unsur-unsur iklim terutama intensitas radiasi surya, lama penyinaran, suhu udara, kelembaban udara,

kecepatan angin, evaporasi dan curah hujan. Unsur-unsur iklim ini dapat mempengaruhi tinggi dan rendahnya kualitas hasil panen.

#### 6. Pengaruh terhadap manusia (petani)

Iklim sangat berpengaruh terhadap manusia terutama dalam hal motivasi, dinamika kerja, pemilihan jenis komoditas dan penerapan teknologi dalam usahatani. Sebaliknya kemampuan manusia dalam mempengaruhi iklim sangat terbatas dan hanya sebatas lingkup iklim mikro. Upaya manusia dalam mempengaruhi iklim mikro diwujudkan dalam berbagai cara modifikasi diantaranya modifikasi terhadap penerimaan radiasi surya dengan cara pembuatan rumah kaca, rumah plastik, penggunaan naungan jaring, penanaman pohon penayang dan sebagainya. Tindakan modifikasi terhadap pengaturan hidrologi, diantaranya pembuatan sistem irigasi dan drainase. Sedangkan untuk pengawetan kadar air tanah dilakukan penggunaan mulsa lembar plastik, jerami, dan bahan tertentu lainnya.

Pengaruh terpenting iklim terhadap manusia adalah dalam hal kemampuan manajemen/pengelolaan pertanian secara lebih luas termasuk didalamnya motivasi dan etos kerjanya.

Seperti diketahui bahwa semakin meningkatnya derajat lintang suatu tempat secara umum akan menurunkan suhu udara dan penerimaan radiasi surya. Selanjutnya akan mengakibatkan pemendekkan periode *growing season*.

Di daerah tropika penerimaan radiasi surya cukup dan suhu udara senantiasa tinggi ( $> 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), dan panjang hari berkisar 10 sampai 14 jam sehari. Di daerah ini *growing season*

berlangsung sepanjang waktu. Asalkan kadar air tanah mencukupi. Akibatnya petani tidak termotivasi untuk disiplin terhadap perubahan iklim.

Di daerah sub tropika yang mengalami perubahan empat musim petani hanya sempat bertanam tanaman pangan semusim (*growing season*) satu kali dalam setahun disertai jadwal tanam yang ketat. Sehingga pada daerah-daerah sub tropika kesempatan bertani/ bertanam semakin pendek. Maka petani di daerah sub tropika harus disiplin dalam menerapkan jadwal tanam, dan intensif dalam penerapan teknologi budidaya selama satu kali masa tanam (*growing season*) tersebut, agar dapat memenuhi keperluan konsumsi keluarga dan ternaknya selama setahun. Dalam hal ini petani juga harus mengupayakan teknologi pemrosesan dan penyimpanan produksi pasca panen baik bahan pangan maupun bahan pakan bagi ternaknya. Maka dapat dimengerti bahwa petani daerah sub tropika umumnya lebih disiplin dalam mengantisipasi perubahan iklim empat musim.

#### Pertanyaan dan Tugas

- a. Jelaskan perbedaan antara klimatologi dengan meteorologi
- b. Kemukakan definisi Meteorologi Pertanian menurut WMO
- c. Kemukakan maksud dan tujuan klimatologi pertanian
- d. Uraikan hubungan klimatologi pertanian dengan komponen-komponen pertanian

## Referensi

- Manan, M Efendi. 1979. *Klimatologi Pertanian Dasar. Bagian Klimatologi Pertanian*. Departemen Ilmu-ilmu Pengetahuan Alam. Fakultas Pertanian IPB. Bogor
- Nasir, A.A. 1999. *klimatologi Pertanian. Bahan Pelatihan Dosen-dosen PTN Indonesia Bagian Barat dalam Bidang Agroklimatologi*. IPB Bogor.
- Nasir, A.A. dan Sugiarto, Y. 1999. *Pengajaran Klimatologi. Bahan Pelatihan Dosen-dosen PTN Indonesia Bagian Barat dalam Bidang Agroklimatologi*. IPB Bogor.

## II. HUBUNGAN IKLIM DAN TANAMAN

Tujuan Instruksional Khusus
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mahasiswa diharapkan mampu untuk menjelaskan peranan iklim dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman</li> <li>2. Mahasiswa diharapkan mampu untuk menjelaskan aspek-aspek iklim yang berperan dalam pertumbuhan tanaman</li> </ol>

### A. Peran Iklim Dalam Pertanian

Pertanian merupakan rekayasa manusia dalam menyadap energi surya melalui proses fotosintesis tanaman yang dipadu proses respirasi untuk menyelenggarakan hidup, tumbuh, berkembang dan reproduksi. Melalui fotosintesis yang menggunakan klorofil sebagai pemroses, tanaman menyadap energi surya untuk diubah menjadi energi kimia dalam bentuk glukosa. Lebih lanjut glukosa diproses organ tanaman menjadi berbagai senyawa karbohidrat lanjutan yang bermolekul lebih besar, dengan rangkaian atom lebih kompleks dan bermuatan energi kimia lebih banyak. Bahan tersebut sebagian disimpan tanaman sebagai cadangan makanan di dalam biji, buah, umbi dan berbagai organ penyimpan lainnya. Pada berbagai kultivar penghasil pangan dan pakan, organ simpanan tersebut dimakan manusia dan ternak untuk menyelenggarakan kehidupan.

Fotosintesis dan respirasi adalah permulaan proses hidup tanaman sehingga merupakan awal kegiatan pertanian. Klorofil adalah satu-satunya bahan transformator pemroses energi surya menjadi energi kimia di dalam tumbuhan hidup, dan merupakan bahan pembuka keajaiban hidup makhluk di dunia (Suseno, H. 1972).

Atmosfer menyediakan gas CO<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub>, mengatur presipitasi, mengatur radiasi PAR dari surya, dan tanah menyediakan zat hara agar kedua proses pembangkit kehidupan tersebut terselenggara. Kecepatan reaksi dan laju produksi fotosintesis dan respirasi dikendalikan iklim. Iklim terbentuk oleh proses integrasi diantara unsur-unsurnya. Diantara unsur iklim yang terkuat pengaruhnya terhadap fotosintesis dan respirasi adalah intensitas radiasi surya, suhu udara dan tanah, kecepatan angin, kelembaban nisbi dan evapotranspirasi.

Pengendalian fotosintesis, respirasi dan proses metabolisme lainnya oleh kondisi iklim akan mengatur pertumbuhan dan perkembangan tanaman yang akhirnya akan menentukan produksi panen. Pertumbuhan (*growth*) adalah pertambahan panjang, luas, volume dan bobot organ; perkembangan (*development*) adalah diferensiasi fungsi organ dari hanya berfungsi vegetatif, menjadi vegetatif dan generatif.

Organ yang dipanen mungkin bagian dari organ vegetatif seperti misalnya akar, batang, daun dan umbi. Sebagian lainnya mungkin organ generatif, seperti: bunga, buah dan biji. Dari organ-organ tersebut mungkin dipanen unit organ seutuhnya sehingga ukuran, bentuk, rasa dan keutuhan seluruh unit organ panen harus dijaga tetap tinggi dalam hal jumlah dan mutu. Contoh dalam hal ini adalah hasil panen komoditas hortikultura seperti sayuran, bunga segar, dan buah; tanaman pangan seperti sereal, kacang-kacangan dan tanaman umbi-umbian; penghasil kayu dan serat seperti pohon jati, mahoni; serat rami, rosela, kapuk, kapas dan sebagainya. Khusus pada tanaman industri bahan olahan lebih menekankan pada

kadar kandungan bahan di dalam organ, seperti pati, gula, minyak, serat dan lainnya, tidak kepada bentuk dan ukuran organ.

Kesesuaian hubungan se-optimum mungkin antara iklim dan tanaman, khususnya organ yang dipanen harus diusahakan untuk memperoleh produksi tinggi dengan mutu yang baik.

#### B. Kesesuaian Hubungan Iklim dan Tanaman

Tanaman atau kultivar (*cultivated variety*) dipilih untuk dibudidayakan dari sejumlah populasi tumbuhan (*vegetation*) varietas liar di daerah plasma nutfah asalnya. Suatu varietas tumbuhan yang tetap berada di daerah plasma nutfah asalnya dalam jangka panjang mungkin sejak awal penciptaannya oleh Yang Maha Kuasa, secara empirik membuktikan bahwa kondisi lingkungan setempat termasuk iklimnya telah sukses menjaga kelestarian generasi. Dari kenyataan ini dapat disusun definisi tentang kesesuaian iklim dan tumbuhan sebagai berikut:

“Kondisi iklim suatu tempat adalah cocok untuk suatu varietas tumbuhan apabila telah terbukti varietas tumbuhan tersebut untuk tumbuh, berkembang dan melangsungkan regenerasi secara sukses sehingga kelestarian plasma nutfahnya terjamin”.

Perlu dipahami bahwa daerah asal suatu varietas tumbuhan, kondisi iklimnya cocok untuk menjaga kelestarian plasma nutfah tetapi belum tentu cocok untuk menjamin tingginya kuantitas dan kualitas produksi sebagai tanaman yang dibudidayakan. Fakta telah membuktikan bahwa berbagai kultivar tanaman pertanian yang penting ternyata tidak sukses dikembangkan di daerah plasma nutfah

asal karena ternyata kondisi iklim setempat tidak menjamin sukses produksi.

Berbagai wilayah pusat produksi membuktikan bahwa kultivar yang didatangkan dari daerah plasma nutfah di lain benua telah sukses memproduksi dalam kurun waktu lama. Di antaranya kopi Arabica (*Coffea arabica* L.) yang berasal dari Pegunungan Kaffa, ILLUBABOR dan Gammugofa di dataran tinggi Ethiopia dan kopi Robusta (*C. canephora* L.) dari hutan tropika Sudan dan Congo, kedua kultivar tersebut menghasilkan biji dalam jumlah besar dan serentak dengan mutu tinggi setelah dikebunkan di dataran tinggi Amerika Tengah, Brazilia dan Asia Tenggara di daerah yang jelas perubahan musim kemarau dan musim hujannya sehingga mendorong pembungaan, pembesaran buah dan pematangan biji secara serentak dengan kadar kafein, rasa dan aroma yang baik serta jumlah panen tinggi. Pusat produksi kopi umumnya bertipe iklim Am, Aw dan Cw menurut metode Koppen.

Karet (*Hevea brasiliensis* L.) dari plasma nutfahnya di Manaus, Lembah Amazon Brazilia, baru sukses memproduksi lateks setelah dikebunkan besar-besaran di dataran rendah tropika basah di Malaysia dan Indonesia. Penanaman secara monokultural di daerah asalnya kurang berhasil karena kendala penyakit karat daun yang sulit diatasi. Daerah iklim yang cocok umumnya adalah tipe Af dataran rendah untuk menjamin kontinuitas produksi lateks.

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) berasal dari pantai barat Afrika yang beriklim agak kering (Aw) dan sukses dikebunkan besar-besaran di daerah tipe iklim Af/Am di Malaysia dan Indonesia, yang lebih besar dibandingkan daerah plasma nutfahnya.

Tebu (*Saccharum officinarum* L.) berasal dari Irian (New Guinea) dengan tipe iklim umumnya Af (Purseglove, 1981). Ternyata sukses dikembangkan di Cuba, India, kepulauan Mauritius, China, Taiwan, Indonesia dan beberapa negara di Caribia dan Amerika Tengah. Untuk meningkatkan produksi batang tebu diperlukan irigasi kontinu pada periode pertumbuhan batang dan untuk memperoleh kadar gula tinggi perlu musim kemarau yang cukup. Maka wilayah yang sesuai untuk perkebunan tebu beririgasi adalah daerah tipe iklim Aw dan Am dataran rendah yang berada di bawah daerah pegunungan penangkap hujan (*Catchment area*) yang produktif dalam pengadaan air.

Dalam pengembangan komoditas kultivar perenial untuk kepentingan industri seperti karet, kelapa sawit dan kina, peran Kebun Raya Bogor yang didirikan pada tahun (1812 - 1816) oleh Gubernur Rafles, sangat besar terutama dalam pertukaran bibit dan benih kultivar introduksi tersebut untuk pengujian lapang. Sebagai contoh, sebelum diperkebunkan besar-besaran, bibit karet dan kelapa sawit yang dikirim dari daerah plasma nutfahnya ditanam lebih dahulu di kebun raya. Melalui penelitian yang seksama sifat-sifat botani dan kemampuan produksi serta umur ekonomisnya telah lebih dahulu diketahui. Akhirnya dari benih hasil panen yang diperoleh di kebun raya selanjutnya ditangkarkan (diperbanyak) dan dikebunkan. Perkebunan yang dibuka sekitar awal abad dua puluh umumnya telah menggunakan pedoman pewilayahan iklim mengikuti metode klasifikasi Koppen yang mulai dipublikasikan.

Dari beberapa contoh di atas dapat disimpulkan bahwa untuk mengembangkan suatu kultivar tanaman memerlukan kesesuaian

lingkungan. Dari segi iklim diperlukan kondisi iklim yang dapat menunjang pertumbuhan seluruh tanaman sehingga menjamin produksi tinggi, dan mendorong pertumbuhan atau perkembangan organ panen sehingga mutunya terjamin. Dalam hal kesesuaian iklim dan tanaman/ kultivar, daerah pusat produksi suatu komoditas pertanian yang telah cukup lama, merupakan daerah iklim yang sesuai untuk kultivar tersebut, dari kenyataan ini dapat disusun definisi tentang kesesuaian iklim untuk suatu kultivar/tanaman sebagai berikut :

*"Kondisi iklim suatu tempat adalah cocok untuk suatu varietas tanaman apabila telah terbukti memungkinkan varietas tersebut dapat tumbuh dan berkembang baik serta menghasilkan produksi panen yang tinggi kuantitas maupun kualitasnya dalam kurun waktu panjang secara ekonomi menguntungkan sehingga kelestarian sebagai pusat produksi terjamin"*

Suatu wilayah dimana varietas tertentu dapat tumbuh baik sebagai tumbuhan belum tentu iklimnya cocok untuk varietas tersebut sebagai tanaman. Contohnya pohon kurma tumbuh subur di Indonesia tetapi tidak menghasilkan buah. Karet mudah tumbuh subur di Pasuruan tetapi pada musim kemarau produksi lateks akan turun drastis. Di Bogor yang hampir tidak bermusim kemarau kapas dan kapuk akan tumbuh subur dan berbuah lebat tetapi mutu seratnya rendah, kusut dan berwarna, karena selalu tertimpa air hujan setelah buah dan seratnya terbuka. Jadi kondisi iklim Bogor untuk tanaman kapuk dan kapas akan mendorong pertumbuhan dan produksi buah tetapi merusak mutu serat. Demikian pula tebu bila ditanam di Bogor kadar gulanya rendah karena intensitas radiasi dan

lama penyinaran kurang, sedangkan kadar air tanah senantiasa tinggi.

Banyak contoh-contoh pengembangan pusat produksi kultivar penghasil komoditas pertanian yang gagal karena ternyata adanya kendala ketidaksesuaian iklim yang kurang diperhitungkan sejak awal. Perkebunan tebu di Makariki (pulau Seram) yang gagal karena musim kemarau terlalu singkat, uji coba sekitar tahun 1960. Pada waktu bersamaan, terjadi kegagalan pengembangan kapas dan pabriknya di daerah Lombok Timur yang disebabkan karena musim hujan terlalu pendek tidak mencukupi pertumbuhan vegetatif. Kurang tingginya mutu kopi pada beberapa daerah di Sumatra Selatan, Bengkulu, dan Lampung mungkin disebabkan kurang panjangnya musim kemarau. Rendahnya mutu daun teh yang berasal dari perkebunan rakyat yang pada umumnya pada ketinggian kurang dari 1000 m dpl. terutama disebabkan kondisi suhu udara yang terlalu tinggi sehingga kadar zat aktif penentu rasa dan aroma kurang optimum. Tanaman teh memerlukan kondisi iklim yang dilematis. Bila ditanam di dataran rendah (< 1000 m dpl.) produksi daun per bulan tinggi karena pertumbuhan vegetatifnya cepat (pada suhu tinggi) tetapi rasa dan aromanya kurang baik. Di sisi lain, penanaman di dataran tinggi (> 1000 m dpl) menghasilkan rasa dan aroma teh yang baik tetapi produksi daun per bulan rendah karena pertumbuhan vegetatifnya lambat (karena suhu udara rendah). Gejala yang hampir sama terjadi juga pada berbagai kultivar penghasil zat penyegar dan minyak atsiri tertentu (kopi, kina, akarwangi, dsb.).

### C. Aspek Iklim Yang Berhubungan Erat Dengan Tanaman

Iklim adalah sintesis atau kesimpulan dari nilai unsur-unsur cuaca hari demi hari, bulan demi bulan selama kurun waktu bertahun-tahun di suatu tempat atau suatu wilayah. Sintesis tersebut sering dianggap sebagai nilai statistik yaitu rata-rata, maksimum, minimum, frekuensi kejadian, atau peluang kejadian dan sebagainya. Maka iklim sering dikatakan sebagai statistik cuaca jangka panjang di suatu tempat atau wilayah atau dapat pula diartikan sebagai sifat cuaca di suatu tempat atau wilayah (Nasir, A.A. dalam Handoko, Ir. 1993).

Mekanisme pembentukan iklim merupakan suatu proses amat rumit karena dalam sistem bumi - atmosfer sendiri terdapat lima komponen fisik yang masing-masing memiliki dinamika dan saling berinteraksi. Kelima komponen fisik itu adalah atmosfer, samudera, daratan, penutupan salju/ es, dan tetumbuhan (Rozari, M.BI. dalam Ahmad Bey. 1991).

Cuaca dan iklim adalah proses fisika yang berlangsung di atmosfer dimana tetumbuhan menjalani hidup. Atmosfer sumber gas CO<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub>, sumber air presipitasi dan radiasi surya, ruang pembuangan kelebihan panas dan uap air. Masih banyak peran atmosfer lainnya bagi tetumbuhan. Maka interaksi: atmosfer - iklim - tanaman sangat erat dan menentukan produksi pertanian.

## ATMOSFER

Ruang di permukaan bumi ini diisi oleh berbagai partikel halus terdiri dari kumpulan 18 macam gas, uap air, awan yang terdiri dari butir air dan es, dan aerosols yang terdiri dari garam, debu, abu,

asap dan jasad renik. Dari 18 macam gas, empat diantaranya yang memiliki volume terbesar adalah :

$$N_2 = 78,08 \% \quad Ar = 0,93 \% \quad O_2 = 20,94 \% \quad CO_2 = 0,03 \%$$

Gas  $CO_2$  adalah sumber tunggal atom C untuk tumbuhan yang selanjutnya untuk seluruh makhluk, dalam bentuk senyawa karbohidrat  $(CH_2O)_n$ . Secara terus menerus di bagian bumi yang mengalami siang hari  $CO_2$  diserap untuk menjalankan proses fotosintesis diikuti pelepasan  $O_2$ . Secara terus menerus proses respirasi atau pernapasan setiap makhluk hidup menyerap  $O_2$  dan melepaskan  $CO_2$  sebagai gas buang. Demikian pula seluruh proses pembakaran dengan bahan bakar kayu, minyak bumi, batubara dan berbagai bahan bakar fosil lainnya akan menambah gas buang  $CO_2$  sehingga jumlahnya di atmosfer akan meningkat dan menimbulkan efek pemanasan global.

Kandungan bermacam bahan halus berupa gas, uap dan aerosol di dalamnya menyebabkan atmosfer memegang peran penting pada sistem bumi - surya (Nasir, A.A. dalam Handoko. 1993) sebagai berikut :

1. Atmosfer adalah sumber gas dan air presipitasi.
2. Atmosfer adalah penyaring (filter) radiasi surya sehingga yang diterima di permukaan bumi dapat dimanfaatkan mahluk.
3. Atmosfer adalah penyangga (buffer) pada neraca energi sehingga permukaan bumi terhindar dari pemanasan dan pendinginan berlebihan.
4. Atmosfer mengatur mekanisme cuaca dan iklim di permukaan bumi.

Susunan gas kering (tanpa uap air) di atmosfer selengkapnya tercantum dalam Tabel 2.1

Tabel 2.1 Susunan Normal Udara Kering di Atmosfer.

Kelompok	Nama Gas	Lambang Kimia	Konsentrasi (% vol/ppm)	Berat Molekul
A. Gas Utama	Nitrogen	N <sub>2</sub>	78,08	28.02
	Oksigen	O <sub>2</sub>	20.94	32.00
	Argon	Ar	0.93	39.88
	Karbon Dioksida	CO <sub>2</sub>	0.03	44.00
B. Gas Penyerta				
1. Permanen	Neon	Ne	18.00ppm	20.18
	Helium	He	5.20 ppm	4.06
	Krypton	Kr	1.10 ppm	-
	Xenon	Xe	0.086 ppm	-
	Hidrogen	H <sub>2</sub>	0.52 ppm	2.02
	Nitrogen Oksida	N <sub>2</sub> O	0.25 ppm	-
	2. Tidak permanen (Reaktif)			
	Karbon Monoksida	CO	0.10 ppm	
	Metana	CH <sub>4</sub>	1.40 ppm	
	Hidrokarbon	HC	0.02 ppm	
	Nitrogen Oksida	NO	(0.20 – 2.00) x 10 <sup>-3</sup> ppm	
	Nitrogen Dioksida	NO <sub>2</sub>	(0.50 -4.00) x 10 <sup>-3</sup> ppm	
	Amoniak	NH <sub>4</sub>	(6.0 - 2.0) x 10 <sup>-3</sup> ppm	
	Sulfur Dioksida	SO <sub>2</sub>	(0.03 -1.20) x 10 <sup>-3</sup> ppm	
	Ozon	O <sub>3</sub>	(0.00 - 0.50) ppm	48.00

Sumber: Strans & Meinwaring (1984).

#### D. Respon Tanaman Terhadap Cuaca dan Iklim

##### BAHAN DAN LINGKUNGAN

Proses hidup, tumbuh dan berkembang pada tumbuhan dipengaruhi oleh berbagai faktor. Dari tiga proses inilah diperoleh produksi tanam budidaya. Tanaman harus didorong untuk tumbuh hingga berkembang agar menghasilkan organ yang dipanen, secara optimum.

Proses hidup, pertumbuhan (*growth*) dan perkembangan (*development*) untuk berproduksi tinggi pada tanaman dipengaruhi oleh berbagai faktor sebagai berikut:

1. Faktor genetik. Faktor ini merupakan penentu karakter atau sifat khusus tanaman. Kapasitas produksi, bentuk, rasa, susunan bahan kimia dan berbagai sifat lainnya ditentukan oleh faktor genetik.
2. Faktor bahan. Organ tumbuhan dibentuk oleh berbagai bahan yang meliputi:
  - \* energi cahaya tampak atau PAR (*Photosynthetically Active Radiation*) Spektrum radiasi surya pada kisaran panjang gelombang 0.38 - 0.74 mikron ini diubah menjadi energi kimia organik dan diisikan kedalam gugus karbohidrat pada sel organ.
  - \* Gas CO<sub>2</sub> untuk fotosintesis dan gas O<sub>2</sub> untuk respirasi atau pernapasan dari atmosfer. Perlu dicatat bahwa seluruh atom C yang dikandung setiap benda di dunia adalah berasal dari makhluk hidup dan atmosfer adalah sumber tunggalnya.

- \* Air sebagai pembentuk sel, berasal dari presipitasi yang berlangsung di atmosfer;
- \* Zat hara mineral makro maupun mikro berasal dari daerah perakaran sebagai penentu sifat gugus karbohidrat. Misalnya zat hara inti khlorofil adalah Mg, pada protein adalah N, dan sebagainya.

### 3. Faktor Lingkungan

- \* Kondisi fisik lingkungan perakaran sangat mempengaruhi tumbuhan. Pertumbuhan dan aktivitas akar, kemudahan memperoleh air dan zat hara serta kokohnya posisi tumbuhan tergantung kondisi fisik lingkungan.
- \* Kondisi fisik atmosfer. Kadar gas, uap dan aerosols sangat mempengaruhi kehidupan tumbuhan. Atmosfer yang dikotori gas dan aerosols tertentu yang melebihi ambang batas kebersihan dan kemurnian atmosfer, akan berpotensi mengganggu dan meracuni tanaman.
- \* Lingkungan biologi. Disekitar tanaman terdapat berbagai makhluk lain. Manusia, hewan, tumbuhan lain dan berbagai jasad renik seringkali berpotensi menguntungkan ataupun merugikan. Hubungan simbiosis menguntungkan tanaman - maupun makhluk lain yang bersangkutan. Sedangkan tanaman akan dirugikan bila hubungan yang terjadi berdampak allelopati, patogenik, parasitik dan predasi terhadap tanaman.
- \* Perubahan cuaca dan kondisi iklim. Pertumbuhan dan perkembangan dari hari-kehari berikutnya sejak sebar benih

hingga selesai satu siklus hidup pada tanaman semusim, atau pun hingga sepanjang umur tanaman perenial (tahunan) sangat dipengaruhi cuaca sedangkan kemantapan hubungan dan pengaruh jangka panjang ditentukan oleh kondisi iklim.

Pengaruh cuaca terhadap tanaman berbeda dengan pengaruh iklim, contohnya sebagai berikut: suatu wilayah pusat produksi tanaman yang telah berlangsung puluhan hingga ratusan tahun, kondisi iklimnya jelas sesuai bagi kultivar yang dibudidayakan. Misalnya iklim di daerah Deli, Sumatra Utara untuk kultivar tembakau pembungkus cerutu. Walau demikian sesekali mengalami cuaca ekstrim kering atau ekstrim basah selama beberapa hari sehingga gagal panen- Kuantitas produksi daun tembakau mungkin meningkat tetapi mutu tembakau kembali merosot.

Maka dapat disimpulkan bahwa: keadaan cuaca menentukan kondisi aktual hasil panen sedangkan kondisi iklim menentukan kapasitas hasil dan rutinitas panen.

Petani sebagai manajer harus paham terhadap kondisi lahan dan lingkungannya sehingga mampu menentukan strategi dalam mengelola usahatani yang menjadi tanggung jawabnya. Berbagai aspek sosial dan aspek ekonomi harus dipertimbangkan, sebelum melangkah keperencanaan teknik budidaya tanaman. Pemahaman yang baik terhadap hubungan cuaca - tanaman serta pengaruh iklim secara keseluruhan terhadap produksi akan memungkinkan pemanfaatan iklim sebagai sumberdaya pendorong keberhasilan usahatani.

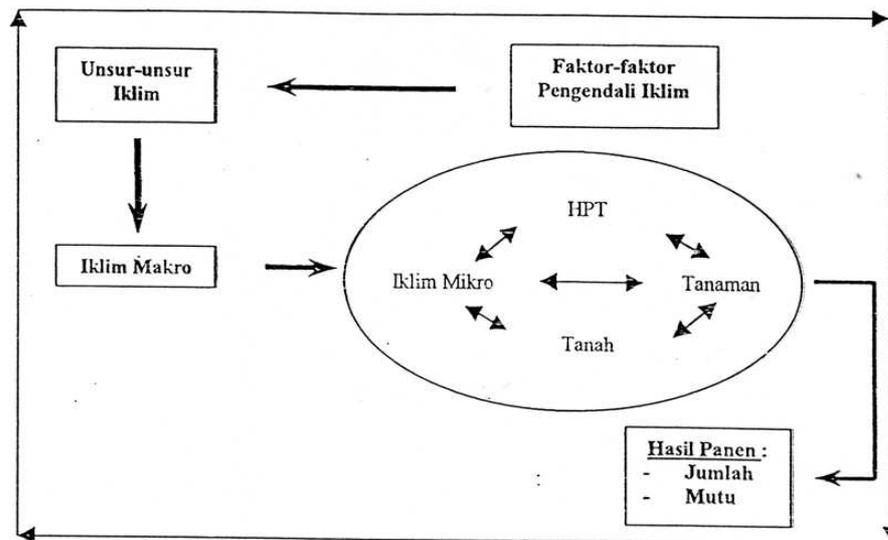
Sejak awal petani harus yakin bahwa kultivar yang akan ditanam memiliki kesesuaian optimum dengan lahan, lingkungan dan kondisi iklim setempat. Selanjutnya petani harus cepat tanggap terhadap keadaan cuaca tiap hari sehingga mampu mengantisipasi penyimpangan cuaca sehingga tidak sampai mengakibatkan cekaman terhadap tanaman. Suatu contoh, di negara maju pemasangan pengukur cuaca mikro (di kebun perwakilan iklim mikro jaringan pertanian), telah banyak dilakukan sehingga kondisi cuaca kritis dapat diantisipasi sebelum menimbulkan gangguan terhadap tanaman. Bila diperlukan petani mampu melakukan modifikasi terhadap iklim mikro sehingga tanaman tumbuh, berkembang dan berproduksi optimum.

Kondisi cuaca/iklim mikro secara langsung mempengaruhi proses fisiologi karena berhubungan dengan atmosfer dilingkungan tanaman sejak perakaran sampai puncak tajuk. Unsur yang berpengaruh kuat terutama radiasi surya, suhu udara, suhu tanah, kelembaban, angin, presipitasi dan evapotranspirasi. Mekanisme pengaruh faktor pengendali dan unsur iklim terhadap tanaman dan lingkungannya dapat dilihat pada Gambar 2.1

### AKTIVITAS STOMATA

Stomata tanaman terdapat dipermukaan daun. Sebagian tanaman dengan stomata dibagian atas dan lainnya dipermukaan daun bagian bawah. Fungsinya mengatur transpirasi dan fotosintesis. Proses membuka-menutup stomata adalah respon langsung tanaman terhadap radiasi surya, atmosfer dan air tanah. Proses tersebut diatur oleh sel jaga dengan perubahan tekanan turgornya. Bila tekanan

turgornya tinggi, kedua sel jaga saling merenggang membentuk lengkungan dan stomata terbuka. Stomata menutup bila tekanan turgor kedua sel tersebut turun.



Gambar 2.1. Mekanisme pengaruh iklim terhadap tanaman

Dalam kondisi alami pada keadaan terang maupun gelap, pasokan air kedaun dan konsentrasi  $\text{CO}_2$  disekitar stomata berpengaruh kuat terhadap proses stomata. Konsentrasi  $\text{CO}_2$  yang cukup tinggi di sekitar stomata dan pasokan air yang cukup menyebabkan stomata terbuka, dan keadaan yang sebaliknya akan menyebabkan penutupan.

Suhu udara ekstrim yaitu  $< 0\text{ }^\circ\text{C}$  dan  $> 35\text{ }^\circ\text{C}$  menyebabkan stomata menutup. Pada suhu beku tersebut ( $< 0\text{ }^\circ\text{C}$ ) transportasi air antara sel jaga dan sel epidermis sangat lambat, tekanan turgor sel jaga menurun dan stomata tertutup. Sebaliknya pada siang hari yang panas dan surya terik terjadi keseimbangan antara laju

transpirasi yang sangat cepat, dengan aliran pemasokan air **ke** daun hingga sel jaga yang lebih lambat. Sel jaga sementara kekurangan air, tekanan turgornya menurun dan stomata menutup sementara hingga tercapai kesetimbangan aliran air. Disamping penyebab tersebut ada sebab lain yaitu terjadi akumulasi  $\text{CO}_2$  di ruang inter selular daun. Adanya kenaikan suhu ekstrim pada tengah hari terik menyebabkan fotosintesis menurun karena kejenuhan cahaya terlampaui, sedangkan respirasi meningkat sehingga  $\text{CO}_2$  menumpuk (Prawiranata dkk, 1981). Terjadi reaksi asam, air tertarik keluar sel jaga, tekanan turgor sel jaga menurun dan stomata menutup.

Penutupan stomata hanya efektif terhadap penghentian transpirasi tetapi tidak menghentikan keluar- masuknya gas  $\text{CO}_2$  maupun  $\text{O}_2$ . Hal ini terbukti bahwa pada malam hari fotosintesis berhenti tetapi respirasi terus berlangsung.

## FOTOSINTESIS DAN RESPIRASI

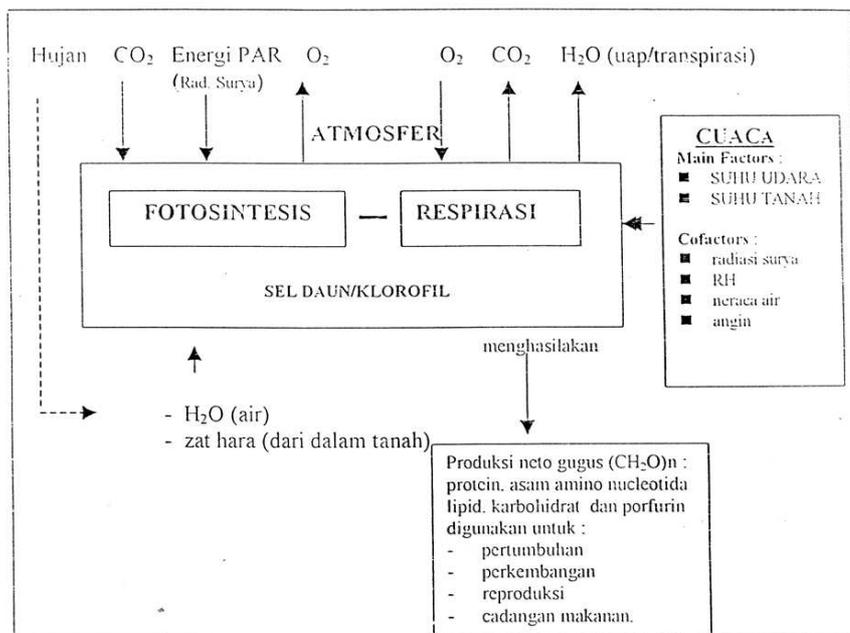
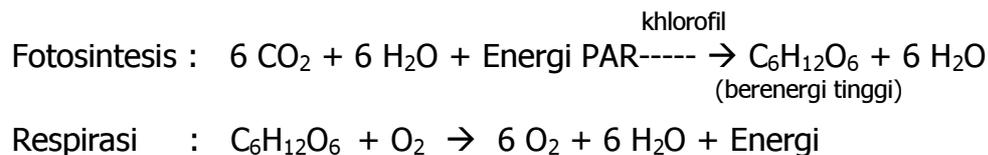
Tanaman menggunakan klorofil untuk menangkap, menyerap dan mengubah energi cahaya surya PAR pada spektrum 0.38 - 0.74 mikron menjadi energi kimia melalui proses fotosintesis. Dalam proses ini  $\text{CO}_2$  dari atmosfer dan  $\text{H}_2\text{O}$  dari perakaran diubah menjadi glukosa, yaitu suatu karbohidrat sederhana ( $\text{C}_2\text{H}_{12}\text{O}_6$ ), dan  $\text{O}_2$  dilepas ke atmosfer. Melalui proses metabolisme di dalam sel tanaman,  $\text{C}_2\text{H}_{12}\text{O}_6$  diproses menjadi berbagai bahan karbohidrat  $(\text{CH}_2\text{O})_n$  yang molekulnya lebih besar, dengan kandungan energi kimia lebih tinggi. Bahan-bahan tersebut adalah lipid, asam nucleat, protein dan molekul organik ini disimpan di berbagai organ seperti daun, batang, akar, umbi, biji, seluruh jaringan dan sistem organ lainnya.

Pertumbuhan atau peningkatan ukuran panjang, luas, volume dan berat organ adalah proses kerja sehingga memerlukan energi. Hal ini dipengaruhi dengan membakar sebagian karbohidrat hasil fotosintesis melalui proses respirasi untuk memperoleh energi. Selama hidup, tanaman memerlukan energi untuk menyelenggarakan berbagai kerja organ, yaitu pertumbuhan, perkembangan dan reproduksi. Dari proses respirasi yang berlangsung terus menerus, dikeluarkan gas  $O_2$  ke atmosfer.

Reaksi respirasi adalah kebalikan dari reaksi fotosintesis, kedua reaksi ini berlangsung serentak. Proses respirasi berlangsung berkelanjutan selama hidup, dan hanya diminimumkan / dilambatkan pada saat tumbuhan atau organnya sedang dorman. Contohnya tanaman dorman diwaktu musim winter, benih atau bibit yang belum berkecambah, dan tanaman meranggas (menggugurkan daun) dimusim kemarau menunggu datangnya hujan. Sedangkan proses fotosintesis hanya berlangsung selama periode cahaya siang hari, atau adanya perlakuan cahaya buatan dengan lampu.

Neraca proses fotosintesis dan respirasi harus menghasilkan saldo positif dipihak fotosintesis. Hasil karbohidrat netto inilah yang memungkinkan pertumbuhan dan perkembangan tanaman, dan pengisian organ- organ cadangan. Akhirnya seluruh bagian organ yaitu akar, batang, daun, buah, biji, berbagai umbi serta organ lainnya terisi karbohidrat netto yang kaya energi kimia (Gambar 2.2)

Hubungan cuaca/iklim dengan kehidupan tumbuhan/ tanaman secara esensial diawali dari pengaruh cuaca terhadap kedua proses metabolisme tersebut.



Gambar 2.2. Hubungan metabolisme (fotosintesis, respirasi dan transpirasi) dan faktor lingkungan (atmosfer, tanah, air, radiasi surya, dan iklim/cuaca)

Proses fotosintesis dan respirasi tergantung kepada pengaruh radiasi surya, gas  $\text{CO}_2$  dan  $\text{O}_2$  di atmosfer, kadar air di daerah perakaran (tanah), pengaruh suhu udara dan pengaruh suhu tanah. Sedangkan seluruh unsur khususnya iklim mikro disekeliling tumbuhan saling berinteraksi. Akhinya dapat disimpulkan bahwa fotosintesis dan respirasi dipengaruhi langsung oleh unsur cuaca/ iklim utama yaitu radiasi surya dan suhu sebagai "main factors" dan unsur- unsur lainnya sebagai faktor pendukung atau "cofactors". Secara terpisah hubungan tiap unsur secara garis besar diterangkan sebagai berikut.

## 1. Cahaya

Radiasi surya terdiri dari spektra ultraviolet (panjang gelombang < 0.38 mikron) yang berpengaruh merusak karena daya bakarnya sangat tinggi; spektra Photosynthetically Active Radiation (PAR) yang berperan membangkitkan proses fotosintesis; dan spektra infra merah ( > 0,74 mikron) yang merupakan pengatur suhu udara. Spektra radiasi PAR dapat dirinci lebih lanjut menjadi pita-pita spektrum yang masing-masing memiliki karakteristik tertentu (Tabel 1). Ternyata spektrum biru memberikan sumbangan yang paling potensial dalam fotosintesis.

Pada fotosintesis pengikatan energi cahaya berlangsung di saat terjadi asimilasi fosfat yakni sebagai berikut:



Terlihat bahwa Adenosin Diphosphate (ADP) pada sel khlorofil setelah memperoleh cahaya cukup akan mengikat ion fosfat (Pi) untuk membentuk Adenosin Triphosphate (ATP) sebagai persenyawaan fosfat yang sangat tinggi kandungan energi kimianya. Pada saatnya nanti tubuh tanaman memerlukan energi dan sebagian ATP akan dibakar dan diurai kembali menjadi ADP pada proses respirasi. Dari proses kebalikan fotosintesis tersebut dihasilkan energi (energi kimia). Penurunan intensitas cahaya, khususnya spektrum biru, menyebabkan turunnya kadar ATP dan NADPH<sub>2</sub> (Dihidroxy Nicotin Amide Dinucleotide

Phosphate) sehingga laju fotosintesis berkurang. Di siang hari terik dan langit bersih di waktu musim kemarau intensitas cahaya surya dapat mendekati jumlah 10.000 ft.c (foot candle) tetapi hanya 25 - 30% yang dimanfaatkan tanaman (pada umumnya) sesuai dengan tingkat kejenuhan cahaya. Kadangkala dapat mencapai 60%. Hanya daun paling luar dari tajuk suatu tanaman yang dapat mencapai jenuh cahaya sedangkan lapisan daun sebelah dalam/ bawah hanya dapat menggunakan cahaya dalam jumlah semakin kecil karena terlindung. Pada tingkat cahaya jenuh penambahan intensitas cahaya tidak meningkatkan intensitas fotosintesis. Tingkat kejenuhan cahaya beberapa kultivar terlihat sebagai berikut (Tabel 2).

Tabel 2.2. Rincian Spektrum Radiasi Surya dan Pengaruhnya Pada Tumbuhan (The Dutch Committee on Plant Irradiation, di dalam Chang, 1976)

Nomor Pita	Nama Spektrum	Panjang Gelombang (mikron)	Pengaruh pada Tumbuhan
I	Infra merah	> 1.00	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diserap dan diubah tumbuhan menjadi panas sensibel</li> <li>• Tidak mempengaruhi proses biokimia</li> </ul>
II.	Merah jauh (Far red)	0.72-1.00	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pemanjangan batang dan organ lainnya</li> <li>• Mempengaruhi fotoperiodisme, perkecambahan, pembungaan dan pewamaan buah.</li> </ul>
III.	Merah	0.61 -0.72	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sebagian besar diserap khiorofil untuk fotosintesis</li> <li>• Mempengaruhi fotoperiodisme.</li> </ul>

IV.	Hijau dan kuning	0.51 -0.61	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pengaruhnya lemah, terhadap fotosintesis maupun aktivitas pembentukan sel</li> </ul>
V.	Biru	0.41 -0.51	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Spektrum yang terkuat penyerapannya oleh khlorofil</li> <li>• Terkuat pengaruhnya pada fotosintesis dan pembentukan organ, khususnya pada spektrum violet- biru. "" ' "</li> </ul>
VI.	Ultra violet	0.315-0.41	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mempengaruhi pembentukan organ daun menjadi lebih sempit dan tebal.</li> </ul>
VII.	Ultra violet	0.280-0.315	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Merusak sel tumbuhan</li> </ul>
VIII.	Ultra violet	< 0.280	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mematikan sel tumbuhan dengan cepat</li> <li>• Membunuhjasad renik</li> </ul>

Tabel 2.3. Instensitas Cahaya Jenuh Untuk Beberapa Kultivar tanaman

Kultivar Tanaman	Intensitas Cahaya Jenuh (foot candle)
<u>Beberapa Tanaman Heliofit:</u>	
1. Tebu ( <i>Saccharrum officinarum</i> )	6000
2. Padi ( <i>Oryza sativa</i> ) : <i>Yaponica</i> (padi subtropika) <i>Indica</i> (padi tropika)	5000 - 6000 3800
3. Gandum ( <i>Triticum aestivum</i> )	5300
4. Bit Gula ( <i>Beta vulgaris</i> )	4400
5. Kentang ( <i>Solanum tuberosum</i> )	3000
6. Jagung ( <i>Zea mays</i> )	2500 – 3000
7. Alfalfa ( <i>Medicago sativa</i> )	3400 - 4700
8. Bunga matahari ( <i>Helianthus annuus</i> )	2800
9. Kedelai ( <i>Glycyne max</i> )	2300
10. Tomat ( <i>Lycopersicum esculentum</i> )	2000
11. Tembakau ( <i>Nicotiana tabacum</i> )	2300
12. A pel ( <i>Malus sylvestris</i> )	4050 - 4400
13. Castor bean	2200
14. Kapas ( <i>Gossypium hirsutum</i> )	2000

## 2. Suhu Daun, Suhu Udara dan Suhu Tanah

Fotosintesis dan respirasi merupakan reaksi kimia pada makhluk biologi (makhluk hidup) dikenal dengan nama proses biokimia; Proses tersebut adalah proses kimia. Intensitas kecepatan reaksinya sangat ditentukan oleh aktivitas katalisator. Hanya saja pada proses biokimia katalisatornya adalah enzim, yang daya toleransinya terhadap suhu lingkungan sangat terbatas dan bervariasi untuk tiap varietas tanaman karena enzim terbuat dari protein yang spesifik. Pada batas kisaran toleransi optimum, semakin tinggi suhu akan semakin meningkat aktivitas dari enzim, yang akhirnya akan meningkatkan produk fotosintesis dan respirasi. Meningkatnya suhu dari angka optimumnya akan mengakibatkan penurunan produk, karena mulai terjadi perusakan enzim, yang akhirnya proses fotosintesis dan respirasi akan berhenti bila seluruh enzim rusak (mengurai) oleh suhu yang terlalu tinggi.

Produk fotosintesis bruto sangat ditentukan oleh intensitas radiasi PAR dan tingginya suhu daun yang diakibatkan oleh penyerapan radiasi gelombang pendek tersebut. Terutama pada daun yang memperoleh radiasi surya langsung di puncak tajuk, laju fotosintesis tidak terlalu terpengaruh oleh suhu udara. Sedangkan untuk respirasi yang berlangsung kontinu 24 jam dan kecepatannya sangat dipengaruhi oleh suhu udara atau radiasi infra merah.

Intensitas cahaya tinggi di siang hari berakibat meningkatkan hasil fotosintesis bruto. Bila siang hari cahaya surya terik kemudian diikuti oleh suhu udara rendah di malam hari, hal

tersebut menguntungkan bagi tanaman karena akan meningkatkan produk fotosintesis netto. Pengurangan produk fotosintesis oleh respirasi sangat ditentukan oleh suhu udara. Suhu udara yang terus menerus tinggi akan mengurangi produk fotosintesis netto.

Suatu contoh : tanaman kentang, wortel dan lobak yang bertoleransi baik pada suhu udara rendah di daerah pegunungan (>1000 m dpl), produksi umbinya akan menurun secara bertahap pada daerah- daerah ketinggian yang lebih rendah. Sebaliknya pada jenis- jenis tanaman yang bertoleransi baik pada suhu udara tinggi (seperti : padi, kedelai, kacang tanah dsb.) produk fotosintesis nettonya dalam bentuk biji akan semakin berkurang dengan peningkatan ketinggian tempat . Suhu rendah akan mengurangi kecepatan reaksi metabolisme (fotosintesis dan respirasi), sehingga pertumbuhan generatif untuk menghasilkan biji terhambat dan akibatnya produksi biji menurun. Ditinjau dari respon terhadap suhu udara, terdapat tiga batas suhu penting (suhu kardinal) pada tanaman yaitu suhu minimum, suhu optimum dan suhu maksimum.

Untuk beberapa kultivar tanaman tercantum pada Tabel 3. Tabel tersebut di atas memudahkan kita memilih kesesuaian tanaman dan wilayah penempatannya. Kesesuaian antara suhu udara dan tinggi tempat di Indonesia dapat dihitung dengan rumus Braak.

Tanaman mengalami dua proses hidup yakni tumbuh (bertambah ukuran panjang, luas, volume dan bobot) dan berkembang yakni mengalami penggandaan dan pemisahan fungsi organ melalui fase-fase benih, kecambah, pertumbuhan

vegetatif dan pertumbuhan generatif bunga buah dan biji untuk memperoleh generasi baru (benih baru). Dalam batas kisaran toleransi kenaikan suhu udara akan diikuti oleh kenaikan laju pertumbuhan dan semakin pendeknya periode antar fase perkembangan. Dalam hal ini untuk tanaman semusim peningkatan suhu udara akan menyebabkan semakin pendek umurnya.

Tabel 2.4. Batas-batas Suhu Kardinal beberapa Tanaman.

Tanaman	Suhu Lingkungan (°C)		
	Minimum (dorman)	Kisaran Optimum	Maksimum
1. Apel ( <i>Malus sylvertris</i> )	- 18	11 - 20	24
2. Gula Bit ( <i>Beta vulgaris</i> )	-7	18-22	30
3. Kentang ( <i>Solanum tuberosum</i> )	- 2	15-20	26
4. Anggur ( <i>Vitis vinivera</i> )	2	20 - 25	35
5. Gandum ( <i>Triticum aestivum</i> )	5	15-20	25
6. Kubis ( <i>Brassica oleracea</i> )	5	10- 16	24
7. Asparagus	10	24 - 30	35
8. Sorgum ( <i>Solanum vulgare</i> )	10	26 - 29	44
9. Pisang ( <i>Musa sp</i> )	10	25 - 30	37
10. Tomat ( <i>Solanum esculentum</i> )	14	18-24	26
11. Semangka ( <i>Cucumis sp</i> )	15	22 - 30	40
12. Melon ( <i>Cucumis melo</i> )	15	25 - 27	-
13. Kapas ( <i>Gossypium hirsutum</i> )	15	25-30	35
14. Tembakau ( <i>Nicotiana tabaccum</i> )	15	20 - 30	35
15. Tebu ( <i>Saccarum officinarum</i> )	15	22 - 30	35
16. Padi ( <i>Oryza sativa</i> )	18	22 - 30	25
17. Wortel ( <i>Daucus carota</i> )	5	7-24	35

### 3. Kelembaban Udara Nisbi (Relative Humidity)

Udara lembab akan berakibat menghambat transpirasi sehingga mengurangi laju transportasi larutan zat hara dan tanah ke organ tanaman. Sedangkan RH yang terlalu rendah dapat menyebabkan laju transpirasi (kadang-kadang) berlebihan sehingga dapat menyebabkan daun layu sementara, sampai aliran

air dari akar dapat mengimbangnya. Hal ini sering terlihat pada tanaman di kebun di saat tengah hari yang sangat terik.

#### 4. Angin

Atmosfer stabil sering menyebabkan udara diam berkepanjangan dan tidak menguntungkan bagi metabolisme daun, karena menghambat penyerapan dan pembuangan gas panas pada proses fotosintesis dan respirasi. Tiupan angin akan meningkatkan aliran difusi gas CO<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> di permukaan daun sehingga memperlancar proses fotosintesis dan respirasi. Akan tetapi kecepatan angin yang terlalu tinggi dapat merusak organ tanaman dan juga memperluas penyebaran jasad renik patogen (penyakit).

#### 5. Neraca Air (Presipitasi dan Evapotranspirasi)

Air merupakan suatu bahan yang mutlak diperlukan tanaman, karena fungsinya yang sangat luas bagi organ tumbuhan, yaitu meliputi : Air sebagai zat reaksi/ reagen, Air sebagai pelarut dan pengangkut bahan/zat hara, Air sebagai pembentuk dan pengisi sel, Air sebagai pendingin atau pembuang kelebihan panas dari daun, Air sebagai pengatur tekanan turgor.

Tanaman segar umumnya mengandung 90% air, sehingga kekurangan air dari juri jumlah yang diperlukan mudah menimbulkan masalah. Kebutuhan air bagi tanaman sangat bervariasi sesuai dengan daya toleransinya, terutama pada daerah perakaran.

Tumbuhan mempunyai daya toleransi berbeda terhadap kadar air tanah, berdasarkan kadar toleransinya tumbuhan dapat dibedakan kedalam empat golongan sebagai berikut (Tabel 4.).

Tabel 4. Penggolongan tumbuhan/tanaman berdasarkan kondisi kadar air tanah

Golongan Tumbuhan/Tanaman	Layu Permanen (% penurunan KAT dari KL)	Tumbuhan/Tanaman Contoh
HIDROFIT	<20	- Teratai - Padi Sawah - Berbagai tumbuhan rawa
MESOFIT	20 – 25	- Tumbuhan/Tanaman lahan kering dan pekarangan
XEROFIT - MESOFIT	25 – 50	- Sorghum - Tumbuhan/tanaman daerah kering
XEROFIT	50 - 75	- Tumbuhan/tanaman sukulen - Kaktus

Daerah pertanian lahan kering atau daerah tadah hujan, penentuan kebutuhan air tanaman sangat tergantung kepada evapotranspirasi. Sedangkan pemenuhan kebutuhan tersebut tergantung kepada curah hujan dan kemampuan tanah menyimpan air.

Curah hujan yang tidak deras dan berlangsung lama akan lebih efektif mengisi lapisan pori tanah. Pada saat hujan deras, mudah terjadi aliran permukaan (*run off*) bila intensitas hujan melebihi kecepatan infiltrasi dan perkolasi. Akibat lainnya adalah mudah terjadi perusakan butir tanah akibat energi kinetik yang tinggi sehingga menyebabkan erosi. Perusakan oleh energi kinetik butir air hujan terhadap tanaman diantaranya terhadap daun, bunga, dan buah sering menurunkan produksi.

Kemiringan lahan juga memudahkan erosi dan mengurangi efektivitas infiltrasi, perkolasi dan penyimpanan air oleh tanah.

Daya simpan air di dalam tanah ditentukan antara lain oleh tekstur, struktur dan kepadatan tanah. Tekstur liat yang berukuran butiran kecil tanah lebih mudah menyimpan air dibandingkan tekstur tanah yang lebih besar seperti lempung, debu dan pasir. Demikian pula kepadatan tanah yang terlalu besar mempersulit penyimpanan air.

#### Pertanyaan dan Tugas

- a. Jelaskan peranan iklim terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman
- b. Jelaskan peranan masing-masing unsur iklim terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman

#### Referensi

Nasir, Abujamin Ahmad. 1999. Hubungan Iklim dan Tanaman. Bahan Pelatihan Dosen-dosen PTN Indonesia Bagian Barat bidang Agroklimatologi. IPB. Bogor.

### III. UNSUR IKLIM DAN PENGUKURANNYA

Tujuan Instruksional Khusus
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mahasiswa diharapkan mampu untuk menjelaskan mekanisme pembentukan iklim</li> <li>2. Mahasiswa diharapkan mampu untuk menjelaskan cara pengukuran unsur-unsur iklim</li> </ol>

#### A. Mekanisme Pembentukan Iklim

Iklim terbentuk melalui proses integrasi berbagai unsur fisika yang disebut pula unsur-unsur iklim ("*Climatic elements*"). Energi pembangkit proses fisika yang membentuk cuaca dan iklim adalah penerimaan radiasi surya. Rotasi bumi menyebabkan tiap tempat mengalami perubahan cuaca dan iklim dengan pola siklus diurnal jangka waktu 24 jam. Revolusi bumi mengakibatkan tiap tempat juga mengalami perubahan cuaca dan iklim secara teratur dengan pola antar bulan dan pola musim dalam jangka waktu setahun.

Penyebaran iklim antar tempat diseluruh dunia secara global sangat beragam, dikendalikan oleh faktor-faktor alamiah yang disebut faktor- faktor pengendali iklim ("*Climatic controls*").

Skema mekanisme pembentukan iklim di dunia (Trewartha GT., 1980) disajikan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram Mekanisme Pembentukan, Stratifikasi dan Distribusi Iklim (Nasir, .A.A. modifikasi Trewartha, 1968).

## B. Faktor Pengendali Iklim dan Unsur-unsur Iklim

Keragaman iklim antar wilayah di seluruh dunia dikendalikan beberapa faktor alam sebagai berikut :

- 1) Daya pancar radiasi dipermukaan surya.
- 2) Derajat lintang tiap tempat dipermukaan bumi.
- 3) Ketinggian tempat di atas permukaan laut (meter dpl.).
- 4) Halangan pegunungan / Topografi.
- 5) Pusat- pusat tekanan tinggi dan rendah semi permanen.
- 6) Posisi tempat terhadap Samudera.
- 7) Gerakan massa udara regional.
- 8) Arus lautan.

Diantara faktor tersebut 2), 3), 5) dan 7) berpengaruh jelas terhadap tanaman dan pertanian di Indonesia.

Derajat lintang bumi mengendalikan penerimaan radiasi surya di tiap tempat sehingga mengatur sebaran energi untuk proses biologi tumbuhan. Akibatnya terjadi perubahan teratur antar derajat lintang bumi di seluruh dunia dalam hal intensitas penerimaan radiasi

surya, panjang hari, suhu udara dan juga presipitasi. Hal ini berakibat kepada sebaran keragaman varietas tumbuhan dan "*growing season*" (periode tumbuhan tumbuh aktif). Akhirnya perubahan derajat lintang yang cukup besar akan berakibat kepada aktivitas pertanian.

Ketinggian tempat di atas permukaan laut mudah berubah antar tempat pada jarak pendek faktor ini berpengaruh terhadap suhu udara. Penurunan suhu udara berhubungan erat dengan kenaikan tinggi tempat. Laju penurunan suhu udara terhadap kenaikan tinggi tempat atau *lapse rate* suhu rata-rata sedunia adalah  $dt/dz = -6.5 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$  dan rata-rata di Indonesia  $dt/dz = -6.1 \text{ }^\circ\text{C}/1000 \text{ m}$ . Berdasarkan Braak (1929) rata-rata suhu pantai ( $t_{z_0}$ ) adalah  $26.3 \text{ }^\circ\text{C}$  maka setiap tempat dihitung suhu udara rata-rata tahunannya ( $t_{z_1}$ ) asalkan diketahui ketinggian tempatnya ( $Z_1$  dalam km.), dengan persamaan :

$$\begin{aligned} \rightarrow t_{z_1} &= (t_{z_0} - z_1)/6.1 \text{ }^\circ\text{C} \\ &= (26.3 - z_1)/6.1 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Perpindahan pusat-pusat tekanan udara tinggi dan rendah semi permanen antar benua di belahan bumi berbeda seperti contoh antara benua asia dan australia membangkitkan gerakan massa udara regional yang berganti arah setiap enam bulan, disebut aktivitas *Monsoon* atau Angin musim. Fakta membuktikan bahwa tipe angin ini telah mengakibatkan pola distribusi air hujan dan musim (Musim hujan dan musim kemarau) disebagian besar kepulauan Indonesia. Selanjutnya juga telah mengakibatkan pola pewilayahan tanaman pangan dan tanaman perkebunan serta pola kegiatan pertanian

### C. Pengukuran Unsur-unsur Iklim

#### UNSUR-UNSUR IKLIM

Iklim adalah sintesis, kesimpulan atau statistik cuaca jangka panjang. Menurut Organisasi Meteorologi Sedunia (*World Meteorological Organization/ WMO*) waktu ideal untuk pengumpulan data iklim dari data cuaca adalah 30 tahun. Cuaca adalah kondisi sesaat atau sehari dari fisika atmosfer. Jadi unsur-unsur iklim dan unsur- unsur cuaca sama.

Unsur-unsur iklim dan satuannya sebagai berikut:

1. Radiasi surya meliputi :
  - \* intensitas radiasi ( $\text{kal cm}^{-2} \text{ menit}^{-1}$ ,  $\text{Wm}^{-2}$ )
  - \* intensitas cahaya/ PAR (foot candle, lux, lumen)
  - \* lama penyinaran ( $\text{jam hari}^{-1}$ , %)
  - \* panjang hari ( $\text{jam hari}^{-1}$ )
2. Suhu Udara dan Suhu Tanah ( $^{\circ}\text{C}$ ) :
  - \* maksimum, minimum, rata- rata
3. Kelembaban Udara Nisbi (%) :
  - \* maksimum, minimum, rata- rata
4. Tekanan Udara (mb) :
  - \* maksimum, minimum, rata- rata
5. Angin :
  - \* Kecepatan Angin ( knot atau mil laut  $\text{jam}^{-1}$ ,  $\text{km jam}^{-1}$ ,  $\text{m det}^{-1}$ )
  - \* Arah angin (derajat arah)
6. Presipitasi :
  - \* Curah Hujan (mm)
  - \* Hari Hujan (hari)
  - \* Salju (mm)
  - \* Embun (mm)
7. Penguapan (mm) :
  - \* Evaporasi permukaan air (Eo)

- \* Evapotranspirasi (ET)
- \* Evapotranspirasi Potensial (ETP).

#### a. Stasiun Klimatologi

Stasiun klimatologi umumnya dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu stasiun klimatologi lengkap dan stasiun klimatologi tidak lengkap.

Stasiun Klimatologi tidak lengkap adalah suatu bangunan di lokasi terbuka, berukuran minimal 2 x 4 meter yang dalam bangunan itu ditempatkan alat untuk mengukur data cuaca antara lain :

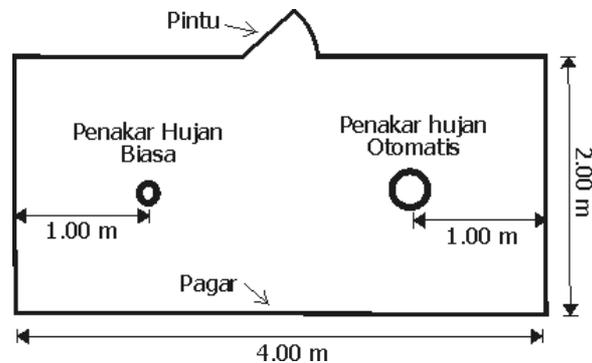
- 1) alat ukur hujan biasa (*rain gauge*), yaitu alat ukur tebal curah hujan yang datanya dicatat secara manual oleh seorang pengamat.
- 2) Alat ukur curah hujan otomatis (*automatic rainfall recorder*), yaitu alat ukur tebal curah hujan yang dicatat secara otomatis.

Stasiun Klimatologi Lengkap, adalah suatu bangunan di lokasi terbuka berukuran minimal 6 x 10 meter, untuk menempatkan alat ukur unsur cuaca. Alat-alat tersebut antara lain :

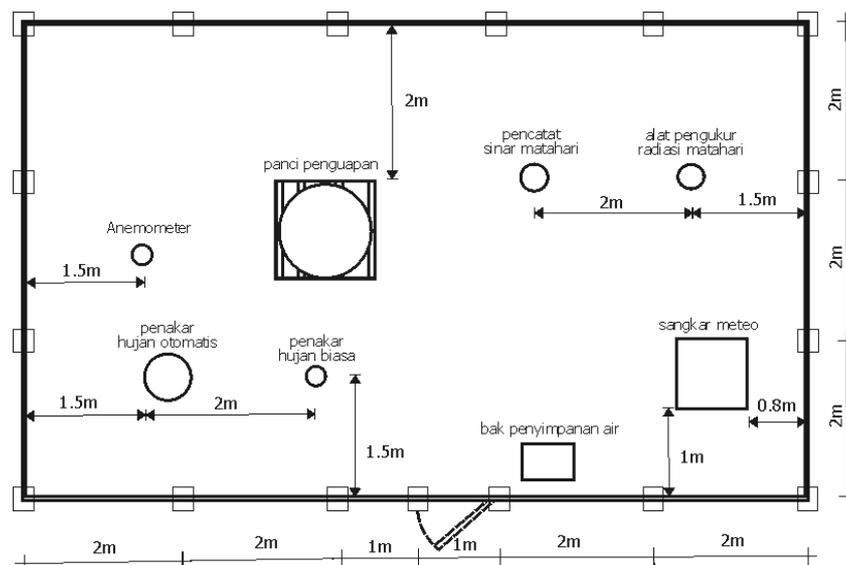
- 1) Alat ukur hujan biasa (*rain gauge*)
- 2) Alat ukur hujan otomatis (*automatic rainfall recorder*)
- 3) Termometer maksimum (*maximum thermometer*), yaitu alat ukur suhu udara yang terbuat dari gelas dengan bejana berbentuk bola dan bagian ujungnya berisi air raksa.
- 4) Termometer minimum (*minimum thermometer*), yaitu alat ukur suhu udara, terbuat dari gelas berbentuk garpu dan bagian ujungnya berisi alkohol.
- 5) Termometer bola kering (*dry bulb thermometer*), yaitu alat ukur suhu udara yang terbuat dari gelas dengan bejana berbentuk bola berisi air raksa dalam keadaan kering.

- 6) Termometer bola basah (*wet bulb thermometer*), yaitu alat ukur suhu udara terbuat dari gelas dengan bejana berbentuk bola berisi air raksa yang ujungnya dibalut kain kassa yang dicelupkan ke dalam air.
- 7) Termohigrograf (*thermohygrograph*), yaitu alat ukur suhu udara dan kelembaban secara otomatis.
- 8) Anemometer (*anemometer*), yaitu alat ukur kecepatan angin.
- 9) Sangkar meteo (*meteo shelter*), yaitu bangunan berbentuk rumah yang terbuat dari kayu, berdinding jalusi dan dicat putih yang berfungsi untuk menempatkan :
- 10) Termohigrograf
- 11) Termometer bola basah
- 12) Termometer bola kering
- 13) Termometer maksimum
- 14) Termometer minimum
- 15) Pencatat durasi (lama) penyinaran matahari (*sunshine recorder*), yakni alat untuk mengukur lamanya penyinaran matahari.
- 16) Aktinograf (*actinograph*), yakni alat pencatat energi matahari.
- 17) Panci penguapan (*pan evaporation*), adalah alat ukur besarnya penguapan permukaan air terbuka yang dilengkapi dengan :
  - takaran berskala, berupa canting dari pipa besi yang dilengkapi skala untuk mengukur penguapan dari panci.
  - Tabung penenang, berupa alat terbuat dari pipa besi dengan diameter 3 inci, tinggi 20 cm yang didalamnya dipasang besi runcing yang berfungsi sebagai titik pedoman (*fixed point*) gunanya untuk menentukan posisi air dalam panci penguapan.

Umumnya panci penguapan mempunyai diameter 122 cm (4 ft) dan tingginya 25.4 cm (10 inch), dipasang padaudukan terbuat dari rangkaian kayu.



Gambar 3.2. Denah stasiun klimatologi tidak lengkap



Gambar 3.3. Denah stasiun klimatologi lengkap

#### b. Suhu Udara

Suhu udara dapat disebut sebagai ukuran derajat panas udara. Beberapa faktor yang mempengaruhi suhu udara diantaranya : tinggi tempat, daratan atau lautan, radiasi matahari, indeks datang matahari, angin, dsb. Suhu udara umumnya diukur

berdasarkan skala tertentu menggunakan termometer. Satuan suhu udara di Indonesia umumnya derajat Celcius ( $^{\circ}\text{C}$ ). di beberapa negara lain menggunakan satuan Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ), Reamur ( $^{\circ}\text{R}$ ) atau Kelvin ( $^{\circ}\text{K}$ ). Hubungan ( $t^{\circ}\text{C}$ ) dengan skala yang lain adalah :

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9}(t^{\circ}\text{F} - 32) \qquad t^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5}(t^{\circ}\text{C}) + 32$$

$$t^{\circ}\text{R} = \frac{4}{5}t^{\circ}\text{C} \qquad t^{\circ}\text{K} = t^{\circ}\text{C} + 273$$

Berdasarkan prinsipnya, termometer dapat digolongkan kedalam empat macam :

- 1) Termometer dengan prinsip pemuaian
- 2) Termometer dengan prinsip perubahan tahanan listrik
- 3) Termometer dengan prinsip perubahan tekanan dan volume gas
- 4) Termometer dengan prinsip perubahan panjang gelombang cahaya yang dipancarkan oleh suatu permukaan bersuhu tinggi.

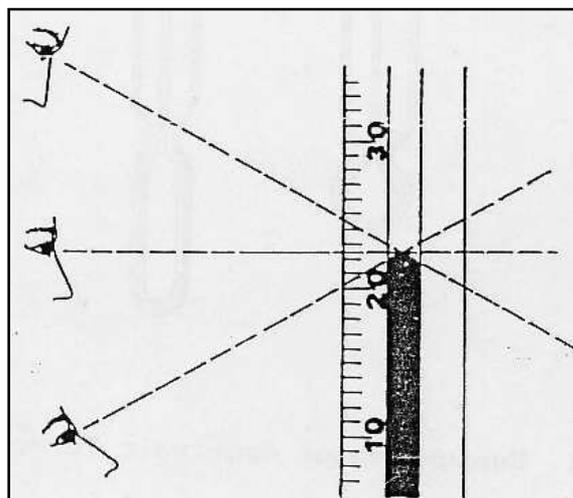
Pada umumnya yang banyak digunakan di stasiun agroklimatologi atau agrometeorologi adalah termometer yang menggunakan prinsip pemuaian dan termometer yang menggunakan prinsip perubahan tahanan listrik.

Dalam menggunakan termometer, beberapa hal yang harus diperhatikan adalah sebagai berikut :

- Termometer harus dipasang sesuai dengan jenis dan kebutuhannya. Misalnya termometer suhu udara dan tanah dipasang tegak lurus. Termometer minimum dipasang miring sebesar  $3^{\circ}$  dan termometer maksimum dipasang pada

kemiringan sekitar  $2^\circ$ , terhindar dari radiasi surya dan bumi secara langsung.

- Sensor harus diletakkan pada lingkungan yang representatif sesuai dengan tujuan pengukuran.
- Pembacaan harus dilakukan dengan cepat dan diusahakan pengaruh badan pengamat terhadap termometer sekecil mungkin.
- Pada waktu melakukan pembacaan pada termometer, mata harus sejajar dengan tinggi permukaan air raksa atau alkohol yang ada dalam pipa kapiler untuk menghindari kesalahan pembacaan (paralaks). Cara melakukan pembacaan dapat dilihat seperti pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Cara melakukan pembacaan termometer

Beberapa jenis termometer yang biasanya dipakai untuk pengukuran suhu udara dan tanah di pos klimatologi antara lain :

a. Termometer merkuri biasa (*ordinary thermometer*)

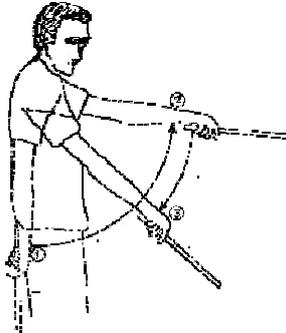
Termometer ini umumnya digunakan untuk pengamatan rutin, terutama dalam menentukan suhu udara pada saat memasang kertas grafik suhu pada termohigrograf, atau dalam pengecekan suhu.

b. Termometer maksimum

Termometer maksimum adalah termometer cairan air raksa (Hg) yang dilengkapi dengan bagian penyempitan. Apabila suhu udara bertambah panas, maka air raksa akan memuai dan bergerak dari bola bejana, air raksa di bagian bawah (kiri) ke bagian atas (kanan) melalui bagian penyempitan. Namun bila suhu udara kembali dingin, posisi air raksa tersebut tetap seperti pada suhu udara maksimum yang terukur.

Pembacaan pada termometer maksimum dilakukan pada ujung kolom air raksa dan posisi termometer terpasang pada kemiringan sekitar  $2^{\circ}$  ke arah bola air raksa terhadap bidang horizontal. Setelah dilakukan pembacaan, posisi air raksa harus dikembalikan ke posisi keadaan suhu pada waktu itu.

Cara mengembalikan posisi air raksa pada keadaan suhu waktu itu adalah dengan mengibaskan/menghentakkan kebawah secara santai beberapa kali hingga suhu yang ditunjukkan sama dengan suhu udara pada termometer bola kering, seperti terlihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5. Cara memperbaiki posisi air raksa pada termometer

c. Termometer minimum

Termometer minimum digunakan untuk mengukur suhu terendah pada suatu periode pengamatan, untuk itu cairan yang dipergunakan pada termometer bukan air raksa tetapi alkohol. Pada pembuluh yang berisi cairan alkohol terdapat sebuah indeks gelas berwarna.

Penyusutan alkohol yang disebabkan oleh turunnya suhu akan menyebabkan permukaan alkohol yang berada dalam pipa kapiler (meniskus) mendorong indeks ke arah skala yang lebih kecil (ke arah reservoir), hingga suhu terendah diperoleh. Pembacaan dilakukan pada sisi indeks sebelah kanan seperti terlihat pada Gambar 3.6.

Gambar 3.6. Cara membaca termometer minimum

Pada Gambar 3a. indeks dan meniskus alkohol pada keadaan tidak menempel lagi. Pembacaan dilakukan pada sisi indeks yang lebih dekat ke meniskus alkohol. Gambar 3b. memperlihatkan meniskus alkohol pada keadaan sedang mendorong indeks, dan Gambar 3c. merupakan kejadian dimana alkohol yang terdapat pada pipa kapiler terputus. Keadaan ini harus diperbaiki dengan cara dikibaskan, sama seperti pada Gambar 3.5.

#### d. Termograf

Termograf mencatat setiap saat perubahan suhu udara pada kertas pias, dengan kisaran pengukuran dari  $-30^{\circ}$  C sampai dengan  $+50^{\circ}$ C.

Termograf menggunakan dua sensor yang dinamakan bimetal. Bimetal terdiri dari dua macam logam yang memiliki koefisien muai yang berbeda sehingga apabila dikenai oleh panas tertentu akan berubah bentuk (melengkung). Salah satu ujung logam bimetal berada pada posisi yang dijepit (diklem) pada rangka termograf, sementara keping logam yang satu lagi terhubung dengan tungkai pena pencatat. Pena pencatat akan 'menjejak' perubahan suhu udara terus menerus selama 24 jam atau seminggu, sehingga disamping mencatat suhu sesaat juga akan mencatat suhu maksimum dan suhu minimum selama periode waktu tertentu.

Alat ini mencatat suhu udara dan kelembaban udara secara otomatis pada suatu kertas grafik yang sudah ditentukan skalanya. Rekaman data pada kertas grafik harus selalu dicek dari pembacaan temperatur bola basah dan bola kering yang

terpasang pada alat psikrometer standard untuk mengecek kelembaban udara dan termometer biasa untuk mengecek suhu udara.

Pada kertas termogram (pias) terdapat garis pembagian skala, yakni skala suhu pada posisi horozontal dan skala waktu pada posisi vertikal. Garis kurva suhu yang dijejap pena pencatat akan memotong garis vertikal dan horizontal pada kertas pias.

Titik baca pada kertas pias adalah perpotongan antara kurva dengan garis vertikal pias, dan nilai suhu ditunjukkan oleh skala horizontal pada perpotongan tersebut.

Pada pias mingguan, pembagian skala waktu terkecil adalah dua jam, dimulai dari jam 00.00 sampai jam 24.00, dengan demikian akan terdapat 12 nilai suhu setiap harinya. Nilai ini selanjutnya dijumlahkan dan dibagi 12 untuk mendapatkan nilai suhu rata-rata harian.

Kendati termograf mampu mencatat perubahan suhu udara setiap saat, mudah untuk dipindah-pindah dan harganya relatif tidak mahal namun memiliki beberapa kelemahan :

- 1) Peka terhadap guncangan
- 2) Harus sering dikalibrasi
- 3) Mudah dikotori oleh debu
- 4) Perawatan dan penggantian pena harus dilakuan secara terus menerus.

Alat-alat pengukur suhu tersebut dipasang dalam sangkar meteo dengan ketinggian 1.2 meter diatas permukaan tanah. Ukuran sangkar meteo cukup 0.80 x 0.60 x 0.60 meter dan dibuat dari kayu, berdinding jalusi dan dicat putih.

Beberapa hal yang perlu dihindari dalam pengukuran suhu udara antara lain :

- a) Pengaruh radiasi secara langsung dari surya dan pantulannya oleh benda-benda yang ada disekelilingnya
- b) Gangguan yang berasal dari tetesan air hujan
- c) Tiupan angin yang terlalu kencang
- d) Pengaruh radiasi bumi akibat pemanasan dan pendinginan permukaan tanah setempat.

Bila pengukuran suhu udara tidak menggunakan termohigrograf, data temperatur udara dalam sehari dibaca minimal sekali, yaitu sekitar pukul 7.00 – 8.00 pagi hari waktu setempat. Nilai pembacaan dari termometer merkuri sebagai nilai pengecekan data grafik termohigrograf. Disarankan pembacaan dilakukan pada pukul 7.00 WIB, hal ini berhubungan dengan pukul 0.00 GMT.

Bila diperlukan, pembacaan dapat dilakukan tiga kali sehari, yakni pada pukul 07.00, 13.00 dan 18.00 waktu setempat, menggunakan termometer maksimum dan minimum.

Suhu harian rata-rata dapat diartikan sebagai nilai rata-rata dari pengamatan suhu udara selama 24 jam, bila pengamatan tidak menggunakan termohogrograf, temperatur harian rata-rata dapat dihitung dengan rumus :

$$T_{\text{harian}} = \frac{2T_{07.00} + T_{13.00} + T_{18.00}}{4} \qquad T_{\text{harian}} = \frac{T_{\text{max}} + T_{\text{min}}}{2}$$

Suhu bulanan rata-rata dihitung dari jumlah nilai temperatur harian rata-rata dalam satu bulan dibagi dengan

jumlah hari dalam satu bulan. Demikian pula dengan temperatur tahunan, yakni jumlah temperatur bulanan dibagi dengan 12.

Apabila data temperatur dicatat secara otomatis menggunakan alat termohigrograf, maka dapat digunakan tabel Lampiran 1 untuk perhitungannya. Selama periode 2 jam, yakni untuk mengisi kolom pukul 06.00, diisi dari nilai rata-rata temperatur pukul 05.00 sampai dengan 07.00 (*dihitung dengan metode "cut and fill"*), dilanjutkan dengan pukul 08.00 dan seterusnya.

c. Kelembaban udara

Kelembaban udara menyatakan banyaknya uap air yang ada di udara. Banyaknya uap air yang bergerak di atmosfer berpengaruh terhadap besarnya hujan, lamanya hujan dan intensitas curah hujan. Variasi kelembaban bergantung dari suhu udara, jika suhu udara rendah (di pagi hari) maka kelembaban akan lebih tinggi jika dibanding pada siang hari pada saat suhu udara bertambah panas. Disamping itu, dengan pertambahan ketinggian tempat dari muka laut umumnya kelembaban udara menjadi lebih rendah. Makin tinggi suhu udara, akan menyebabkan makin banyaknya uap air yang diserap.

Uap air akan menghasilkan tekanan yang dinyatakan dengan satuan tinggi kolom air raksa (1 mm Hg = 1.33 milibar). Tekanan yang diberikan oleh uap air disebut dengan tekanan uap air (*vapour pressure*)( $e_a$ ).

Apabila uap air di atmosfer bertambah terus (mis. karena penguapan) akan menyebabkan peningkatan tekanan uap, hingga akhirnya terjadi kondensasi. Bila laju penguapan sama dengan laju

kondensasi (udara mengandung uap air maksimum pada temperatur tertentu) maka pada saat itu keadaan udara dinyatakan jenuh dan tidak dapat menyerap air lagi. Molekul-molekul air tersebut akan menghasilkan tekanan uap jenuh (*saturation vapor pressure* =  $e_s$ ). Tekanan uap jenuh merupakan fungsi dari temperatur udara meskipun tidak menunjukkan fungsi linier. Pada suatu atmosfer yang jenuh, maka nilai  $e_a=e_s$ . Kelembaban relatif merupakan perbandingan antara nilai  $e_s$  dan  $e_a$  sebagai berikut :

$$RH(\%) = \frac{e_s}{e_a} \times 100$$

Dimana :

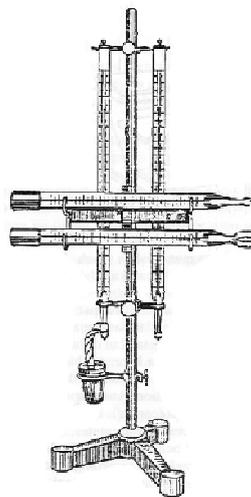
RH = Kelembaban relatif (%)  
 $e_s$  = Tekanan uap jenuh  
 $e_a$  = Tekanan uap aktual

Tekanan uap aktual dan tekanan uap jenuh dapat dinyatakan dalam satuan tinggi milimeter air raksa (1 mm Hg = 1.33 mbar), atau diukur dalam satuan bar (1 bar =  $10^5$  N/m<sup>2</sup>, 1 milibar =  $10^2$  N/m<sup>2</sup>). Sejak 1 Januari 1982, WMO menyarankan satuan tekanan uap dinyatakan dalam hektopascal (*hectopascal*, 1 h Pa = 100 Pascal = 0.75062 mm Hg).

Pengukuran kelembaban udara dilakukan pada tempat yang sama seperti mengukur temperatur udara. Alat ukur kelembaban udara diletakkan pada sangkar meteo. Pengukuran dapat dilakukan dengan cara :

- 1) **Manual**, yakni dengan menggunakan termometer bola basah dan bola kering yang dipasang vertikal bersama-sama dengan termometer maksimum dan minimum, rangkaian alat ini disebut

Psikrometer standar. Termometer tersebut diventilasikan agar diperoleh suhu bola basah yang benar dan harus terlindung dari radiasi matahari untuk menghindari penguapan. Perbedaan pembacaan kedua temperatur tersebut dinamakan Depresi Bola Basah, digunakan untuk menghitung kelembaban relatif, titik embun dan tekanan uap.



Gambar 3.7. Psikrometer Standar

- 2) **Cara Otomatis**, data kelembaban udara direkam secara otomatis pada grafik termohigrograf bersama-sama dengan suhu udara.

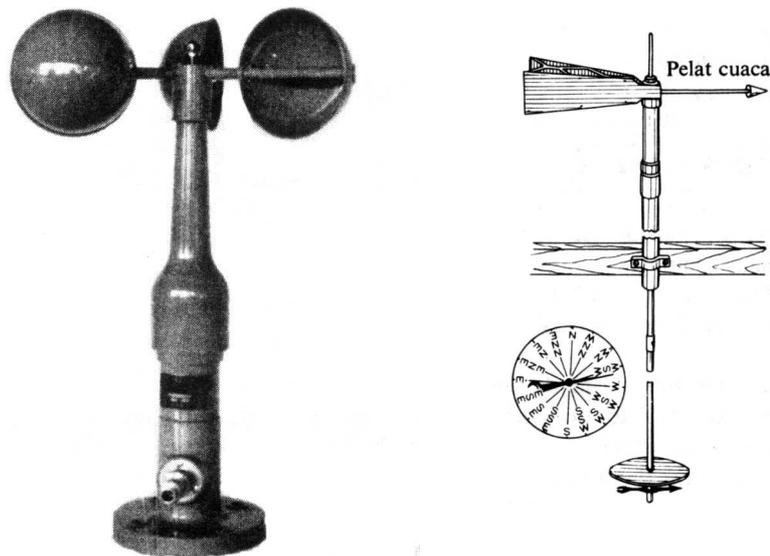
Apabila pengukuran kelembaban relatif dilakukan dengan psikrometer standar, datanya dibaca minimal sekali dalam sehari, yakni pada pukul 07.00 waktu setempat, atau bila perlu dibaca tiga kali sehari (07.00, 13.00 dan 18.00 waktu setempat). Kelembaban relatif dihitung berdasarkan nilai depresi (lihat tabel Lampiran 1.). Cara ini banyak digunakan di Indonesia karena lebih mudah dan cepat dibanding cara lainnya.

#### d. Angin

Gerakan angin umumnya disebabkan oleh perbedaan tekanan udara, angin berasal dari daerah yang bertekanan tinggi ke daerah bertekanan rendah. Seperti halnya kecepatan aliran sungai yang besarnya kecepatan aliran itu ditentukan oleh kemiringan dasar sungai, maka kecepatan angin ditentukan oleh besarnya kemiringan tekanan udara, disamping faktor intensitas dan gerakan.

Pada umumnya pengamatan angin dilakukan terhadap kecepatan dan arahnya. Untuk menentukan kecepatan angin pada stasiun agrometeorologi digunakan alat yang dinamakan **anemometer**. Alat ini terdiri dari tiga atau empat cawan yang dibuat berbentuk kerucut dihubungkan oleh lengan yang ditempelkan pada suatu sumbu, seperti pada Gambar 1. Pada umumnya, anemometer dipasang pada tiang penyangga terbuat dari besi yang terpasang kokoh pada tempatnya, posisi tiang ini harus benar-benar lurus vertikal, biasanya anemometer dan panah angin (vanemeter) dipasang bersama-sama diatas suatu tiang.

Pada umumnya, anemometer di stasiun agrometeorologi dipasang pada ketinggian 2 meter dari permukaan tanah. Kecepatan angin diukur pula pada ketinggian  $\pm 0.5$  m dari permukaan tanah untuk mengetahui kecepatan angin pada permukaan panci evaporasi klas A.



Gambar 3.8. Anemometer Tipe Counter (Robinson) dan Vanemeter

Kecepatan angin umumnya dinyatakan dalam satuan km/jam, m/det, knots (1 knots = 1.852 km/jam = 1.51 mil/jam = 0.514 m/det, 1 km/jam = 0.621 mil/jam = 0.278 knots). Skala/klas kecepatan angin dikenalkan oleh Admiral Sir Francis Beaufort pada tahun 1806 pada satuan mil/jam dari ketinggian 20 feet dari permukaan tanah. Secara rinci skala tersebut ditampilkan pada tabel di Lampiran 1.

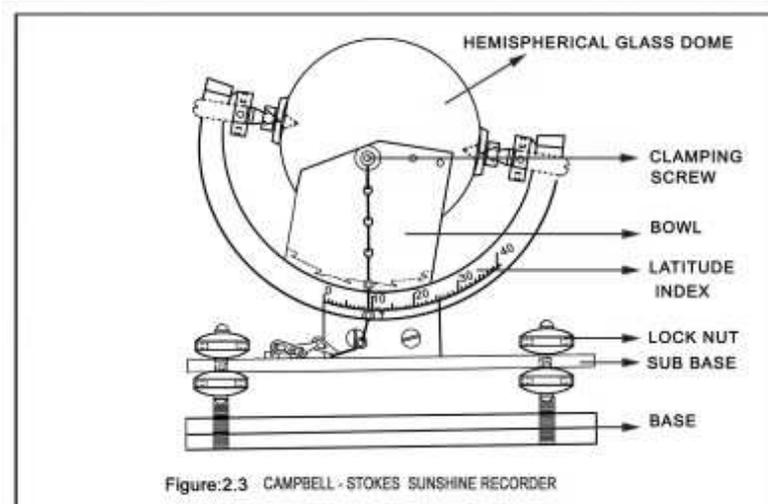
e. Penyinaran matahari

Posisi bumi dalam peredarannya mengelilingi matahari, yang seakan-akan matahari bergerak dari 23°30" LS menuju 23°30" LU atau sebaliknya akan berpengaruh terhadap lamanya waktu atau durasi penyinaran matahari, bahkan di daerah kutub lamanya penyinaran matahari dapat terjadi pada malam hari selama 6 bulan dan siang hari selama 6 bulan.

Durasi penyinaran matahari dalam satu hari dapat dinyatakan sebagai lamanya waktu dari suatu tempat menerima sinar matahari (dalam jam). Untuk analisis hidrologi seperti neraca air atau perkiraan penguapan durasi matahari umumnya dinyatakan dalam persen (%), yaitu lamanya penyinaran (dalam jam) sejak waktu matahari terbit sampai terbenam di suatu tempat di permukaan bumi.

Umumnya dikenal empat alat yang digunakan untuk mengukur lamanya penyinaran matahari : Jenis Marvin, Jenis Forter, Jenis Jordan dan Jenis Campbell-Stokes

Sejak tahun 1962, WMO memutuskan untuk menggunakan Campbell-Stokes sebagai alat standar (reference instrument). Alat ini terdiri dari bola gelas pejal dengan diameter sekitar 10.16 cm yang dipasang simetris dalam suatu bidang cekung berbentuk bola, dan dipasang pada ketinggian sekitar 1.5 m dari permukaan tanah.



Gambar 3.9. Campbell Stokes dan bagian-bagiannya

Bola gelas berfungsi sebagai lensa agar sinar matahari yang datang dapat berpusat sehingga dapat membakar kertas grafik yang dipasang pada bidang cekung tersebut pada saat matahari bersinar. Apabila matahari tertutup awan, maka kertas grafik tersebut tidak akan terbakar, kertas ini akan terbakar jika intensitas radiasi matahari mencapai minimal 140 – 280 watt/m<sup>2</sup> (0.2 – 0.4 kal/cm<sup>2</sup>/menit). Adanya bangunan dan pohon tinggi sekitar alat, terutama pada arah Timur-Barat dapat menyebabkan gangguan dalam pembakaran kertas grafik, sehingga pada arah tersebut harus benar-benar bebas dari halangan.

Menurut Standar WMO ada tiga bentuk kertas grafik atau kertas pias yang digunakan :

a) Kartu Lurus

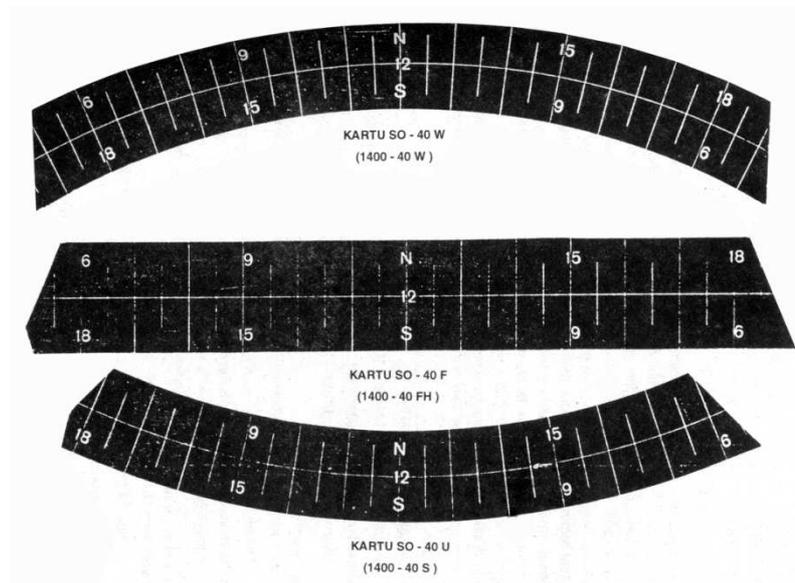
Belahan Bumi Utara	Belahan Bumi Selatan
1 September s/d 10 Oktober	1 Maret s/d 10 April
1 Maret s/d 10 April	1 September s/d 10 Oktober

b) Kartu Melengkung Panjang

Belahan Bumi Utara	Belahan Bumi Selatan
11 April s/d 31 Agustus	11 Oktober s/d 28(29) Februari

c) Kartu Melengkung Pendek

Belahan Bumi Utara	Belahan Bumi Selatan
11 Okt. s/d 28(29) Februari	11 April s/d 31 Agustus



Gambar 3.10. Macam bentuk kertas pias Campbell Stokes

Dalam pemasangan alat ukur durasi matahari, ada hal-hal yang harus diperhatikan :

- 1) alat harus dipasang pada kedudukan horizontal, dilakukan dengan menyetel nivo dan tiga sekrup pengatur.
- 2) alat harus terpasang sesuai dengan garis lintang (*latitude*) dari pos klimatologi, dilakukan dengan cara mengendurkan mangkok yang memegang bola dengan memutar bola gelas di dalam setengah lingkaran sehingga titik ujung tanda panah alat sesuai dengan garis lintang setempat dan kemudian keraskan kedudukan bola gelas. Sumbu bola gelas harus sejajar (paralel) dengan sumbu kutub. Sumbu AB (Gambar 1) bola kaca mengarah Utara-Selatan. Titik A berada disebelah Utara, apabila alat dipasang di daerah lintang Selatan, sebaliknya Titik B berada di Selatan apabila alat dipasang di daerah Lintang utara.

3) alat harus dipasang sesuai dengan garis bujur (*meridian*) dari pos klimatologi. Penyesuaian ini dimaksudkan untuk menyesuaikan skala waktu pada kartu dengan waktu setempat. Umumnya dilakukan pada siang hari waktu setempat. Sesuai dengan skala waktu pada kartu untuk pukul 12 terpasang tepat pada waktu tengah hari waktu setempat.

f. Curah hujan

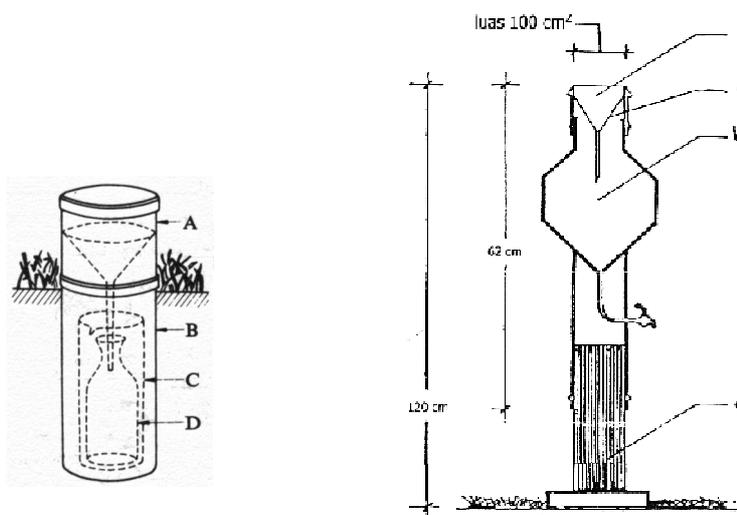
Curah hujan merupakan salah satu unsur penting untuk pertanian dan bidang-bidang kajian lainnya, seperti hidrologi, konservasi tanah, dan sebagainya. Pada proses hidrologi, curah hujan merupakan input utama, karena besarnya hujan inilah yang sebetulnya ditransformasi menjadi aliran sungai (*stream flow*), baik melalui aliran permukaan (*surface run off*), aliran antara (*interflow / sub surface flow*) maupun sebagai aliran air tanah (*ground water flow*).

Kumpulan data curah hujan di suatu tempat memiliki nilai yang cukup penting, apabila periode pengumpulan datanya cukup lama maka akan makin banyak informasi yang bisa diperoleh terutama yang berkaitan dengan nilai-nilai ekstrim tertinggi atau terendah yang pernah terjadi.

Untuk mendapatkan nilai besar atau jumlah hujan biasanya dilakukan pengamatan satu kali sehari atau harian, terutama apabila menggunakan alat penakar hujan biasa. Selain itu, informasi derasnya hujan bisa diperoleh berdasarkan hasil analisa intensitas hujan, yakni besarnya curah hujan per satuan waktu. Analisa ini bisa dilakukan dengan menggunakan catatan penakar hujan otomatis.

Curah hujan dapat diukur menggunakan alat ukur yang umumnya disebut sukat hujan (rain gauge), atau sering juga disebut pluviometer atau penakar hujan. Satuan untuk mengukur curah hujan adalah milimeter (mm), nilai 1 (satu) mm menunjukkan tebal air hujan menutupi permukaan bumi setebal 1 mm, dan zat cair ini tidak meresap ke dalam tanah (permukaan bumi dianggap kedap air) atau tidak menguap kembali ke atmosfer.

Alat ukur curah hujan dapat dibedakan atas dua jenis : 1) alat ukur hujan biasa (AUHB) dan (2) alat ukur hujan otomatis (AUHO). Alat ukur hujan biasa (AUHB) paling banyak digunakan di Indonesia dan sering disebut penakar hujan biasa, seperti terlihat pada Gambar 3.11. dan Gambar 3.12.



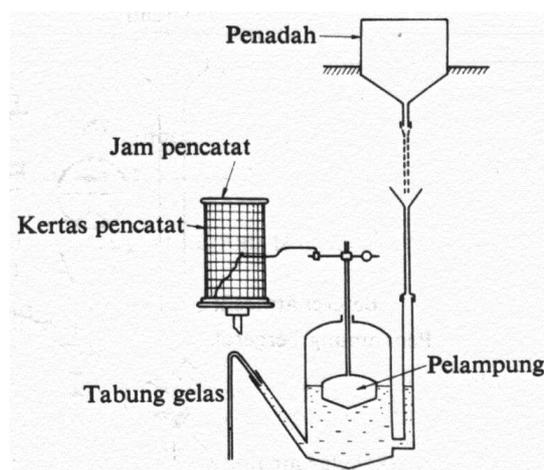
Gambar 3.11. Alat Penakar Hujan Biasa

Kebanyakan di Indonesia digunakan AUHB dengan luas penampang corong 100 cm<sup>2</sup> atau 200 cm<sup>2</sup> dengan kapasitas sekitar 400-600 mm, dipasang pada ketinggian 1.0 atau 1.2 meter atau dipermukaan tanah.

Pencatatan dengan AUHB umumnya dilakukan pada pukul 07.00 pagi, dan yang diperoleh adalah curah hujan total sehari sebelumnya. Beberapa hal yang harus diperhatikan bila menggunakan AUHB antara lain :

- 1) pada kejadian hujan dengan intensitas besar, kemungkinan alat tampung AUHB tidak mampu menampung hujan dan air melimpas, sehingga data yang diukur tidak dapat menggambarkan keadaan yang sebenarnya.
- 2) intensitas setiap jam tidak dapat diketahui

Dengan menggunakan AUHO (seperti Gambar 3.12.), maka curah hujan yang terjadi akan terekam secara otomatis, hasil rekaman data dapat memberikan gambaran terhadap intensitas hujan dengan periode waktu yang diinginkan, misalnya mm/2 jam dan seterusnya, disamping dapat memperkecil kemungkinan kesalahan yang disebabkan oleh faktor manusia. Dengan AUHO dapat diketahui secara tepat kapan atau waktu terjadinya hujan dan berapa tebal pada waktu tersebut.



Gambar 3.12. Alat Penakar Hujan Otomatis

#### g. Evaporasi

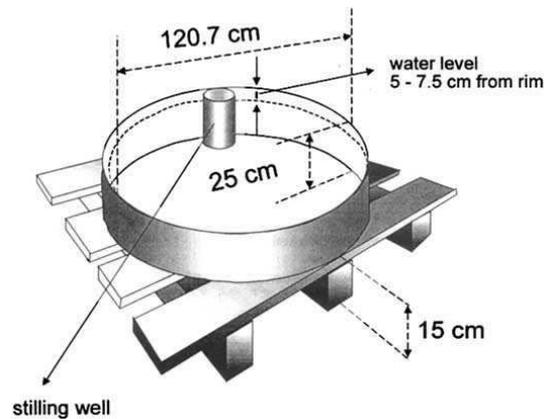
Penguapan (*evaporation*) adalah proses perubahan molekul air menjadi uap air dan kembali ke atmosfer. Pada saat yang sama, bila terjadi perubahan uap air menjadi zat cair, maka proses ini disebut pengembunan (*condensation*). Pada stasiun klimatologi, besarnya nilai penguapan diukur dengan Panci Kelas A.

Panci evaporasi Kelas A berbentuk bulat dengan diameter 120.7 cm dan tinggi 25 cm. Terbuat dari logam yang di galvanisir (22 gauge) atau logam monel (0.8 mm). Panci dipasang pada bantalan terbuat dari papan dengan ketinggian sekitar 15 cm dari permukaan tanah. Tanah di alaskan hingga ketinggian 5 cm dari dasar panci. Posisi panci harus datar (*level*). Diisi air hingga ketinggian 5 cm dibawah bibir panci (*rim*). Air seharusnya secara periodik diperbaharui, sekurangnya sekali seminggu untuk menghindari turbiditas ekstrim. Panci (jika terbuat dari besi galvanisir) harus dicat dengan cat alumunium secara periodik. Panci sebaiknya ditempatkan pada lokasi yang dipagar untuk melindungi gangguan binatang dan sebagainya.

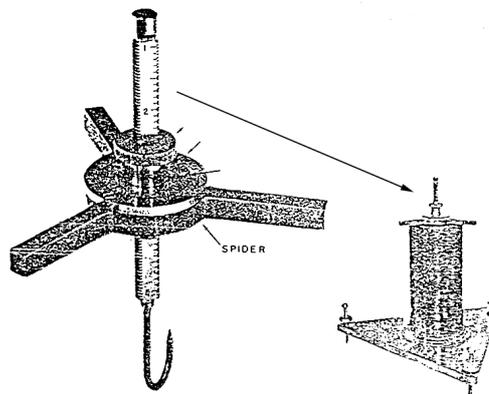
Lokasi panci sebaiknya ditanami rumput pada areal 20 x 20 m, terbuka pada semua sisi dan memungkinkan sirkulasi udara secara bebas. Lebih baik stasiun ditempatkan dipusat atau dipinggir lahan luas yang ditumbuhi tanaman.

Pembacaan panci dilakukan setiap hari pada pagi hari (dengan menggunakan mikrometer pancing, hook gauge seperti pada Gambar 3.14) dan pada saat yang sama curah hujan juga diukur. Pengamatan dilakukan pada tabung pengamatan (*stilling well*),

Tabung pengamatan terbuat dari silinder logam dengan diameter sekitar 10 cm dan tinggi 20 cm dengan lubang kecil pada bagian bawah.



Gambar 3.13. Panci Kelas A



Gambar 3.14. Stilling well dan hook gauge

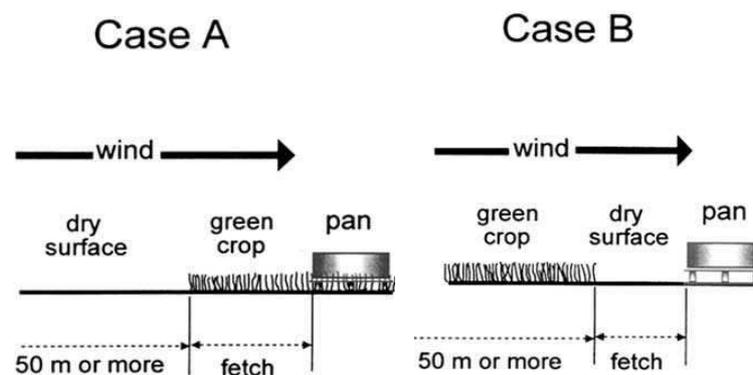
Perhitungan evapotranspirasi potensial secara empiris dikemukakan pada persamaan berikut :

$$ET_o = K_p \cdot E_{pan}$$

Dimana :  $ET_o$  = evapotranspirasi potensial (mm/hari)

$K_p$  = koefisien panci  
 $E_{pan}$  = evaporasi panci (mm/hari)

Koefisien panci (untuk panci kelas A), ditentukan berdasarkan kondisi penempatan panci dilapangan, secara umum terdapat dua kondisi seperti Gambar 3.15.



Gambar 3.15. Lingkungan penempatan panci kelas A

### Pertanyaan dan Tugas

- Jelaskan mekanisme pembentukan iklim !
- Jelaskan faktor-faktor apa saja yang menyebabkan keragaman iklim antar wilayah !
- Unsur-unsur iklim apa saja yang diukur pada stasiun klimatologi dan peralatan apa saja yang digunakan untuk pengukuran ?

### Referensi

Manan, M.E., Nursiwan, M.A. dan Soedarsono. 1986. Alat Pengukur Cuaca dan Stasiun Klimatologi. Jurusan Geofisika dan Meteorologi. FMIPA. IPB. Bogor.

- Nasir, Abujamin Ahmad. 1999. Hubungan Iklim dan Tanaman. Bahan Pelatihan Dosen-dosen PTN Indonesia Bagian Barat bidang Agroklimatologi. IPB. Bogor.
- Soewarno. 2000. Hidrologi Operasional. Jilid Kesatu. PT. Citra Aditya Bakti. Bandung.
- Sosrodarsono, Suyono dan Takeda, Kensaku. 1993. Hidrologi Untuk Pengairan. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Sriharto. 1989. Petunjuk Laboratorium Hidrologi. Pusat Antar Universitas Ilmu Teknik. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Watt, Fiona dan Wilson, Francis. 2004. Cuaca dan Iklim. Terjemahan Endang Naskah Alimah. Pakar Raya. Bandung.

#### IV. METODE KLIMATOLOGI

Tujuan Instruksional Khusus
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mahasiswa diharapkan mampu untuk menjelaskan metode &amp; prosedur pengujian homogenitas data iklim</li> <li>2. Mahasiswa diharapkan mampu untuk menjelaskan metode dan prosedur pengisian data hilang</li> <li>3. Mahasiswa diharapkam mampu untuk menjelaskan metode dan prosedur analisis peluang hujan</li> </ol>

##### A. Pengujian Homogenitas Data

Pengecekan data dilakukan untuk menguji apakah data homogen atau tidak. Data iklim dikatakan homogen apabila simpangan data terjadi hanya semata-mata oleh perubahan iklim atau cuaca, bukan oleh hal-hal lain.

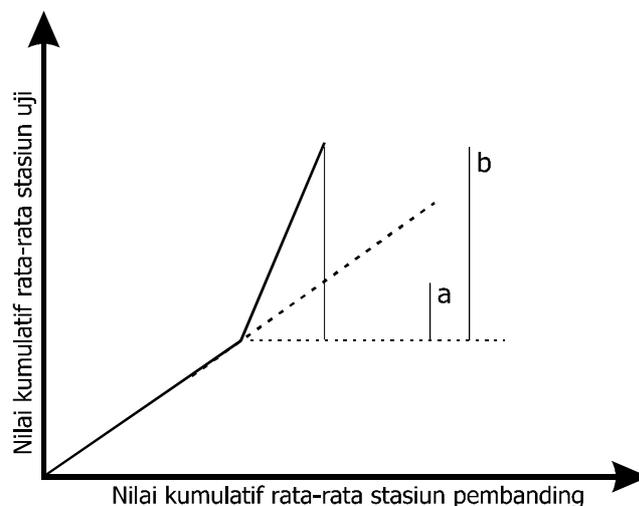
Perubahan oleh hal-hal lain tersebut secara umum dapat dikelompokkan atas : perubahan lingkungan, perubahan alat atau perubahan cara pengukuran.

Perubahan lingkungan stasiun dapat disebabkan antara lain oleh adanya bangunan baru, pertumbuhan vegetasi pohon yang sangat cepat, perubahan perkembangan kota disekitar lokasi stasiun, adanya danau buatan, pelataran bersemen dan sebagainya. Perubahan semacam ini sifatnya lokal sehingga tidak dapat diperbandingkan dengan data iklim pada lokasi lainnya.

Data yang dapat dipercaya dan digunakan untuk analisis lebih lanjut adalah data yang bersifat homogen (konsisten). Ketidak homogenan dapat disebabkan oleh ketidak lengkapan data, atau data yang tersedia kurang panjang.

Pengujian homogenitas data dilakukan dengan plotting ke kertas grafik. Analisis yang lebih teliti dan umum digunakan adalah **Analisis Kurva Massa Ganda** (*double mass curve*).

Pada kasus dengan simpangan yang tidak besar, misalnya suhu, kelembaban relatif, plotting cukup dilakukan pada kertas grafik linier, sedangkan data yang memiliki simpangan yang besar, misalnya data hujan, plotting dilakukan pada kertas semi logaritma. Data yang diplotkan adalah data data musiman atau tahunan hasil perbandingan dengan data stasiun pembanding. Ketidakhomogenan data dapat dilihat dari adanya simpangan yang jauh dari rata-rata simpangan bakunya, seperti pada Gambar 4.1. Penyimpangan tersebut dapat dikoreksi dengan faktor  $(a/b)$ .



Gambar 4.1. Bentuk kurva massa ganda

Jika yang dihasilkan berfluktuasi sangat berarti, maka yang diplotkan adalah data hasil rata-rata bergerak (moving averages) 5 tahunan.

## B. Pengisian Data Hilang

Suatu prinsip yang harus selalu diingat adalah bahwa data yang hilang tidak akan dapat diganti dengan tepat, meskipun dengan persamaan penduga yang amat kompleks. Pendugaan hanya melakukan pendugaan dengan persamaan penduga yang memiliki error yang diusahakan sekecil mungkin. Pendugaan data hilang akan lebih berhasil apabila tersedia data-data dari beberapa stasiun pembanding yang berkorelasi besar dengan stasiun uji.

Metode sederhana yang dapat digunakan untuk melakukan pendugaan antara lain : Metode Rata-rata, Metode Rata-rata Terbobot, Metode Regresi Linier dan Metode Kuadrant Empat.

**Metode Rata-rata** cukup baik digunakan bila perbedaan data tahunan distasiun pembanding kurang dari 10%, Perhitungan dilakukan dengan Persamaan (1).

$$P_A = \frac{(P_B + P_C + P_D)}{3} \quad \dots (1)$$

**Metode Rata-rata Terbobot** digunakan bila perbedaan data tahunan antara stasiun pembanding dengan stasiun yang datanya hilang lebih dari 10%, Perhitungan dilakukan menggunakan Persamaan (2), dimana N adalah data tahunan, dan P adalah data pada periode yang hilang.

$$P_A = \frac{1}{3} \left( \frac{N_A}{N_B} P_B + \frac{N_A}{N_C} P_C + \frac{N_A}{N_D} P_D \right) \quad \dots (2)$$

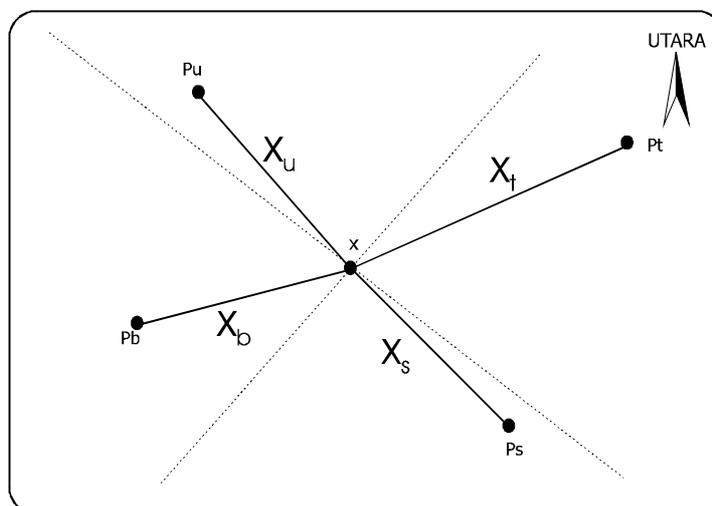
Metode **Regresi Linier** digunakan untuk menduga data hilang berdasarkan hubungan linier antara Stasiun Uji (A) dengan stasiun

pembandingan lainnya (B, C, dan D). Pendugaan dilakukan dengan Persamaan (3), dengan a, b, c dan d adalah konstanta yang dihitung.

$$P_A = a + b.P_B + c.P_C + d.P_D \quad \dots (3)$$

**Metode Kuadrat Empat** dilakukan dengan cara membagi daerah disekitar stasiun yang datanya hilang (x) menjadi empat kuadran, Utara, Timur, Barat dan Selatan. Selanjutnya dipilih stasiun yang terdekat dengan masing-masing kuadran dan dihitung jaraknya ke stasiun x seperti Gambar 4.2. Data hilang selanjutnya diduga dengan Persamaan (4)

$$P_x = \frac{1}{\sum X^2} * \left( \frac{P_u}{X_u^2} + \frac{P_s}{X_s^2} + \frac{P_t}{X_t^2} + \frac{P_b}{X_b^2} \right) \quad \dots (4)$$



Gambar 4.2. Posisi stasiun pada Metode Kuadran Empat

Dalam banyak kasus, tidak ada data dari stasiun pembandingan yang memadai, pada kondisi ini data yang hilang diduga dengan

parameter-parameter lain yang memiliki korelasi tinggi dari stasiun yang sama.

### C. Analisis Peluang Hujan

Analisis peluang hujan dapat dilakukan dengan beberapa metode, diantaranya yakni Analisa Peluang Hujan Menurut Sebaran Normal dan Analisa Frekuensi kumulatif.

#### Analisa Peluang Hujan Menurut Sebaran Normal

Doorenbos (1976) mengemukakan jika curah hujan untuk suatu perioda menyebar normal, simpangan baku dapat digunakan untuk menghitung tingginya curah hujan minimal pada suatu tingkat peluang tertentu

Dari tabel Z dan dari persamaan transformasi standar normal didapatkan :

$$\text{Peluang(\%)} = \bar{x} + a * s$$

Dimana :

- a = adalah nilai besaran yang diperoleh dari kurva distribusi normal standar yang besarnya tergantung pada tingkat peluang yang diinginkan.
- s = simpangan baku

Contoh Formulasi :

$$\text{Peluang } 70\% = \bar{x} - 0.53s$$

$$\text{Peluang } 75\% = \bar{x} - 0.69s$$

$$\text{Peluang } 90\% = \bar{x} - 1.26s$$

$$\text{Peluang } 80\% = \bar{x} - 0.84s$$

$$\text{Peluang } 99\% = \bar{x} - 2.33s$$

$$\text{Peluang } 95\% = \bar{x} - 1.64s$$

## Analisa Frekuensi Kumulatif

Metoda ini menggunakan prasayarat bahwa data yang akan dianalisa berdistribusi secara normal. Proses perhitungan dilakukan dengan prosedur :

- Data yang tersedia (min. 10 tahun) di-ranking mulai dari nilai rata-rata (tahunan) terbesar sampai yang terkecil
- Tentukan nilai frekuensi kumulatif dengan persamaan :

$$f = 100 * m / (n + 1)$$

Dimana :

- m = nomor urut data setelah diurut dari yang terbesar hingga yang terkecil
- n = banyaknya tahun pengamatan

- Plot ke grafik dan tentukan nilai P20%(basah), P50%(normal), dan P80%(kering)
- Tentukan nilai bulanan dengan peluang kejadian yang diinginkan dengan persamaan berikut (contoh utk Peluang kejadian 80%) :

$$P_{i\text{-kering}} = P_{i\text{-rata-rata}} * \frac{P_{\text{kering}}}{P_{\text{rata-rata}}}$$

Dimana :

- $P_{i\text{-kering}}$  = curah hujan bulan kering untuk bulan i
- $P_{i\text{-rata-rata}}$  = curah hujan rata-rata bulan ke i
- $P_{\text{rata-rata}}$  = rata-rata curah hujan tahunan
- $P_{\text{kering}}$  = curah hujan (kering) tahunan dengan probabilitas kejadian 80%

### Pertanyaan dan Tugas

- a. Jelaskan bagaimana prosedur untuk melakukan pengujian terhadap homogenitas data iklim !
- b. Jelaskan mengapa diperlukan pengujian homogenitas data !
- c. Jelaskan metode apa saja yang dapat digunakan untuk mengisi data hilang, dan bagaimana prosedurnya ?
- d. Jelaskan apa yang dimaksud dengan analisis peluang hujan !

### Referensi

- Hidayati, R., Bey, A. dan Boer, R. 1999. Metode Klimatologi. Bahan Pelatihan Dosen-dosen PTN Indonesia Bagian Barat Bidang Agroklimatologi. IPB Bogor.
- Searcy, J.K. dan Hardison, C.H. 1960. Double-Mass Curve. Manual of Hydrology : Part I. General Surface Water Technique. US Department of Interior. Washington.
- Smith, Martin. 1992. Cropwat : A Computer Program for Irrigation Planning and Management. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 46. FAO Rome.
- Soewarno. 2000. Hidrologi Operasional. Jilid Kesatu. Penerbit PT. Citra Aditya Bakti. Bandung.

## V. EVAPOTRANSPIRASI DAN KEBUTUHAN AIR TANAMAN

Tujuan Instruksional Khusus
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mahasiswa diharapkan mampu untuk menjelaskan pengertian evapotranspirasi</li> <li>2. Mahasiswa diharapkan mampu untuk menjelaskan metode pengukuran evapotranspirasi secara langsung</li> <li>3. Mahasiswa diharapkan mampu untuk menjelaskan metode pengukuran evapotranspirasi secara tidak langsung (dengan persamaan empiris)</li> <li>4. Mahasiswa diharapkan mampu menjelaskan pengertian dan prosedur penentuan kebutuhan air tanaman</li> </ol>

### A. Pengertian Evapotranspirasi

Evapotranspirasi merupakan gabungan dari dua proses yakni evaporasi dan transpirasi. Evaporasi secara umum dapat didefinisikan sebagai penguapan yang terjadi pada permukaan air bebas, sedangkan transpirasi merupakan penguapan yang terjadi melalui bagian tubuh tanaman. Secara praktis, kedua proses ini ditentukan secara bersamaan dalam bentuk evapotranspirasi.

Evapotranspirasi dipengaruhi oleh berbagai macam faktor, diantaranya yang paling dominan adalah iklim, ketersediaan air tanah, dan sifat permukaan penguapan. Faktor iklim yang berperan dalam hal ini adalah radiasi matahari, suhu udara, angin dan kelembaban udara. Dapat dikatakan bahwa faktor meteorologi dalam hal ini memberikan sumbangan terbesar terhadap evapotranspirasi.

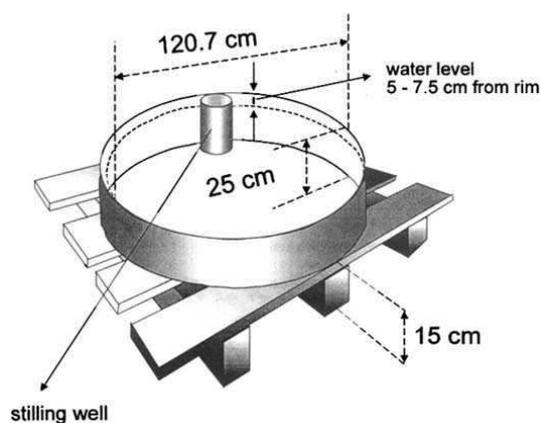
Besarnya evapotranspirasi dapat ditentukan secara langsung maupun dengan cara tidak langsung. Dengan cara tidak langsung,

evapotranspirasi dapat diperkirakan dengan menggunakan persamaan-persamaan empiris, salah satunya yang dikemukakan oleh Penman (Doorenbos dan Pruitt, 1977). Hasil perhitungan yang diperoleh dari persamaan Penman dibanding dengan persamaan lainnya lebih teliti, karena cara ini mempertimbangkan seluruh variabel dari anasir cuaca (Pusposutardjo, 1986).

#### B. Penentuan Evapotranspirasi Dengan Metoda Langsung

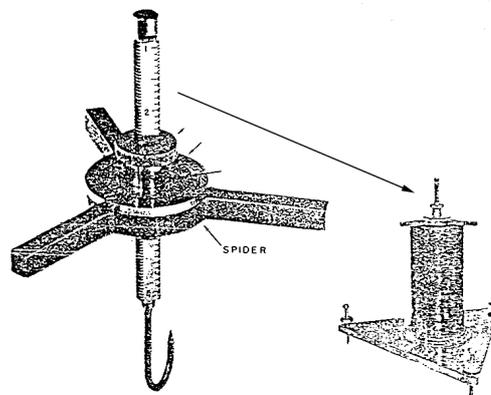
Penentuan evapotranspirasi secara langsung dapat dilakukan dengan menggunakan Panci Evaporasi, antara lain : Panci Colorado dan Panci Kelas A. Di Indonesia, pengukuran secara langsung umumnya dilakukan dengan menggunakan Panci Kelas A.

Panci evaporasi Kelas A berbentuk bulat dengan diameter 120.7 cm dan tinggi 25 cm. Terbuat dari logam yang di galvanisir (22 gauge) atau logam monel (0.8 mm). Panci dipasang pada bantalan terbuat dari papan dengan ketinggian sekitar 15 cm dari permukaan tanah.



Gambar 5.1. Panci Kelas A

Pembacaan panci dilakukan setiap hari pada pagi hari (dengan menggunakan mikrometer pancing, hook gauge seperti pada Gambar 5.2) dan pada saat yang sama curah hujan juga diukur. Pengamatan dilakukan pada tabung pengamatan (stilling well). Tabung pengamatan terbuat dari silinder logam dengan diameter sekitar 10 cm dan tinggi 20 cm dengan lubang kecil pada bagian bawah.



Gambar 5.2. Stilling well dan hook gauge

Perhitungan evapotranspirasi potensial secara empiris dikemukakan pada persamaan berikut :

$$ET_o = K_p \cdot E_{pan}$$

Dimana :  $ET_o$  = evapotranspirasi potensial (mm/hari)  
 $K_p$  = koefisien panci  
 $E_{pan}$  = evaporasi panci (mm/hari)

### C. Penentuan Evapotranspirasi Dengan Metoda Tidak Langsung (Persamaan Empiris)

Untuk menduga besarnya evapotranspirasi ( $E_{To}$ ) dapat digunakan persamaan empiris. Pemilihan penggunaan persamaan empiris untuk menduga besarnya  $E_{To}$  didasarkan pada ketersediaan data iklim yang tersedia, sedangkan tingkat ketelitian dari persamaan yang dipergunakan ditentukan oleh ketelitian data yang digunakan (Doorenbos dan Pruitt, 1984).

Beberapa metode yang umum digunakan antara lain : Metode Blaney-Criddle, Metode Radiasi dan Metode Penman.

#### 1. Metode Blaney-Criddle

Metode Blaney-Criddle pada mulanya didasarkan pada prinsip bahwa  $E_{To}$  sebanding dengan persentase panjang hari siang dan temperatur udara rata-rata. Kemudian FAO mengembangkan seperti pada Persamaan (1) (Doorenbos dan Pruitt, 1984) :

$$E_{To} = c[p(0.46T+)] \quad \dots (1)$$

Dimana :

- T = temperatur harian rata-rata pada bulan tertentu ( $^{\circ}\text{C}$ ).
- p = persentase harian rata-rata dari lamanya siang hari dalam setahun pada bulan dan posisi lintang tertentu.
- c = faktor penyesuaian yang tergantung pada kelembapan relatif, jam penyinaran dan perkiraan angin hari siang .

## 2. Metode Radiasi

Metode radiasi digunakan untuk menduga ETo berdasarkan kepada temperatur udara, penyinaran matahari, radiasi atau keawanan, kelembaban, kecepatan angin dan garis lintang (Doorenbos dan Pruitt, 1984). Pendugaan ETo dengan metode Radiasi lebih dipercaya dari metode Blaney-Criddle, hal ini ditinjau dari segi "zone equatorial", luasan pulau atau kepulauan, dan ketinggian tempat dari permukaan laut. ET dengan Metode Radiasi diduga dengan Persamaan (2).

$$E_{To} = c(W.R_s) \quad \dots (2)$$

dimana :

- c = faktor penyesuaian yang besarnya tergantung pada kelembaban dan kecepatan angin.
- W = faktor pembobot, tergantung pada temperatur udara dan keadaan geografis.
- R<sub>s</sub> = radiasi matahari yang besarnya setara dengan evaporasi (mm/hari)

Nilai R<sub>s</sub> dapat juga diperoleh dari pengukuran lama penyinaran matahari dengan persamaan berikut :

$$R_s = (0.25 + 0.5 \cdot \frac{n}{N}) \cdot R_a \quad \dots (3)$$

dimana :

- n/N = perbandingan lamanya penyinaran matahari sebenarnya (n) dan lama penyinaran potensial (N).
- R<sub>a</sub> = radiasi ekstra teresterial (Lampiran 10).

Nilai N dapat dilihat pada Lampiran 3, W pada Lampiran 4 dan R<sub>a</sub> pada Lampiran 10.

### 3. Metode Penman

Untuk wilayah dimana tersedia data pengukuran temperatur, kelembaban, kecepatan angin dan lama penyinaran atau radiasi, disarankan untuk menggunakan metode Penman dan memberikan hasil yang lebih baik (Doorenbos dan Pruitt, 1984) :

Persamaan untuk menduga ETo dengan Metode Penman adalah :

$$ETo = c[W.Rn + (1 - W).f(u).(ea - ed)] \quad \dots (4)$$

dimana :

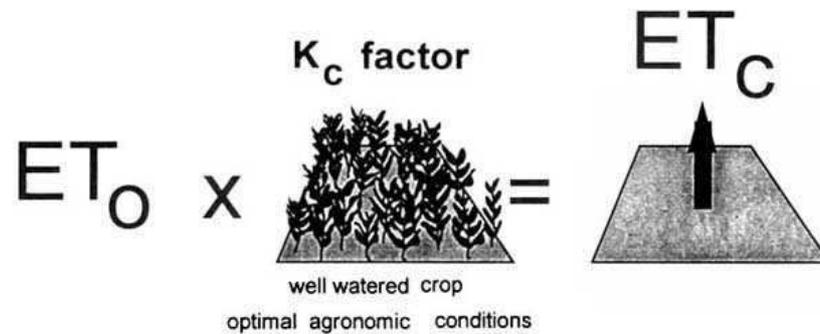
- W = faktor pembobot yang berkaitan dengan temperatur Lampiran 4)
- C = faktor penyesuaian (Lampiran )
- Rn = radiasi matahari bersih setara dengan evaporasi (mm/hari).
- f(u) = fungsi kecepatan angin (Lampiran 8)
- ea – ed = perbedaan tekanan uap (mbar) (Lampiran 5 dan 6)

$$f(u) = 0.27\left(1 + \frac{U}{100}\right)$$

#### D. Kebutuhan Air Tanaman

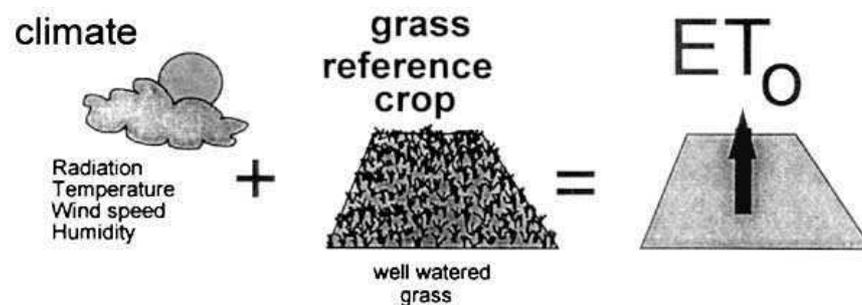
Kebutuhan air tanaman (*crop water requirements*) didefinisikan sebagai tinggi air yang dibutuhkan untuk mengganti kehilangan air melalui evapotranspirasi (ET<sub>crop</sub>) dari tanaman bebas penyakit, ditanam pada lahan yang luas dalam kondisi tanah yang tidak membatasi pertumbuhan tanaman, termasuk air dan kesuburan tanah, dan mencapai potensial produksi penuh (maksimum) pada kondisi lingkungan tersebut. (Doorenbos dan Pruitt, 1984).

Penentuan kebutuhan air tanaman ditentukan dengan persamaan yang diilustrasikan pada Gambar 5.3.



Gambar 5.3. Ilustrasi penentuan nilai  $ET_c$

Nilai  $K_c$  merupakan nilai koefisien tanaman yang nilainya tergantung jenis tanaman dan fase pertumbuhan.



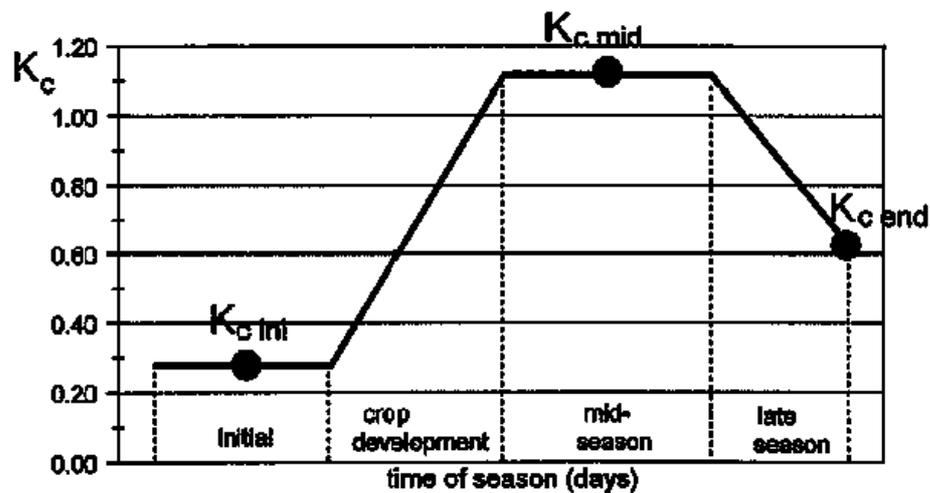
Gambar 5.4. Ilustrasi penentuan nilai  $ET_0$ .

#### E. Koefisien Tanaman

Koefisien tanaman ( $K_c$ ) merupakan nilai koefisien yang digunakan untuk penentuan kebutuhan air tanaman. Nilai  $K_c$  tergantung pada jenis tanaman dan fase pertumbuhannya. Faktor lain yang mempengaruhi nilai  $K_c$  antara lain : sifat tanaman, waktu

tanam atau semai, laju pertumbuhan tanaman, lama waktu tanam dan kondisi iklim.

Nilai  $K_c$  bervariasi menurut fase pertumbuhan, seperti ditunjukkan Gambar 5.5., dimana nilai ini mencapai maksimum pada fase Mid-Season.



Gambar 5.5. Distribusi nilai  $K_c$  berdasarkan fase pertumbuhan

### Pertanyaan dan Tugas

- Jelaskan pengertian evapotranspirasi !
- Uraikan pendekatan untuk menentukan kebutuhan air tanaman !
- Faktor apa saja yang menentukan besarnya nilai  $K_c$  ?

### Referensi

Doorenbos, J dan W.O.Pruitt. 1984. Guidelines for predicting crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No.24. FAO. Rome.



Lampiran 2. Blanko perhitungan ET dengan Metoda Penman

Persamaan Penman, $E_{To} = c [ W.R_n + (1-W) f(u) (ea - ed) ]$					
DATA	Nama Stasiun :	Lintang :	Altitude :		
	Bulan :	Bujur :			
Trata2 ..... oC	ea mbar	(5)			
RH rata2 ..... %	RH/100	data			
Or depresi T wetbulb Or T dewpoint	ed mbar	hitung			
Kec.Angin km/hari		(5) atau (6)			
Trata2 ..... oC				(ea - ed) mbar	hitung
Altitude ..... m				f(u)	(7)
				(1-W)	(8)
				(1-W).f(u).(ea-ed)	hitung
Bulan : .....	Ra mm/hari	(10)			
Latitude : .....	n jam/hari	data			
	N jam/hari	(11)			
Bulan : .....	n/N	hitung			
Latitude : .....	(0.25+0.50 n/N)	hitung (12)			
	Rs mm/hari	hitung			
( $\alpha = 0.25$ )	Rns mm/hari	(1- $\alpha$ ) Rs	hitung		
Trata2 ..... oC	f(T)	(13)			
Ed mbar	f(rd)	(14)			
n/N : .....	f(n/N)	(15)			
	Rnl = f(T).f(ed).f(n/N)	hitung			
	Rn = Rns - Rnl	hitung			
Trata2 ..... oC	W	(9)			
Altitude ..... M	W.Rn	hitung			
	c	(16)			
Uday/Unight : .....					
RH max : .....					
Rs : .....					
	$E_{To} = c [ W.R_n + (1-W) .f(u) .(ea - ed) ]$		hitung	mm/hari	

Bila data Rs tersedia,  $R_{ns} = 0.75.R_s$

prepared by : weri susena e s, on jan 03

Lampiran 3. Rata-rata kemungkinan maksimum lama penyinaran matahari (N) berdasarkan bulan dan posisi lintang

Table 3 Mean Daily Duration of Maximum Possible Sunshine Hours (N) for Different Months and Latitudes

Northern Lats	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec
Southern Lats	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June
50	8.5	10.1	11.8	13.8	15.4	16.3	15.9	14.5	12.7	10.8	9.1	8.1
48	8.8	10.2	11.8	13.6	15.2	16.0	15.6	14.3	12.6	10.9	9.3	8.3
46	9.1	10.4	11.9	13.5	14.9	15.7	15.4	14.2	12.6	10.9	9.5	8.7
44	9.3	10.5	11.9	13.4	14.7	15.4	15.2	14.0	12.6	11.0	9.7	8.9
42	9.4	10.6	11.9	13.4	14.6	15.2	14.9	13.9	12.6	11.1	9.8	9.1
40	9.6	10.7	11.9	13.3	14.4	15.0	14.7	13.7	12.5	11.2	10.0	9.3
35	10.1	11.0	11.9	13.1	14.0	14.5	14.3	13.5	12.4	11.3	10.3	9.8
30	10.4	11.1	12.0	12.9	13.6	14.0	13.9*	13.2	12.4	11.5	10.6	10.2
25	10.7	11.3	12.0	12.7	13.3	13.7	13.5	13.0	12.3	11.6	10.9	10.6
20	11.0	11.5	12.0	12.6	13.1	13.3	13.2	12.8	12.3	11.7	11.2	10.9
15	11.3	11.6	12.0	12.5	12.8	13.0	12.9	12.6	12.2	11.8	11.4	11.2
10	11.6	11.8	12.0	12.3	12.6	12.7	12.6	12.4	12.1	11.8	11.6	11.5
5	11.8	11.9	12.0	12.2	12.3	12.4	12.3	12.3	12.1	12.0	11.9	11.8
0	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1

## Lampiran 4. Nilai faktor bobot (W) pengaruh radiasi pada temperatur dan posisi lintang berbeda

Table 4 Values of Weighting Factor (W) for the Effect of Radiation on ETo at Different Temperatures and Altitudes

Temperature °C	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	
W at altitude m																					
0	0.43	.46	.49	.52	.55	.58	.61	.64	.66	.68	.71	.73	.75	.77*	.78	.80	.82	.83	.84	.85	
500	.45	.48	.51	.54	.57	.60	.62	.65	.67	.70	.72	.74	.76	.78	.79	.81	.82	.84	.85	.86	
1 000	.46	.49	.52	.55	.58	.61	.64	.66	.69	.71	.73	.75	.77	.79	.80	.82	.83	.85	.86	.87	
2 000	.49	.52	.55	.58	.61	.64	.66	.69	.71	.73	.75	.77	.79	.81	.82	.84	.85	.86	.87	.88	
3 000	.52	.55	.58	.61	.64	.66	.69	.71	.73	.75	.77	.79	.81	.82	.84	.85	.86	.88	.88	.89	
4 000	.55	.58	.61	.64	.66	.69	.71	.73	.76	.78	.79	.81	.83	.84	.85	.86	.88	.89	.90	.90	

Lampiran 5. Tekanan uap jenuh ( $e_a$ ) sebagai fungsi suhu udara rata-rata**Table 5** Saturation Vapour Pressure ( $e_a$ ) in mbar as Function of Mean Air Temperature (T) in °C <sup>1/</sup>

Temperature °C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
$e_a$ mbar	6.1	6.6	7.1	7.6	8.1	8.7	9.3	10.0	10.7	11.5	12.3	13.1	14.0	15.0	16.1	17.0	18.2	19.4	20.6*	22.0
Temperature °C	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
$e_a$ mbar	23.4	24.9	26.4	28.1	29.8	31.7	33.6	35.7	37.8*	40.1	42.4	44.9	47.6	50.3	53.2	56.2	59.4	62.8	66.3	69.9

<sup>1/</sup> Also actual vapour pressure ( $e_d$ ) can be obtained from this table using available Tdewpoint data.  
(Example: Tdewpoint is 18°C;  $e_d$  is 20.6 mbar)

## Lampiran 6. Tekanan uap (ed) dari termometer bola basah dan bola kering (psikrometer tanpa ventilasi)

Table 6a Vapour Pressure (ed) in mbar from Dry and Wet Bulb Temperature Data in °C  
(Aspirated Psychrometer)

Depression wet bulb T°C altitude 0-1 000 m											drybulb T°C	Depression wet bulb T°C altitude 1 000-2 000 m												
0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20		22	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
73.8	64.9	56.8	49.2	42.2	35.8	29.8	24.3	19.2	14.4	10.1	6.0	40	73.8	65.2	57.1	49.8	43.0	41.8	31.0	25.6	20.7	16.2	12.0	8.1
66.3	58.1	50.5	43.6	37.1	31.1	25.6	20.5	15.8	11.4	7.3		38	66.3	58.2	50.9	44.1	37.9	36.7	26.8	21.8	17.3	13.2	9.2	5.7
59.4	51.9	44.9	38.4	32.5	26.9	21.8	17.1	12.7	8.6	4.9		36	59.4	52.1	45.2	39.0	33.3	32.1	23.0	18.4	14.3	10.4	6.8	3.5
53.2	46.2	39.8	33.8	28.3	23.2	18.4	14.0	10.0	6.2			34	53.2	46.4	40.1	34.4	29.1	24.1	19.6	15.4	11.5	8.0	4.6	1.5
47.5	41.1	35.1	29.6	24.5	19.8	15.4	11.3	7.5	4.0			32	47.5	41.3	35.5	30.2	25.3	20.7	16.6	12.6	9.1	5.8	2.6	
42.4	36.5	30.9	25.8	21.1	16.7	12.6	8.8	5.3				30	42.4	36.7	31.3	26.4	21.9	17.7	13.8	10.2	6.9	3.8	0.9	
37.8	32.3	27.2	22.4	18.0	14.0	10.2	6.7	3.4				28	37.8	32.5	27.5	23.0	18.9	14.9	11.4	8.0	4.9	2.1		
33.6	28.5	23.8	19.4	15.3	11.5	8.0	4.7	1.6				26	33.6	28.7	24.1	20.0	16.1	12.5	9.2	6.0	3.2	0.5		
29.8	25.1	20.7	16.6	12.8	9.3	6.0	2.9					24	29.8	25.3	21.1	17.2	13.9	10.3	7.2	4.3	1.6			
26.4	22.0	18.0	14.2	10.6	7.4	4.3	1.4					22	26.4	22.3	18.3	14.3	11.5	8.3	5.5	2.7	0.2			
23.4	19.3	15.5	12.0	8.7	5.6	2.7						20	23.4	19.5	15.9	12.6	9.5	6.6	3.9	1.3				
20.6	16.8	13.3	10.0	6.9	4.1	1.4						18	20.6	17.1	13.7	10.6	7.8	5.0	2.5	0.1				
18.2	14.6	11.4	8.3	5.4	2.7							16	18.2	14.9	11.7	8.9	6.2	3.6	1.3					
16.0	12.7	9.6	6.7	4.0	1.5							14	16.0	12.9	10.0	7.3	4.8	2.4	0.3					
14.0	10.9	8.1	5.3	2.8								12	14.0	11.2	8.4	5.9	3.6	1.4						
12.3	9.4	6.7	4.1	1.7								10	12.3	9.6	7.0	4.7	2.8	0.4						
10.7	8.0	5.5	3.1	0.8								8	10.7	8.2	5.8	3.7	1.6							
9.3	6.8	4.4	2.1									6	9.3	7.0	4.8	2.7	0.7							
8.1	5.7	3.4	1.6									4	8.1	6.0	3.8	1.8								
7.1	4.8	2.8	0.8									2	7.1	5.0	2.9	1.0								
6.1	4.0	2.0										0	6.1	4.1	2.1									

## Lampiran 7. Tekanan uap (ed) dari termometer bola basah dan bola kering (aspirated psikrometer)

Table 6b Vapour Pressure (ed) in mbar from Dry and Wet Bulb Temperature Data in °C  
(Non-Ventilated Psychrometer)

Depression wet bulb T°C altitude 0-1 000 m												drybulb T °C	Depression wet bulb T°C altitude 1 000-2 000 m											
0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
73.8	64.7	56.2	48.4	41.2	34.4	28.2	22.4	17.0	12.0	7.4	3.0	40	73.8	64.9	56.7	49.1	42.0	35.6	29.6	34.1	18.9	14.1	9.8	5.6
66.3	57.8	50.0	42.8	36.0	29.8	24.0	18.6	13.6	9.0	4.6	0.6	38	66.3	58.0	50.5	43.4	36.9	31.0	25.4	20.3	15.5	11.1	7.0	3.2
59.4	51.6	44.4	37.6	31.4	25.6	20.2	15.2	10.6	6.2	2.2	36	59.4	51.8	44.8	38.3	32.3	26.8	21.2	16.9	12.5	8.3	4.6	1.0	
53.2	45.9	39.2	33.0	27.2	21.8	16.8	12.2	7.8	3.8	34	53.2	46.1	39.7	33.7	28.1	23.0	18.2	13.9	9.7	5.9	2.4			
47.5	40.8	34.6	28.8	23.4	18.4	13.8	9.4	5.4	1.6	32	47.5	41.0	35.1	29.5	24.3	19.6	15.2	11.1	7.3	3.7	0.4			
42.4	36.2	30.4	25.0	20.0	15.4	11.0	7.0	3.2	30	42.4	36.4	30.9	25.7	20.9	16.6	12.4	8.7	5.1	1.7					
37.8	32.0	26.6	21.6	17.0	12.6	8.6	4.8	1.2	28	37.8	32.2	27.1	22.3	17.9	13.8	10.0	6.5	3.1						
33.6	28.2	23.2	18.6	14.2	10.2	6.4	2.8	26	33.6	28.4	23.7	19.3	15.1	11.4	7.8	4.5	1.4							
29.8	24.8	20.2	15.8	11.8	8.0	4.4	1.1	24	29.8	25.0	20.7	16.5	12.7	9.2	5.8	2.8								
26.4	21.8	17.4	13.4	9.6	6.0	2.7	22	26.4	22.0	17.9	14.1	10.5	7.2	4.1	1.2									
23.4	19.0	15.0	11.2	7.6	4.3	1.1	20	23.4	19.2	15.5	11.9	8.5	5.5	2.5										
20.6	16.6	12.8	9.2	5.9	2.7	18	20.6	16.8	13.3	9.9	6.8	3.9	1.1											
18.2	14.4	10.8	7.5	4.3	1.4	16	18.2	14.6	11.3	8.2	5.2	2.5												
16.0	12.4	9.1	5.9	3.0	0.1	14	16.0	12.6	9.6	6.6	3.8	1.3												
14.0	10.7	7.5	4.6	1.7	12	14.0	10.9	8.0	5.2	2.6	0.3													
12.3	9.1	6.1	3.3	0.7	10	12.3	9.3	6.7	4.0	1.6														
10.7	7.7	4.9	2.3	8	10.7	7.9	5.4	3.0	0.6															
9.3	6.5	3.9	1.5	6	9.3	6.7	4.4	2.0																
8.1	5.5	2.9	0.9	4	8.1	5.7	3.4	1.1																
7.1	4.5	2.3	2	7.1	4.7	2.5	0.3																	
6.1	3.7	1.5	0	6.1	3.8	1.7																		

Lampiran 8. Nilai fungsi angin untuk pengukuran pada ketinggian 2 m

**Table 7** Values of Wind Function  $f(u) = 0.27 \left(1 + \frac{U_2}{100}\right)$   
for Wind Run at 2 m height in km/day

Wind km/day	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
	-	.30	.32	.35	.38	.41	.43	.46	.49	.51
100	.54	.57	.59	.62	.65	.67	.70	.73	.76	.78
200	.81	.84	.86	.89*	.92	.94	.97	1.00	1.03	1.05
300	1.08	1.11	1.13	1.16	1.19	1.21	1.24	1.27	1.30	1.32
400	1.35	1.38	1.40	1.43	1.46	1.49	1.51	1.54	1.57	1.59
500	1.62	1.65	1.67	1.70	1.73	1.76	1.78	1.81	1.84	1.90
600	1.89	1.92	1.94	1.97	2.00	2.02	2.05	2.08	2.11	2.15
700	2.16	2.19	2.21	2.24	2.27	2.29	2.32	2.35	2.38	2.40
800	2.43	2.46	2.48	2.51	2.54	2.56	2.59	2.62	2.64	2.65
900	2.70									

Lampiran 9. Nilai faktor bobot (1-w) pengaruh angin dan kelembaban terhadap ETo pada suhu dan posisi lintang berbeda

Table 8 Values of Weighting Factor (1-W) for the Effect of Wind and Humidity on ETo at Different Temperatures and Altitudes

Temperature °C	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
(1-W) at altitude m																				
0	0.57	.54	.51	.48	.45	.42	.39	.36	.34	.32	.29	.27	.25	.23*	.22	.20	.19	.17	.16	.15
500	.56	.52	.49	.46	.43	.40	.38	.35	.33	.30	.28	.26	.24	.22	.21	.19	.18	.16	.15	.14
1 000	.54	.51	.48	.45	.42	.39	.36	.34	.31	.29	.27	.25	.23	.21	.20	.18	.17	.15	.14	.13
2 000	.51	.48	.45	.42	.39	.36	.34	.31	.29	.27	.25	.23	.21	.19	.18	.16	.15	.14	.13	.12
3 000	.48	.45	.42	.39	.36	.34	.31	.29	.27	.25	.23	.21	.19	.18	.16	.15	.14	.13	.12	.11
4 000	.46	.42	.39	.36	.34	.31	.29	.27	.25	.23	.21	.19	.18	.16	.15	.14	.13	.12	.11	.10

## Lampiran 10. Nilai radiasi ekstraterrestrial (Ra)

Table 10 Extra Terrestrial Radiation (Ra) expressed in equivalent evaporation in mm/day

Northern Hemisphere												Lat	Southern Hemisphere											
Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec		Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec
3.8	6.1	9.4	12.7	15.8	17.1	16.4	14.1	10.9	7.4	4.5	3.2	50°	17.5	14.7	10.9	7.0	4.2	3.1	3.5	5.5	8.9	12.9	16.5	18.2
4.3	6.6	9.8	13.0	15.9	17.2	16.5	14.3	11.2	7.8	5.0	3.7	48	17.6	14.9	11.2	7.5	4.7	3.5	4.0	6.0	9.3	13.2	16.6	18.2
4.9	7.1	10.2	13.3	16.0	17.2	16.6	14.5	11.5	8.3	5.5	4.3	46	17.7	15.1	11.5	7.9	5.2	4.0	4.4	6.5	9.7	13.4	16.7	18.3
5.3	7.6	10.6	13.7	16.1	17.2	16.6	14.7	11.9	8.7	6.0	4.7	44	17.8	15.3	11.9	8.4	5.7	4.4	4.9	6.9	10.2	13.7	16.7	18.3
5.9	8.1	11.0	14.0	16.2	17.3	16.7	15.0	12.2	9.1	6.5	5.2	42	17.8	15.5	12.2	8.8	6.1	4.9	5.4	7.4	10.6	14.0	16.8	18.3
6.4	8.6	11.4	14.3	16.4	17.3	16.7	15.2	12.5	9.6	7.0	5.7	40	17.9	15.7	12.5	9.2	6.6	5.3	5.9	7.9	11.0	14.2	16.9	18.3
6.9	9.0	11.8	14.5	16.4	17.2	16.7	15.3	12.8	10.0	7.5	6.1	38	17.9	15.8	12.8	9.6	7.1	5.8	6.3	8.3	11.4	14.4	17.0	18.3
7.4	9.4	12.1	14.7	16.4	17.2	16.7	15.4	13.1	10.6	8.0	6.6	36	17.9	16.0	13.2	10.1	7.5	6.3	6.8	8.8	11.7	14.6	17.0	18.2
7.9	9.8	12.4	14.8	16.5	17.1	16.8	15.5	13.4	10.8	8.5	7.2	34	17.8	16.1	13.5	10.5	8.0	6.8	7.2	9.2	12.0	14.9	17.1	18.2
8.3	10.2	12.8	15.0	16.5	17.0	16.8	15.6	13.6	11.2	9.0	7.8	32	17.8	16.2	13.8	10.9	8.5	7.3	7.7	9.6	12.4	15.1	17.2	18.1
8.8	10.7	13.1	15.2	16.5	17.0	16.8	15.7	13.9	11.6	9.5	8.3	30	17.8	16.4	14.0	11.3	8.9	7.8	8.1	10.1	12.7	15.3	17.3	18.1
9.3	11.1	13.4	15.3	16.5	16.8	16.7	15.7	14.1	12.0	9.9	8.8	28	17.7	16.4	14.3	11.6	9.3	8.2	8.6	10.4	13.0	15.4	17.2	17.9
9.8	11.5	13.7	15.3	16.4	16.7	16.6	15.7	14.3	12.3	10.3	9.3	26	17.6	16.4	14.4	12.0	9.7	8.7	9.1	10.9	13.2	15.5	17.2	17.8
10.2	11.9	13.9	15.4	16.4	16.6	16.5	15.8	14.5	12.6	10.7	9.7	24	17.5	16.5	14.6	12.3	10.2	9.1	9.5	11.2	13.4	15.6	17.1	17.7
10.7	12.3	14.2	15.5	16.3	16.4	16.4	15.8	14.6	13.0	11.1	10.2	22	17.4	16.5	14.8	12.6	10.6	9.6	10.0	11.6	13.7	15.7	17.0	17.5
11.2	12.7	14.4	15.6	16.3	16.4	16.3	15.9	14.8	13.3	11.6	10.7	20	17.3	16.5	15.0	13.0	11.0	10.0	10.4	12.0	13.9	15.8	17.0	17.4
11.6	13.0	14.6	15.6	16.1	16.1	16.1	15.8	14.9	13.6	12.0	11.1	18	17.1	16.5	15.1	13.2	11.4	10.4	10.8	12.3	14.1	15.8	16.8	17.1
12.0	13.3	14.7	15.6	16.0	15.9	15.9	15.7	15.0	13.9	12.4	11.6	16	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.8	16.7	16.8
12.4	13.6	14.9	15.7	15.8	15.7	15.7	15.7	15.1	14.1	12.8	12.0	14	16.7	16.4	15.3	13.7	12.1	11.2	11.6	12.9	14.5	15.8	16.5	16.6
12.8	13.9	15.1	15.7	15.7	15.5	15.5	15.6	15.2	14.4	13.3	12.5	12	16.6	16.3	15.4	14.0	12.5	11.6	12.0	13.2	14.7	15.8	16.4	16.5
13.2	14.2	15.3	15.7	15.5	15.3	15.3	15.5	15.3	14.7	13.6	12.9	10	16.4	16.3	15.5	14.2	12.8	12.0	12.4	13.5	14.8	15.9	16.2	16.2
13.6	14.5	15.3	15.6	15.3	15.0	15.1	15.4	15.3	14.8	13.9	13.3	8	16.1	16.1	15.5	14.4	13.1	12.4	12.7	13.7	14.9	15.8	16.0	16.0
13.9	14.8	15.4	15.4	15.1	14.7	14.9	15.2	15.3	15.0	14.2	13.7	6	15.8	16.0	15.6	14.7	13.4	12.8	13.1	14.0	15.0	15.7	15.8	15.7
14.3	15.0	15.5	15.5	14.9	14.4	14.6	15.1	15.3	15.1	14.5	14.1	4	15.5	15.8	15.6	14.9	13.8	13.2	13.4	14.3	15.1	15.6	15.5	15.4
14.7	15.3	15.6	15.3	14.6	14.2	14.3	14.9	15.3	15.3	14.8	14.4	2	15.3	15.7	15.7	15.1	14.1	13.5	13.7	14.5	15.2	15.5	15.3	15.1
15.0	15.5	15.7	15.3	14.4	13.9	14.1	14.8	15.3	15.4	15.1	14.8	0	15.0	15.5	15.7	15.3	14.4	13.9	14.1	14.8	15.3	15.4	15.1	14.8

## VI. ANALISIS NERACA AIR DAN POLA TANAM

Tujuan Instruksional Khusus
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mahasiswa diharapkan mampu untuk menjelaskan secara rinci komponen yang bekerja pada siklus hidrologi</li> <li>2. Mahasiswa diharapkan mampu untuk menjelaskan konsep perhitungan neraca air</li> <li>3. Mahasiswa diharapkan mampu untuk menjelaskan prosedur penyusunan pola tanam</li> </ol>

### A. Siklus Hidrologi

Di bumi terdapat kira-kira sejumlah 1,3-1,4 milyar km<sup>3</sup> air: 97,5% adalah air laut, 1,75 % berbentuk es dan 0,73 % berada di daratan sebagai air sungai, air danau, air tanah dan sebagainya, hanya 0,001 % berbentuk uap di udara. Air di bumi ini mengulangi terus menerus sirkulasi → penguapan, presipitasi dan pengaliran keluar (*outflow*). Air menguap ke udara dari permukaan tanah dan laut, berubah menjadi awan sesudah melalui beberapa proses dan kemudian jatuh sebagai hujan atau salju ke permukaan laut atau daratan. Sebelum tiba ke permukaan bumi sebagian langsung menguap ke udara dan sebagian tiba ke permukaan bumi. Tidak semua bagian hujan yang jatuh ke permukaan bumi mencapai permukaan tanah. Sebagian akan tertahan oleh tumbuh-tumbuhan di mana sebagian akan menguap dan sebagian lagi akan jatuh atau mengalir melalui dahan-dahan ke permukaan tanah.

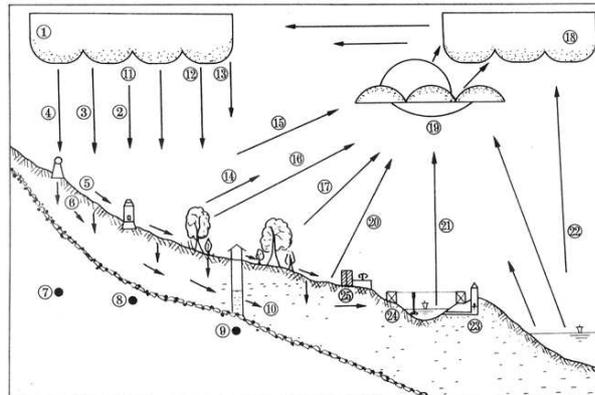
Sebagian air hujan yang tiba ke permukaan tanah akan masuk ke dalam tanah (*infiltrasi*). Bagian lain yang merupakan kelebihan akan mengisi lekuk-lekuk permukaan tanah, kemudian mengalir ke daerah-

daerah yang rendah, masuk ke sungai-sungai dan akhirnya ke laut. Tidak semua butir air yang mengalir akan tiba ke laut. Dalam perjalanan ke laut sebagian akan menguap dan kembali ke udara. Sebagian air yang masuk ke dalam tanah keluar kembali segera ke sungai-sungai (disebut aliran intra = *interflow*). Tetapi sebagian besar akan tersimpan sebagai air tanah (*groundwater*) yang akan keluar sedikit demi sedikit dalam jangka waktu yang lama ke permukaan tanah di daerah-daerah yang rendah (disebut *groundwater run off* = limpasan air tanah).

Jadi sungai itu mengumpulkan 3 jenis limpasan, yakni limpasan permukaan (*surface runoff*), aliran intra (*interflow*) dan limpasan air tanah (*groundwater runoff*) yang, akhirnya akan mengalir ke laut. Singkatnya ialah: uap dari laut dihembus ke atas daratan (kecuali bagian yang telah jatuh, sebagai presipitasi ke laut), jatuh ke daratan sebagai presipitasi (sebagian jatuh langsung ke sungai-sungai dan mengalir langsung ke laut). Sebagian dari hujan atau salju yang jatuh di daratan menguap dan meningkatkan kadar uap di atas daratan. Bagian yang lain mengalir ke sungai dan akhirnya ke laut.

Seperti telah dikemukakan di atas, sirkulasi yang kontinu antara air laut dan air daratan berlangsung terus. Sirkulasi air ini disebut siklus hidrologi (*hydrological cycle*), seperti pada Gambar 6.1.

Tetapi sirkulasi air ini tidak merata, karena kita melihat perbedaan besar presipitasi dari tahun ke tahun, dari musim ke musim yang berikut dan juga dari wilayah ke wilayah yang lain. Sirkulasi air ini dipengaruhi oleh kondisi meteorologi (suhu, tekanan atmosfer, angin dan lain-lain) dan kondisi topografi; kondisi meteorologi adalah faktor-faktor yang menentukan.



Gambar 6.1. Siklus hidrologi

Keterangan Gambar 6.1. :

- |                              |                                       |   |
|------------------------------|---------------------------------------|---|
| 1. Awan dan uap air di udara | 11. Presipitasi                       | 20. Evaporasi dari tanah                          |
| 2. Hujan                     | 12. Salju yang mencair                | 21. Evaporasi dari sungai-sungai dan danau-danau. |
| 3. Hujan es                  | 13. Lain-lain                         | 22. Evaporasi dari laut.                          |
| 4. Salju                     | 14. Intersepsi                        | 23. Pengamatan debit                              |
| 5. Limpasan permukaan        | 15. Evaporasi hujan yang sedang jatuh | 24. Pengamatan kualitas air                       |
| 6. Perkulasi                 | 16. Evapotranspirasi                  | 25. Pengamatan evaporasi                          |
| 7. Alat ukur salju           | 17. Transpirasi                       |   |
| 8. Alat ukur hujan           | 18. Awan dan uap air                  |   |
| 9. Sumur pengamatan          | 19. Evaporasi                         |   |
| 10. Air tanah                |                                       |   |

Air permukaan tanah dan air tanah yang dibutuhkan untuk kehidupan dan produksi adalah air yang terdapat dalam proses sirkulasi ini. Jadi jika sirkulasi ini tidak merata (hal mana memang terjadi demikian), maka akan terjadi bermacam-macam kesulitan. Jika terjadi sirkulasi yang lebih, seperti banjir, maka harus diadakan pengendalian banjir. Jika terjadi sirkulasi yang kurang, maka kekurangan air ini harus ditambah dalam suatu usaha pemanfaatan air.

Berdasarkan hal-hal tersebut di atas, maka berkembanglah ilmu Hidrologi, yakni ilmu yang mempelajari sirkulasi air itu. Jadi dapat dikatakan, Hidrologi adalah ilmu untuk mempelajari:

- a) presipitasi (*precipitation*)
- b) evaporasi dan transpirasi (*evaporation*)
- c) aliran permukaan (*surface stream flow*) dan
- d) air tanah (*ground water*)

## B. Pengertian Neraca Air

Neraca air mempunyai batasan-batasan pengertian tertentu yang dapat didefinisikan. Sejumlah ahli telah mengemukakan berbagai definisi yang berbeda, karena disusun berdasarkan tujuan penggunaan yang berlainan.

Berdasarkan tujuan penggunaan di bidang hidrologi untuk pengairan, Sosrodarsono dan Takeda (1978) mengemukakan bahwa neraca air merupakan penjelasan tentang hubungan antara aliran ke dalam (*in flow*) dan aliran ke luar (*out flow*) di suatu daerah untuk suatu periode tertentu dan proses sirkulasi air.

Di bidang Agroklimatologi, Frere dan Popov (1979) seperti yang dikutip oleh Oldeman dan Frere (1982) mengartikan neraca air sebagai selisih antara jumlah air yang diterima oleh tanaman dan kehilangan air dan tanaman beserta tanah melalui evapotranspirasi.

Hillel (1980) untuk kepentingan penerapan ilmu fisika tanah bagi pertanian, menyatakan bahwa neraca air merupakan penjelasan rinci dari hukum kekekalan massa (untuk air) yakni: massa tidak bertambah maupun berkurang tetapi hanya berubah bentuk dan atau berpindah tempat.

Dari tiga contoh tersebut dapat disimpulkan bahwa neraca air merupakan perimbangan antara masukan (input) dan keluaran (output) air di suatu tempat pada suatu saat/periode tertentu. Neraca air tersebut dapat dihitung pada luasan dan periode waktu tertentu menurut keperluannya. Harus dijelaskan bahwa tempat di mana air diukur atau periode yang diinginkan, serta masukan dan keluaran air yang diinginkan. Dalam perhitungan digunakan satuan tinggi air (mm, atau cm) untuk seluruh unsur. Satuan waktu yang digunakan dapat dipilih satuan harian, mingguan dan dekade (10 hari), bulanan ataupun tahunan sesuai dengan keperluannya

Sesuai dengan tujuannya dapat disusun berbagai model neraca air dalam bentuk persamaan kuantitatif. Hasil analisis dapat memberikan informasi kuantitatif dari masing-masing komponen masukan dan keluaran yang dapat digunakan sebagai landasan operasional di lapangan.

Persamaan dasar dari neraca air adalah :

$$M = K \quad \dots\dots\dots (1)$$

M adalah masukan dan K adalah keluaran.

Kebenaran dari hasil persamaan ini sangat tergantung kepada lengkap atau tidaknya komponen dari seluruh daur hidrologi yang dimasukkan ke dalam kotak M dan kotak K. Ketelitiannya sangat dipengaruhi oleh: ketelitian pengukuran, satuan waktu dan jangka waktu pengukuran, dan ketelitian perhitungan.

Data neraca air sifatnya kumulatif, satuan waktunya dapat dipilih di antara satuan kumulatif harian, mingguan, dekade dan bulanan. Berdasarkan pengertian bahwa iklim adalah rata-rata cuaca jangka panjang maka neraca air menurut konsep klimatologi merupakan nilai rata-rata dari neraca konsep meteorologi.

Pada neraca air klimatologi dapat digunakan nilai rata-rata atau nilai yang berpeluang tertentu. Misalnya untuk komponen curah hujan dapat digunakan rata-rata jangka panjang, atau nilai curah hujan melebihi jumlah tertentu yang peluang kejadian hujan tertentu misalnya 50 %, 70%, 75 % , 80% dan sebagainya. Penggunaan konsep berdasarkan peluang kejadian dianggap lebih baik dibandingkan dengan penggunaan nilai rata-rata.

Berdasarkan tujuan penggunaannya neraca air dapat dibedakan atas neraca air umum, neraca air lahan dan neraca tanaman. Neraca air tanaman biasanya digunakan untuk tujuan spesifik pada satu jenis tanaman tertentu, dengan memasukkan nilai koefisien tanaman pada komponen keluaran dari neraca air.

### C. Neraca Air Umum

Neraca air umum disusun secara klimatologis dan bermanfaat untuk mengetahui berlangsungnya periode basah, dimana jumlah curah hujan melebihi kehilangan air untuk penguapan maupun kehilangan air yang keluar dari sistem tanaman.

Data yang diperlukan untuk analisis ini antara lain data masukan air dari curah hujan (CH) dan data keluaran air melalui evapotranspirasi potensial (ETP). Analisis ini menggunakan model

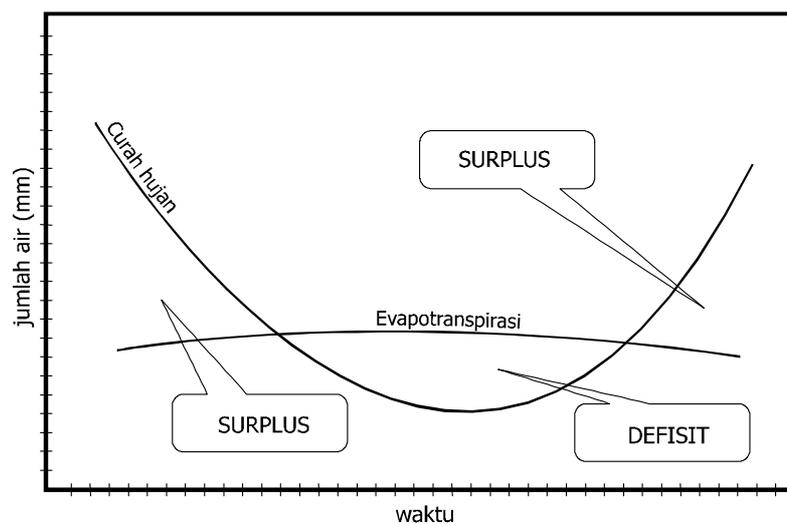
dengan asumsi bahwa surplus hujan yang ada dalam tanah belum diperhitungkan, lahan tertutup oleh rumput pendek.

Bentuk umum model neraca air yang digunakan untuk analisis adalah :

$$M = K$$

$$CH = ETP + S$$

Apabila  $CH < ETP$  maka nilai  $S$  akan bernilai negatif, kondisi ini dikenal dengan istilah Defisit, kebalikannya adalah Surplus.



Gambar 6.2. Sketsa grafik neraca air umum

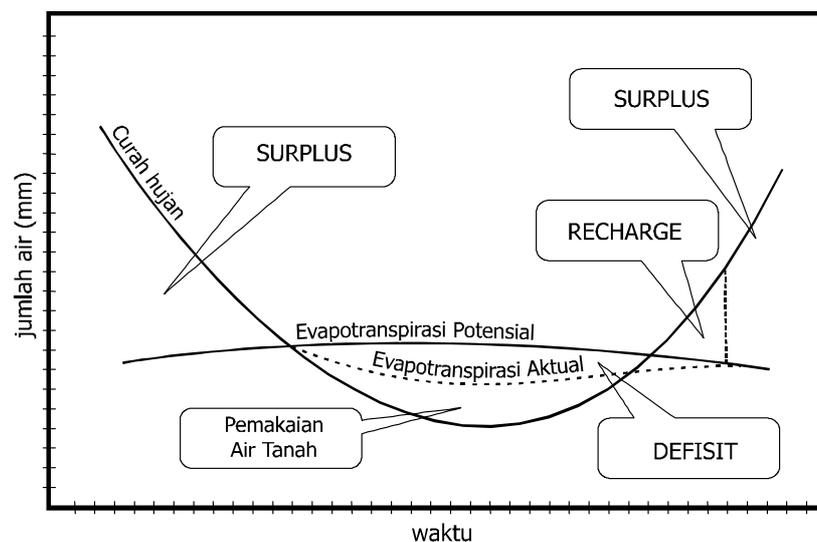
#### D. Neraca Air Lahan

Model neraca air lahan memerlukan tambahan informasi berkaitan dengan sifat fisik tanah antara lain : Kadar air kapasitas lapang (KL) dan Kadar air titik layu permanen (TLP). Analisis ini bagi bidang pertanian bermanfaat untuk : 1) mempertimbangkan

kesesuaian lahan bagi sistem pertanian tadah hujan; 2) mengatur jadwal tanam dan jadwal panen; dan 3) mengatur pemberian air irigasi baik dalam jumlah maupun waktu.

Asumsi yang digunakan pada model ini antara lain : a) lahan datar tertutup vegetasi rumput sebagai referensi; b) lahan berupa tadah hujan tanpa masukan dari sumber lain; dan c) susunan partikel tanah bersifat homogen sehingga nilai kandungan air tanah (KL dan TLP) mewakili seluruh lapisan dan hamparan tanah.

Output yang dapat dihasilkan dari model ini adalah : 1) evapotranspirasi aktual (ETA) atau evapotranspirasi potensial (ETP); 2) perubahan kandungan air tanah (dKAT); 3) limpasan permukaan (Ro); dan 4) drainase (DR).



Gambar 6.3. Sketsa grafik neraca air lahan

Model analisis neraca air lahan tanaman dilakukan dengan melakukan penentuan kebutuhan air tanaman yang didekati dengan data evapotranspirasi potensial.

$$ET_c = ET_o * kc$$

Nilai koefisien tanaman ( $kc$ ) adalah nilai yang diperoleh secara empiris dilapangan, bersifat spesifik untuk tiap jenis tanaman dan nilainya berubah menurut umur tanaman.

Analisis neraca air lahan tanaman sangat bermanfaat untuk mendapatkan berbagai informasi yang akan digunakan untuk pengelolaan lahan tanaman.

#### E. Pola Tanam

Di Indonesia Masa tanam (*growing season*) khususnya pada lahan tadah hujan tergantung pada ada tidaknya curah hujan dan distribusinya selama periode tertentu. Menurut FAO, masa tanam adalah selang waktu dalam setahun dengan curah hujan lebih besar dari setengah evapotranspirasi potensial ( $0.5 * ET_o$ ) ditambah waktu pada akhir musim hujan ( $CH$  mendekati nilai  $0.5 * ET_o$ ) untuk mengevapotranspirasikan air tanah yang masih tersimpan setinggi 100 mm.

Awal masa tanam dapat diduga dengan cara menentukan periode curah hujan efektif yang tersedia, yang didasarkan  $CH$  dan  $ET_o$ . Periode curah hujan efektif tersedia adalah jumlah waktu yang berurutan dari minggu-minggu yang memiliki nilai  $CH/ET_o$  rata-rata per 14 minggu tidak kurang dari 0.75, awal periode ini adalah pada minggu yang memiliki  $CH/ET_o$  sebesar 0.5. Awal musim hujan dan masa tanam adalah seminggu menjelang awal periode curah hujan efektif yang tersedia, sedangkan persiapan masa tanam sebaiknya dilakukan pada saat nilai  $CH/ET_o$  antara 0.25 – 0.5.

Pedoman untuk menentukan masa tanam juga dikemukakan oleh Oldeman, dimana untuk tanaman padi sawah masa tanam

ditentukan jika curah hujan per bulan berkisar 200 mm atau lebih, sedangkan untuk tanaman palawija menggunakan nilai curah hujan per bulan 100 mm.

Berdasarkan ketersediaan air, pola tanam dapat dibagi atas tiga :  
1) pola tanam pada lahan beririgasi teknis, setengah teknis, maupun irigasi sederhana; 2) pola tanam pada lahan tadah hujan; dan 3) pola tanam pada lahan kering (tegalan, kebun, pekarangan)

### Tujuan dan Kegunaan Pola Tanam

Tujuan utama penyusunan pola tanam adalah sebagai upaya untuk meningkatkan hasil dengan cara intensifikasi lahan dan upaya meningkatkan produksi pangan dengan memanfaatkan sumberdaya iklim secara efisien.

Kegunaan lainnya adalah : 1) meningkatkan pendapatan petani per satuan luas; 2) pemanfaatan waktu yang lebih efisien dari segi usaha tani; 3) dapat mengatasi masalah tenaga kerja (mengurangi pengangguran musiman).

Beberapa faktor penghambat dalam pelaksanaan penyusunan pola tanam, terutama oleh pemerintah antara lain :

- a) Faktor sosial seperti kebiasaan dan keinginan (kesediaan) petani untuk bekerja lebih keras lagi serta kesediaan menghasilkan sesuatu yang berorientasi pasar.
- b) Faktor ekonomi yang menyangkut harga dan tersedianya lembaga penyalur hasil panen di daerah dan yang vital adalah sulitnya mencari modal usaha tani.
- c) Faktor teknis, langkanya pengetahuan teknis dan administrasi
- d) Faktor kelembagaan, adanya sistem pajak tanah, pajak air dan besarnya pungutan usaha tani.

- e) Faktor lingkungan, adanya bencana (banjir, kekeringan, serangan hama dan penyakit)

### Contoh Pola Tanam

Setiap lahan punya potensi yang berbeda sehingga punya cara yang berbeda pula dalam menerapkan pola tanam yang mungkin dapat diterapkan. Beberapa contoh pola tanam yang biasa digunakan oleh petani dan perbandingan dengan pola tanam yang disusun oleh Balai Penyuluhan Pertanian (BPP) di suatu daerah di Kabupaten Bogor dapat ditampilkan pada Tabel 6.1.

Tabel 6.1. Pola tanam yang diterapkan petani dan Balai Penyuluh Pertanian pada berbagai kondisi lahan

<b>JENIS LAHAN</b>	<b>POLA TANAM PETANI</b>	<b>POLA TANAM BPP</b>
Irigasi Teknis	Padi – Padi	Padi – Ikan – Padi Padi – Padi – Kedele Padi – Padi – Ketimun
Irigasi Semi Teknis	Padi – Padi Padi – Sayuran Padi – Palawija	Padi – Padi – Kedele Padi – Padi – Kc.Tanah Padi – Kc.Tanah – Ketimun
Irigasi Sederhana	Padi – Sayuran Padi – Palawija Padi – Padi	Padi – Kc.Panjang – Jagung Padi – Kc.Tanah – Kedele Padi – Padi – Kedele
Tadah Hujan	Padi – Palawija Padi – Sayuran Padi – bera	Padi – Ubi Jalar – Bayam Padi – Kc.Panjang – Kedele Padi – Kc.Tanah – Kedele
Pekarangan	Belum dimanfaatkan secara intensif	Kc.Panjang – Bayam Jagung – Kedele/Kc.Tanah Ketimun – Jagung/Kedele Buah-buahan - Bayam
Tegalan	Ketela Pohon – bera Ket.pohon – Ubi Jalar Ket.pohon - Jagung	Kc.Pohon – Jagung/Kedele Kc.Pohon – Ubi Jalar/Jagung Ubi Jalar – Jagung/Kedele

Pola tanam yang dilakukan oleh petani seperti pada Tabel 6.1. terlihat petani masih belum optimal dalam memanfaatkan lahannya, sementara BPP menyusun pola tanam yang lebih mengoptimalkan pemanfaatan lahan. Pola tanam tersebut disusun dengan pertimbangan-pertimbangan faktor kendala yang telah diuraikan diatas.

#### Pertanyaan dan Tugas

- a. Uraikan komponen-komponen apa saja yang terlibat dalam siklus hidrologi : 1) dalam skala DAS; 2) dalam skala lahan pertanian; 3) dalam skala plot (polybag)
- b. Kemukakan jawaban diatas dalam bentuk neraca air atau persamaan kesetimbangan !
- c. Faktor apa saja yang menjadi dasar dalam penentuan dan penyusunan pola tanam ?

#### Referensi

- Nasir,A.A. dan Effendy, S. 1999. Analisis Neraca Air dan Pola Tanam. Bahan Pelatihan Dosen-dosen PTN Indonesia Bagian Barat dalam Bidang Agroklimatologi. IPB. Bogor
- Sosrodarsono,S dan Takeda,K. 1993. Hidrologi Untuk Pengairan (cetakan ketujuh). Pradnya Paramita. Jakarta.

## VII. FENOMENA IKLIM GLOBAL

Tujuan Instruksional Khusus
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mahasiswa diharapkan mampu untuk menjelaskan karakteristik iklim wilayah Indonesia</li> <li>2. Mahasiswa diharapkan mampu untuk menjelaskan proses terjadinya fenomena alam el-nino dan la-nina</li> <li>3. Mahasiswa diharapkan mampu untuk menjelaskan dampak perubahan iklim terhadap wilayah Indonesia</li> </ol>

### A. Iklim Wilayah Indonesia

Indonesia terdiri dari lebih dari 12000 pulau besar dan kecil yang terbentang pada jarak 5000 km dimana sebagian besar pulaunya mempunyai pegunungan yang mengakibatkan beragamnya tipe iklim (hujan). Di daerah dekat equator mempunyai pola hujan bimodal (mengalami dua puncak hujan), akibat daerah tersebut dilalui ITCZ dua kali dalam setahun. Sedangkan daerah lainnya mengalami musim hujan dan musim kemarau, bergantian dengan curah hujan yang sangat beragam (Gambar 7.1 dan 7.2).

Indonesia merupakan daerah Monsoon yang terletak antara Benua Asia dan Australia. Pengaruh Angin Passat Timur Laut dan Angin Passat Tenggara tidak begitu jelas terutama untuk daerah Indonesia Barat. Monsoon adalah keadaan musim dimana dalam musim panas angin permukaan berhembus dari seperempat penjuruan angin (Barat-Utara) secara mantap (arah angin terbanyak rata-rata > 40%) dari pada musim dingin arah angin berbalik dari seperempat penjuruan angin yang lainnya (Timur-Selatan).

Pada bulan-bulan Desember, Januari dan Februari (musim dingin di belahan bumi Utara) terdapat pusat tekanan tinggi di Asia dan pusat tekanan rendah di Australia menyebabkan angin yang berhembus di Indonesia pada umumnya Angin Barat (West monsoon). Sebaliknya pada bulan Juni, Juli dan Agustus terjadi pusat tekanan rendah di Asia (musim panas di belahan bumi Utara) dan pusat tekanan tinggi di Australia yang menyebabkan angin yang berhembus di Indonesia adalah Angin Timur (East monsoon).

Sebenarnya Angin Barat dan Angin Timur hanya terjadi di daerah-daerah di sebelah Selatan equator, untuk daerah di sebelah Utara equator lebih angin Utara pada bulan Desember, Januari dan Februari dan angin Selatan untuk bulan Juni, Juli dan Agustus. Di sebelah Selatan equator (terutama Jawa Timur dan Nusa Tenggara), Angin Timur berhembus lebih lama karena mulainya lebih dulu dan selesainya paling akhir. Hal ini menyebabkan daerah ini mempunyai musim kemarau yang lebih nyata.

Pada bulan Desember, Januari dan Februari terjadi pusat tekanan rendah di Australia menyebabkan terjadinya komponen angin Barat daya di sebelah Barat Bukit Barisan dari Sumatra Tengah dan Sumatra Selatan serta bagian Selatan dari pulau Jawa dan Bali. Keadaan arah angin permukaan sama dengan arah angin pada ketinggian 300 - 3000 m.

Pada bulan Maret, Angin Barat masih berhembus tetapi kecepatan dan kemantapannya makin berkurang. Pada bulan April dan Mei arah angin tidak menentu/berubah-ubah dan periode ini dikenal sebagai Musim Peralihan (pancaroba) . Pada bulan Oktober dan Nopember arah angin juga tidak menentu dan periode ini dikenal dengan Musim Peralihan.

Dari tahun ke tahun sifat monsoon tidaklah sama baik arah, kecepatan maupun sifat udara yang dibawanya. Demikian pula keadaan cuaca yang ditimbulkan juga tidak sama, ada tahun-tahun yang curah hujannya lebih basah dari tahun-tahun yang lain. Sebagai contoh adalah curah hujan tahunan di Jakarta, dari tahun ke tahun cukup bervariasi begitu juga curah hujan musim kemarau bulan Mei-Oktober juga berfluktuasi (Gambar 7.3). Pada musim pancaroba variasi cuaca atau iklim dari tahun ke tahun lebih besar.

Gangguan siklon tropis yang sering terjadi di sekitar garis 10°LU pada bulan Agustus, September, Oktober dan Nopember dan sekitar garis 20°LS pada bulan Desember, Januari dan Februari dapat mempengaruhi sirkulasi monsoon di Indonesia. Peristiwa El Nino tahun 1982-1983 yang diakibatkan tidak normalnya suhu permukaan Lautan Pasifik Barat menyebabkan sirkulasi Barat – Timur atau siklus Walker menjadi terganggu sehingga Indonesia mengalami kekeringan.

Antara bulan November sampai Februari angin Barat laut membawa udara lembab ke arah Pantai Timur Laut, Utara, Barat Laut dan Barat dari pulau-pulau di Indonesia, kecuali bagian Utara dan Timur Laut Sumatera karena tertetak dibalik sisi bayang-bayang (leeward side) pegunungan Malaysia, dan Barat Sulawesi Tengah yang berada di balik sisi bayang-bayang pegunungan di Kalimantan, dimana daerah tersebut kurang dipengaruhi oleh monsoon.

Sepanjang Pantai Timur dan Tenggara dari beberapa bagian pulau-pulau curah hujannya agak kurang sebab pantai tersebut terletak dibalik sisi bayang-bayang gunung. Kalimantan Timur mempunyai curah hujan yang lebih rendah daripada Kalimantan Barat, dan Sulawesi bagian Timur menerima curah hujan yang lebih

kecil dari Sulawesi bagian Barat. Pengaruh ini juga berlaku pada beberapa pulau kecil lainnya.

Bulan Februari mempunyai sifat yang agak kering dibandingkan bulan Januari terutama daerah yang dekat dengan equator atau sebelah Utara equator yang disebabkan oleh mulai melemahnya monsoon Barat laut. Udara kering dari benua Eurasia menerobos ke bagian Utara Sumatera. Pada bulan Maret ITCZ melintasi Sumatera menyebabkan curah hujan lebih tinggi dibandingkan bulan Februari, hal ini juga terjadi di Sulawesi Tengah.

Selama periode April sampai Oktober-Nopember, Indonesia di pengaruhi oleh Angin Tenggara dengan udaranya yang relatif kering yang berasal dari Australia. Pengaruh Angin Tenggara ini pertama kali mulai dirasakan disebelah Tenggara Indonesia setelah ITCZ bergerak ke Utara. Pada bulan Maret terjadi pengurangan curah hujan terutama disepanjang pantai Tenggara dari Nusa Tenggara, dan bulan April daerah ini menjadi kering. Meskipun demikian daerah pantai yang menghadap laut atau lautan di sebelah Selatan atau Tenggara pulau menjadi lebih basah (misalnya pantai Timur Sulawesi Selatan, pantai Selatan Pulau Seram). Demikian juga di pantai Selatan Jawa Barat dan pantai Barat Daya Sumatera menjadi basah. Pantai Timur Kalimantan yang dihalangi oleh pegunungan di Sulawesi menjadi relatif kering.

Mulai bulan Mei aliran udara kering melingkupi hampir semua bagian Indonesia dan bulan Juli bagian Timur dan Timur laut di Indonesia berada dalam musim kering. Hanya sebagian kecil dari pantai Selatan pulau Seram, Buru, Sulawesi Selatan, Jawa Barat, Barat Laut Sumatra dan Kalimantan bagian tengah yang masih basah (hujan).

Dari bulan Agustus sampai Oktober bagian Utara Indonesia dipengaruhi oleh monsoon Barat Daya, terutama pantai Barat Sumatra dan juga Kalimantan Barat serta Barat daya Jawa Barat menerima curah hujan yang lebih tinggi. Sedangkan di bagian Timur dan Tenggara Indonesia mengalami musim kering yang terus-menerus.

Bulan Nopember ITCZ berada diatas Kalimantan, meskipun monsoon Utara dan Timur laut meningkat kekuatannya tetapi untuk pantai Utara dan pantai Timur dari daerah di sebelah Selatan equator masih relatif kering.

Awal musim hujan di Indonesia di mulai dari arah Barat laut yaitu Sumatera bagian Barat pada bulan Agustus menuju ke arah Tenggara yaitu daerah Nusa Tenggara pada bulan Desember. Pada bulan September adalah awal musim hujan untuk sebagian besar Pulau Sumatera dan Kalimantan. Kemudian bulan Oktober awal musim hujan untuk daerah Sumatera bagian Selatan, Jawa Barat bagian Selatan, Kalimantan bagian Selatan, Sulawesi bagian Utara dan sebagian Irian. Bulan Nopember adalah awal musim hujan untuk sebagian besar Pulau Jawa, Sulawesi bagian Selatan dan Tenggara, sedangkan daerah Nusa Tenggara awal musim hujan dimulai bulan Desember (Gambar 7.4).

Puncak hujan atau curah hujan tertinggi di Indonesia berbeda-beda untuk setiap daerah yang arahnya hampir sama dengan awal musim hujan (Gambar 7.5). Karena awal musim hujan, puncak hujan bahkan pola hujan untuk daerah Indonesia berbeda-beda maka tidaklah benar men-generalisasi bahwa musim hujan di Indonesia adalah pada bulan Nopember sampai April dan musim kemarau bulan Mei sampai Oktober. Berpedoman bahwa iklim atau musim berbeda-beda untuk setiap daerah Indonesia, maka pendalaman mengenai

iklim dalam skala propinsi atau daerah tipe Iklim sangatlah bermanfaat di masa yang akan datang, baik untuk perencanaan dan evaluasi pembangunan maupun peramalan iklim di masa yang akan datang.

Suhu udara di Indonesia dari bulan ke bulan relatif kecil variasinya. Sebelah Utara equator suhu rata-rata bulanan mencapai maksimum sekitar bulan Mei dan suhu rata-rata bulanan terendah pada bulan Desember dan Januari (Medan). Disebelah Selatan equator suhu maksimum pertama terjadi bulan April - Mei, dan maksimum kedua terjadi di akhir musim kemarau yaitu bulan Oktober (Surabaya). Lebih ke Selatan lagi maksimum pertama menjadi tidak jelas dan maksimum bulan Oktober menjadi lebih dominan (Kupang). Meskipun ada variasinya tetapi rata-rata suhu bulanan di permukaan laut hanya berfluktuasi antara 25.2°C (Medan, Januari) sampai 27.9°C.(Kupang, Oktober). Di sebelah Utara equator suhu maksimum terjadi pada bulan April-Juli. Pada bulan Juni dan Juli suhu maksimum rata-rata bulanan relatif agak rendah di sebelah Selatan equator yang disebabkan oleh angin Tenggara yang dingin, tetapi suhu maksimum yang agak rendah juga terjadi pada bulan Januari dan Februari dimana suhu di siang hari agak rendah karena penutupan awan yang tinggi.

Suhu minimum di daerah pantai dekat equator hampir tidak bervariasi, tetapi ke arah Tenggara suhu minimum menurun tajam dari bulan Mei sampai Agustus. Meskipun suhu minimum di Pontianak (0°LS) sepanjang tahun 24°C tetapi suhu minimum di Kupang (10°LS) pada bulan Desember-Januari (berawan, hujan dan radiasi surya rendah) dan menurun tajam dibawah 21°C pada bulan Juli-Agustus (langit cerah).

Suhu udara sangat dipengaruhi oleh ketinggian tempat dari permukaan laut dan jarak dari pantai. Sebagai contoh di Pusanegara (daerah pantai) mempunyai suhu maksimum 32°C dan minimum 22°C, sedangkan di Mojowarno (inland plain) suhu maksimum mencapai 33°C pada bulan Oktober dan minimum hampir 20°C pada bulan Juli-Agustus. Suhu kisaran harian di pantai antara 6-9°C sedangkan di pedalaman (inland plain) antara 8-12°C.

Penerimaan radiasi surya di Indonesia berkisar antara 278 (Cipanas) sampai 427 cal/cm<sup>2</sup>/hari (Langrang). Pada musim hujan penerimaan radiasi surya berkisar antara 208 (Cipanas) sampai 431 cal/cm<sup>2</sup>/hari (Langrang). sedangkan pada musim kemarau berkisar antara 323 sampai 454 cal/cm<sup>2</sup>/hari.

Tabel 7.1. Hubungan suhu maksimum-minimum dengan ketinggian tempat di Indonesia.

	50 m	570 m	1400 m	1735 m	2819 m	3023 m
Suhu maksimum (°C)	31.7	29.7	23.2	18.9	15.2	13.2
Suhu minimum (°C)	21.8	19.7	16.0	14.3	8.2	6.6
Kisaran harian (°C)	9.9	8.0	7.2	4.6	7.0	6.6

Kelembaban udara di Indonesia pada malam hari umumnya di atas 90%. Pada musim hujan kelembaban udara pada siang hari di daerah pantai sekitar 80-85%, sedangkan pada musim kemarau turun menjadi sekitar 70% dan pada musim kemarau pada siang hari di daerah pedalaman kelembaban udara turun sampai 55%.

Kecepatan angin di sebagian besar wilayah Indonesia relatif rendah. Selama musim hujan kecepatan angin Barat daya di pantai

Utara Jawa antara 1.9-2.4 m/detik. Selama musim kemarau kecepatan angin Timur sekitar 1.8 m/detik. Di Sumatera Utara angin Barat berhembus dengan kencang sekitar 3-4 m/detik terutama terjadi pada bulan Juni sampai September di daerah celah pegunungan. Di Jakarta kecepatan angin bervariasi antara 1.7 m/detik pada pagi hari sampai 2.3 m/detik pada sore hari, sedangkan malam hari hanya 0.5 m/detik.

Evaporasi di Indonesia untuk daerah dataran rendah bervariasi antara 4 mm/hari pada musim hujan sampai 5 mm/hari pada musim kemarau. Namun di daerah yang lebih kering nilai evaporasi dari Panci Klas A mencapai 6.5 mm/hari pada akhir musim kemarau.

#### B. Perubahan Iklim, El-Nino dan La-Nina

Isu tentang perubahan iklim global sudah menjadi isu internasional dan mendapat perhatian yang sangat serius dari berbagai negara. Penyebab utamanya ialah meningkatnya konsentrasi gas-gas rumah kaca (terutama gas CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O dan CFCs) di atmosfer akibat meningkatnya aktivitas manusia dalam bidang industri. Untuk menangani masalah tersebut, Perserikatan Bangsa-Bangsa telah menyusun suatu kerangka kerja tentang perubahan iklim yang dikenal dengan United Nations Framework Convention on Climate Change disingkat UNFCCC. Indonesia termasuk salah satu negara yang sudah menandatangani konvensi tersebut yaitu pada tanggal 5 Juni 1992.

Selanjutnya tanggal 1 Agustus 1994, Presiden Republik Indonesia menyetujui Undang-undang tentang Pengesahan Konvensi Kerangka Kerja PBB tentang Perubahan Iklim Nomor : 6/1994 dan

pada tanggal 23 Agustus 1994 dokumen yang sudah diratifikasi tersebut diserahkan kepada Sekretaris Jendral PBB. Dengan demikian Indonesia secara hukum terikat dengan hak dan kewajiban yang tercantum dalam Undang Undang tentang Perubahan Iklim tersebut.

Bagi Indonesia, keuntungan ikut meratifikasi konvensi tersebut di atas ialah (Pranoto et al, 1997) :

- \* Konvensi Perubahan Iklim merupakan instrumen tambahan yang penting dalam mengimplementasikan pembangunan berkelanjutan di Indonesia.
- \* Menunjukkan kepada dunia internasional bahwa Indonesia secara aktif dan sungguh-sungguh ambil bagian dalam menghadapi permasalahan iklim global yang dampaknya mempengaruhi seluruh umat manusia. Kegiatan manusia telah meningkatkan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer yang mengakibatkan pemanasan global pada tingkat membahayakan kelangsungan berbagai ekosistem.
- \* Membuka peluang yang lebih besar bagi Indonesia untuk bekerjasama dengan negara-negara lain serta organisasi internasional dalam upaya peningkatan kapasitas melalui pertukaran informasi maupun alih teknologi di bidang lingkungan global.

Model yang digunakan oleh berbagai lembaga penelitian dunia untuk mempelajari dampak kenaikan suhu global terhadap iklim ialah model sirkulasi umum atau dikenal sebagai General Circulation Model (GCM). Model ini mengkuantifikasikan interaksi antara laut dan atmosfer dalam pembentukan cuaca. Model ini menunjukkan bahwa dengan terjadinya kenaikan suhu global antara 1 - 3°C akan merubah zone-zone iklim dan akan berakibat meningkatnya frekuensi dan intensitas kejadian-kejadian ekstrim seperti kekeringan (biasanya berkaitan dengan fenomena El-Nino), banjir (biasanya berkaitan dengan fenomena La Nina), gelombang panas dan badai di berbagai

negara. Karena terjadinya keadaan ini bersifat global, usaha untuk meminimumkan kemungkinan terjadinya hal tersebut harus merupakan partisipasi semua negara.

Tulisan ini membahas secara ringkas tentang masalah perubahan iklim dan fenomena alam El-Nino dan La Nina. Hal yang dicakup meliputi definisi, pengertian dan dampak serta langkah-langkah yang perlu dilakukan dalam menghadapi masalah perubahan iklim, El-Nino dan La Nina.

#### 1. Definisi

**Gas Rumah Kaca.** Gas-gas di atmosfer seperti uap air ( $H_2O$ ), karbon dioksida ( $CO_2$ ), metan ( $CH_4$ ), nitrous oxide ( $N_2O$ ), CFCs dan ozon yang mempunyai kemampuan untuk menyerap panas di permukaan bumi. Peningkatan konsentrasi Gas rumah kaca di atmosfer menyebabkan terjadinya pemanasan global (*global warming*) dan efek rumah kaca (*greenhouse effect*).

**Pemanasan Global.** Terjadinya peningkatan rata-rata suhu global di permukaan bumi.

**Efek Rumah Kaca.** Suatu analogi terhadap kemampuan gas-gas atmosfer dalam menangkap panas seperti yang terjadi pada rumah kaca. Jadi gas rumah kaca atmosfer diibaratkan sebagai suatu kubah kaca yang besar yang melingkupi bumi. Pengaruh rumah kaca secara alami dibutuhkan untuk kehidupan karena kalau tidak ada gas-gas ini, suhu udara pada malam hari di permukaan bumi akan sangat dingin sekali. Apabila konsentrasinya meningkat maka akan terjadi peningkatan suhu udara yang berlebihan yang disebut pemanasan global yang dapat berakibat mencairnya es-es di kutub dan memuainya air

laut sehingga meningkatkan tinggi permukaan laut yang dapat menenggelamkan sebagian dari daratan atau pulau-pulau kecil dan berubahnya iklim global yang mengakibatkan berubahnya tata kehidupan atau ekosistem yang ada.

**El-Nino** ialah istilah yang digunakan untuk mendeskripsikan munculnya arus air laut yang panas dari waktu ke waktu di kawasan Laut Pasifik bagian Timur equator sampai kawasan pantai Peru dan Ecuador. Diperkirakan bahwa fenomena El-Nino yang lemah terjadi setiap dua sampai tiga tahun sekali dan yang kuat setiap delapan sampai sebelas tahun sekali. Para ahli mengatakan bahwa periode ulang kejadian El-Nino ialah antara empat sampai lima tahun sekali. Lamanya fenomena ini berlangsung antara 12 sampai 18 bulan.

**La Nina** merujuk kepada munculnya arus laut dingin (lebih dingin dari kondisi rata-rata) di bagian tengah dan Timur equator Laut Pasifik (kebalikan dari El-Nino). Banyak pakar kurang menyukai penggunaan istilah ini. Mereka lebih sering menggunakan istilah kejadian dingin (*cold event*) seperti yang didefinisikan di bawah ini.

**Kejadian panas (*warm event*)** merujuk kepada anomali pemanasan suhu muka laut di bagian tengah dan Timur equator Laut Pasifik. Istilah ini digunakan untuk menghindari kerancuan dalam penggunaan istilah lain seperti ENSO dan El-Nino. Pemanasan di kawasan ini biasanya diikuti oleh pendinginan di kawasan Barat ekuator Laut Pasifik.

**Kejadian dingin (*cold event*)** ialah suatu kejadian dimana suhu muka laut di kawasan tengah dan Timur ekuator Laut Pasifik menjadi lebih dingin dibanding dengan rata-rata jangka

panjangnya (kebalikan dari kejadian panas). Kejadian ini sebelumnya disebut sebagai anti-El-Nino dan sekarang lebih sering disebut sebagai La Nina. Kejadian La Nina lebih luas dibanding El-Nino karena melingkupi fenomena arus dingin di kawasan Laut Pasifik yang lebih luas.

**Osilasi Selatan (*Southern Oscillation*)** ialah osilasi tekanan di atmosfer kawasan Laut Pasifik dan atmosfer laut Indonesia-Australia. Misalnya, apabila sel tekanan di

Laut Pasifik Selatan rendah dan di Indonesia-Australia tinggi, angin Pasat pasifik (*Pacific trade winds*) melemah, maka proses pengangkatan massa air laut dingin di kawasan ekuator pasifik dan di sepanjang pantai Peru melemah atau berhenti dan suhu muka laut di kawasan ini menjadi naik.

**Indeks Osilasi Selatan (*Southern Oscillation Index, SOI*)** dibuat untuk memonitor Osilasi Selatan dengan menggunakan nilai perbedaan antara tekanan atmosfer di atas permukaan laut di Darwin (Australia) dan Tahiti (Pasifik Selatan). Tekanan di stasiun cuaca lain kadang-kadang juga digunakan. Semakin negatif nilai SOI berarti semakin kuat kejadian panas (*warm event*), sebaliknya semakin positif nilai SOI semakin kuat kejadian dingin (*cold event* atau La Nina).

**ENSO** ialah istilah yang sekarang digunakan untuk mendeskripsikan secara keseluruhan Osilasi Selatan beserta peningkatan suhu muka laut (*warming*) dan juga penurunan suhu muka laut (*cooling*) bila dibandingkan dengan nilai rata-rata jangka panjang. Namun seringkali istilah ini digunakan oleh banyak pakar untuk merujuk kepada kejadian El-Nino saja (*warm event*), pemanasan suhu muka laut di kawasan tengah dan Timur

ekuator Laut Pasifik. ENSO merupakan singkatan dari El-Nino-Southern Oscillation, di mana El-Nino merupakan fenomena lautan dan Southern Oscillation merupakan fenomena atmosfer. Istilah ENSO tidak begitu dikenal dan populer dalam media-media massa sehingga seringkali istilah El-Nino yang dipakai sebagai ganti dari istilah ENSO.

**Teleconnections** bisa didefinisikan sebagai interaksi-interaksi atmosfer antara dua wilayah yang terpisah jauh. Misalnya hubungan antara anomali iklim dan anomali lautan. Teleconnections diidentifikasi melalui korelasi statistik (dalam waktu dan ruang). Kekuatan teleconnection antara kejadian-kejadian ENSO dan iklim di luar wilayah ekuator pasifik beragam baik menurut lokasi maupun musim.

## 2. Perubahan Iklim

Di suatu wilayah yang luas yang memiliki sifat pola cuaca yang relatif tetap dalam jangka waktu yang panjang disebut **iklim**, dengan demikian iklim merupakan hasil analisis statistik unsur-unsur cuaca jangka panjang di suatu tempat atau di daerah yang luas. Apabila setelah suatu waktu tertentu cuaca yang ekstrim secara konsisten seringkali terjadi melebihi frekuensi normalnya, maka dalam jangka panjang dapat dinyatakan bahwa apa yang disebut **perubahan iklim** sudah terjadi.

Seperti yang telah diuraikan di atas, perubahan iklim global terutama disebabkan oleh naiknya suhu global sebagai akibat dari meningkatnya konsentrasi gas-gas rumah kaca di atmosfer.

Disebut sebagai gas rumah kaca karena gas-gas tersebut bersifat seperti kaca yaitu bersifat melewatkan radiasi gelombang panjang tetapi menahan radiasi gelombang panjang. Dengan meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer, maka jumlah radiasi gelombang panjang yang diserap akan meningkat sehingga akan menaikkan suhu udara global dan selanjutnya merubah iklim global.

Peningkatan suhu global yang pesat mulai terjadi setelah masuk era industri, yaitu awal abad 19. Pada era industri banyak aktivitas manusia yang menghasilkan peningkatan emisi gas-gas rumah kaca sehingga konsentrasinya di udara meningkat pesat. Dalam kurun waktu lebih kurang 70 tahun (1927-1997), kenaikan suhu global mencapai 0.6 °C (Gambar 7.1).

### 3. Dampak Perubahan Iklim

Dampak yang mungkin ditimbulkan akibat naiknya suhu global sudah dibahas dalam suatu pertemuan yang dilakukan di Villach, Austria tahun 1987. Dalam pertemuan Villach telah dibentuk 5 (lima) kelompok kerja yang membahas kemungkinan-kemungkinan yang dapat terjadi karena perubahan iklim, yaitu : (KLH. 1998):

- a. Kelompok yang membahas lautan dan wilayah pantai menyatakan bahwa dampak yang ditimbulkan oleh kenaikan permukaan air laut umumnya lebih besar daripada dampak langsung akibat perubahan suhu. Termasuk di dalamnya adalah: erosi pantai, perubahan tata-guna lahan, perubahan pada frekuensi dan besarnya banjir serta rusaknya sistem pengelolaan air (intrusi air laut).

- b. Kelompok yang membahas daerah-daerah di lintang tengah menyatakan bahwa perubahan iklim akan mempengaruhi (kegiatan) pertanian serta pengelolaan air dan tanah, sedangkan pengaruh terbesar akan terjadi pada ekosistem alam (yang tidak dikelola). Hasil skenario yang paling ekstrim akan menyebabkan pengaruh yang besar terutama pada kerusakan hutan, mulai sekitar tahun 2000, sedangkan menggunakan hasil skenario yang paling ringan hal-hal tersebut tidak akan terjadi sebelum tahun 2100.
- c. Kelompok wilayah semi-arid tropik ( $5-35^{\circ}$  LS, LU, curah hujan 400 s/d 1000 mm) menyatakan bahwa perubahan iklim akan berakibat sangat buruk, terutama sekali pada ketersediaan (bahan) makanan, ketersediaan air, ketersediaan kayu bakar, dampak pada wilayah pemukiman serta ekosistem alam. Di wilayah ini dapat terjadi: peningkatan suhu regional sebesar hingga  $4^{\circ}\text{C}$ , peningkatan variabilitas curah hujan, dan peningkatan intensitas curah hujan. Umumnya curah hujan daerah ini memiliki variasi musiman dan tahunan yang besar. Kecenderungan saat ini menunjukkan penurunan curah hujan, yang menimbulkan kekeringan berkepanjangan dan penggurunan. Daerah-daerah ini sangat sensitif terhadap fluktuasi iklim, umumnya berpengaruh yang negatif.
- d. Kelompok wilayah tropika basah menyatakan bahwa pengaruh perubahan iklim terutama adalah akibat-akibat yang ditimbulkan oleh naiknya permukaan air di pantai dan sungai-sungai serta perubahan penyebaran suhu dan hujan menurut waktu dan tempat. Dengan demikian yang paling rawan di daerah ini adalah wilayah pantai, sungai dan sekitarnya. Kenaikan suhu antara  $0.5 - 4^{\circ}\text{C}$ .

- e. Kelompok wilayah lintang tinggi menyatakan akibat yang akan timbul terutama pada perubahan keadaan penutupan es; peningkatan per-awanan dan presipitasi; menghilangnya 'permafrost' secara perlahan-lahan. Hal-hal di atas akan mempengaruhi transportasi laut, konsumsi energi, perikanan laut, pertanian, pemukiman manusia dan ekosistem.

Di Indonesia kajian terhadap kemungkinan dampak yang ditimbulkan akibat naiknya konsentrasi CO<sub>2</sub> dan suhu global sudah dilakukan oleh berbagai instansi diantaranya yang dikoordinir oleh kantor Menteri Negara Lingkungan Hidup (KLH, 1998). Kajian terbaru yang dilakukan LAPAN bekerjasama dengan CSIRO-Australia (Ratag et al. 1998) menunjukkan bahwa meningkatnya konsentrasi CO<sub>2</sub> dua kali dari konsentrasi CO<sub>2</sub> tahun 1990 diperkirakan akan berakibat meningkatnya suhu udara di beberapa daerah lintang tinggi sampai setinggi 6-12°C. Di Indonesia dan beberapa daerah sekitarnya kenaikan suhu hanya sekitar 0-1°C. Selanjutnya perubahan hujan di Indonesia diperkirakan antara -15 sampai 45 mm/bulan. Di Jawa dan Sumatra rata-rata curah hujan diperkirakan turun sekitar 30 mm/bulan. Disamping itu, kenaikan suhu global juga diperkirakan akan meningkatkan baik frekuensi maupun intensitas dari fenomena alam El-Nino dan La-Nina serta kejadian ekstrim lainnya. Frekuensi kejadian El-Nino yang biasanya satu kali setiap 3-7 tahun akan meningkat menjadi satu kali setiap 2-5 tahun dan intensitasnya diperkirakan meningkat 2-3 kali.

Studi lain yang dilakukan oleh Middlesex University (Hadley Centre for Climate Prediction and Research, 1998) menunjukkan

bahwa Indonesia merupakan wilayah yang sangat rentan terhadap kenaikan tinggi muka laut akibat dari naiknya suhu global (melelehkan sebagian es di kutub dan memuaikan air laut). Diperkirakan jumlah manusia yang terancam terkena dampak naiknya muka laut melebihi 50 juta orang.

#### 4. El-Nino dan La-Nina

Indikator yang umum digunakan untuk menunjukkan akan terjadinya gejala alam El-Nino dan La-Nina ialah terjadinya perubahan suhu muka laut di kawasan pasifik atau meningkatnya perbedaan tekanan antara Tahiti dan Darwin melebihi dari normal (nilai rata-rata jangka panjang). Gejala El-Nino dimulai dengan menurunnya tekanan udara di Tahiti di bawah tekanan udara di Darwin (indeks osilasi Selatan bernilai negatif) sehingga angin Barat bertiup lebih kuat memperlemah angin pasat (Gambar 7.2) sehingga massa air panas di kawasan pasifik bagian Barat mengalir ke arah Timur dengan bantuan arus equatorial, akibatnya terjadi akumulasi massa air panas di Pasifik bagian Timur dan permukaan air lautnya naik lebih besar dibanding dengan yang di kawasan Barat, Kondisi ini mengakibatkan konveksi terjadi di pasifik, bagian Timur dan subsidensi di atas kontinen maritim Indonesia. Subsidensi ini akan menghambat pertumbuhan awan konveksi sehingga pada beberapa daerah di Indonesia terjadi penurunan jumlah hujan yang jauh dari normal. Kondisi sebaliknya terjadi pada saat La-Nina berlangsung.

Model untuk menduga besarnya anomali (penyimpangan dari normal) suhu permukaan laut di kawasan pasifik sudah banyak dikembangkan dan memberikan hasil ramalan yang cukup akurat Model-model tersebut merupakan hasil perkawinan model laut

dan atmosfer atau dikenal sebagai "*couple ocean-atmosphere model*". Salah satu contoh hasil peramalan anomali suhu muka laut di kawasan pasifik dapat dilihat pada Gambar 3. Hasil ramalan menunjukkan bahwa sampai awal tahun depan suhu muka laut di kawasan pasifik masih berada di bawah normal yang mengindikasikan terjadinya La-Nina yang kuat.

### C. Dampak El-Nino dan La-Nina Bagi Indonesia

Pengaruh El-Nino terhadap hujan di Indonesia sangat beragam. Menurut Tjasyono (1997), pengaruh El-Nino kuat pada daerah yang dipengaruhi oleh sistem moonson, lemah pada daerah dengan sistem equatorial dan tidak jelas pada daerah dengan sistem lokal. Daerah yang dipengaruhi oleh sistem equatorial mempunyai dua puncak hujan yaitu pada bulan Maret/April dan September/Oktober, sedangkan yang dipengaruhi oleh sistem moonson mempunyai satu puncak hujan yaitu pada bulan November-Januari sama halnya pada daerah dengan sistem lokal tetapi puncak hujannya terjadi pada saat di daerah dengan sistem moonson sedang mengalami puncak musim kemarau (Juni-Agustus).

Pengamatan dari tahun 1900 sampai 1998 menunjukkan bahwa El-Nino telah terjadi sebanyak 25 kali (rata-rata sekali 4 tahun). Kejadian El-Nino terkuat ialah kejadian tahun 1997/98 dan 1982/83. Kejadian La-Nina hanya 16 kali dan sekitar 87% dari kejadian berdampingan dengan El-Nino. Umumnya La-Nina mendahului El-Nino (62%; Gambar 4).

Kejadian kekeringan akibat berlangsungnya El-Nino telah menimbulkan dampak terhadap produksi pangan di Indonesia. Namun demikian dampak yang terjadi tidak begitu konsisten.

Sebagai contoh produksi beras tidak mengalami penurunan yang drastis akibat kejadian ini kecuali tahun 1991, 1994 and 1997 (Gambar 5). Untuk kedelai, produksi menurun cukup nyata pada tahun El-Nino 1982, 1987, 1994, 1996 dan 1997. Penjelasan terhadap kondisi ini ialah sebagai berikut (Bottema. 1997):

- (1) El-Nino biasanya dimulai bulan April atau Mei, sementara produksi tahunan dihitung dari data bulanan. Dengan demikian data dari bulan-bulan yang tidak dipengaruhi El-Nino juga akan terikut dalam perhitungan. Oleh karena itu dampak kekeringan akibat El-Nino terhadap produksi pangan harus dihitung minimal selama dua tahun dimulai pada musim kemarau.
- (2) Data pada tingkat nasional tidak bisa menggambarkan perbedaan produksi antar daerah seperti yang diperlihatkan pada Gambar 6. Pengamatan tahun 1982, 1991, 1994 dan 1997 menunjukkan bahwa dampak El-Nino bervariasi dari satu daerah ke daerah lain. Tahun 1982, daerah yang sangat terpengaruh oleh kekeringan ialah Jawa dan Sulawesi, sementara tahun 1991 dan 1994 ialah Jawa dan tahun 1997 Jawa dan Sumatera.

Hasil pengamatan juga menunjukkan bahwa total luas areal yang terkena kekeringan juga bervariasi menurut jenis tanaman (Gambar 5). Pada tahun El-Nino tertentu, padi mengalami cekaman kekeringan yang kuat sedangkan tanaman palawija tidak. Hal ini mungkin disebabkan minimal oleh dua alasan yaitu :

- a. Terlambatnya awal musim hujan, Misalnya tahun 1997, musim hujan yang biasanya dimulai bulan September mundur menjadi

bulan November dan Desember. Hal ini mungkin menyebabkan berubahnya pola tanam. Di Jawa Tengah sebagai contoh, karena terlambatnya musim hujan, petani tidak menanam padi tetapi menanam palawija.

- b. Pada tahun El-Nino, berkemungkinan hasil per hektar pada lahan yang beririgasi meningkat akibat meningkatnya radiasi pada tahun tersebut. Hal ini diperkirakan dapat mengkompensasi kehilangan hasil akibat menurunnya luas panen.

Karena data nasional dan tahunan berkemungkinan tidak dapat menggambarkan secara jelas dampak kekeringan akibat El-Nino, disarankan agar analisis dampak dilakukan dengan menggunakan data bulanan pada luas wilayah yang lebih kecil.

Berbeda dengan El-Nino, La-Nina menyebabkan meningkatnya curah hujan di Indonesia khususnya curah hujan musim kemarau. Pengaruhnya terhadap peningkatan curah hujan musim hujan tidak begitu jelas. Gambar 7 menunjukkan bahwa dari pengamatan terhadap data hujan musim kemarau selama 100 tahun, penurunan hujan dari normal akibat terjadinya El-Nino dapat mencapai 80 mm per bulan sedangkan peningkatan hujan dari normal akibat terjadinya La-Nina tidak lebih dari 40 mm. Hal ini menunjukkan bahwa bencana yang ditimbulkan kejadian El-Nino lebih serius dibanding La Nina. Bahkan meningkatnya hujan dari normal akibat terjadinya La-Nina pada musim kemarau berdampak positif yaitu dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan luas tanam. Pada kondisi normal misalnya, pada musim kering II (Juli-September) sebagian besar daerah pertanian dibiarkan bera karena ketersediaan air tidak mencukupi untuk penanaman, tetapi pada saat terjadinya La-Nina, lahan bera ini dapat

ditanami lagi dengan padi atau palawija tergantung besarnya ketersediaan air. Departemen Pertanian pada tahun La-Nina 1998 telah melakukan kegiatan peningkatan indeks penanaman dari 200% menjadi 300% pada sekitar 150 ribu hektar sawah dan dinilai cukup berhasil.

Karena bentuk penyimpangan iklim yang terjadi akibat terjadinya fenomena alam El-Nino dan La-Nina tidak sama, maka alternatif teknologi penanganan dampak juga tidak akan sama. Oleh karena itu ketepatan dalam pemilihan teknologi dan wilayah sasaran akan sangat ditentukan oleh ketepatan dalam membuat ramalan terhadap terjadinya kedua fenomena alam ini.

Upaya yang dilakukan dalam mengurangi dampak yang ditimbulkan akibat terjadinya penyimpangan iklim masih jauh dari memadai. Hal ini ditandai dengan besarnya kerugian ekonomi yang ditimbulkan akibat terjadinya penyimpangan tersebut. Proses terjadinya penyimpangan iklim seperti kekeringan umumnya berlangsung secara bertahap (tidak mendadak) sehingga perhatian baru diberikan setelah kerugian yang serius terjadi, dengan demikian, langkah penanganan yang dilakukan setelah kerugian besar terjadi sudah tidak lagi efektif. Oleh karena itu diperlukan suatu pendekatan yang lebih strategis.

Penentuan strategi penanganan dampak harus didasarkan pada empat hal (Perhimpni, 1995). Pertama mengetahui dengan baik tingkat kerentanan daerah terhadap penyimpangan iklim. Kedua mengetahui tantangan dan kendala yang dihadapi dalam melaksanakan langkah antisipasi dan penanggulangan dampak. Ketiga mengetahui upaya dan teknologi utama atau alternatif yang tersedia untuk menanggulangi dampak. Keempat mengetahui dengan tepat teknologi yang akan digunakan di wilayah sasaran.

Upaya untuk mengidentifikasi tingkat kerentanan wilayah terhadap penyimpangan iklim sudah dilakukan. Namun analisisnya masih terbatas pada sedikit faktor fisik saja belum menyertakan faktor non-fisik seperti kondisi sosial ekonomi petani. Sebagai contoh, tahun 1995 Direktorat Perlindungan Tanaman (1995) telah melakukan pemetaan daerah rawan kekeringan dimana analisis tingkat kerawanan ditentukan hanya berdasarkan pada luasan wilayah pertanian yang terkena kekeringan tahun 1994. Hasil analisis menunjukkan bahwa propinsi yang rawan terhadap kekeringan ialah propinsi yang secara historis sifat iklimnya jauh lebih basah yaitu Jawa Barat dan kemudian diikuti oleh Jawa Tengah dan Jawa Timur (Gambar 8). Hal ini diduga erat kaitannya dengan perilaku petani. Petani di daerah Jawa Barat umumnya kurang peka terhadap ancaman bahaya kekeringan dibanding petani dari daerah yang secara historis sifat iklimnya kering (Jawa Tengah dan Jawa Timur). Hal ini ditunjukkan oleh cukup luasnya wilayah pertanian padi pada akhir musim hujan (tanam gadu; tanam akhir Februari sampai awal April). Pada kondisi normal hujan dan sisa air irigasi masih mencukupi sampai akhir musim tanam. Namun saat terjadi penyimpangan iklim (misalnya El-Nino), pada pertengahan musim tanam, ketersediaan air menurun tajam sehingga kekeringan tidak dapat dihindari. Studi lebih lanjut oleh Ditlin (1995) dengan menggunakan seri data luas terkena kekeringan dari tahun 1990 dan 1994 menunjukkan bahwa bila ditinjau dari kondisi iklim dan frekuensi terkena kekeringan maka sebagian besar daerah Jawa Tengah dan Jawa Timur merupakan daerah yang berindikasi sangat rawan dan rawan terhadap kejadian kekeringan (Gambar 9).

Uraian di atas menunjukkan bahwa upaya pemetaan wilayah rawan kekeringan harus memperhitungkan banyak faktor fisik dan non-fisik. Beberapa faktor fisik yang penting diantaranya ialah luas terkena kekeringan, besarnya kebutuhan air irigasi dan ketersediaan air waduk pada saat terjadi penyimpangan iklim dan faktor non-fisik ialah tingkat kemudahan penyampaian informasi iklim/cuaca ke lokasi, tanggap petani terhadap informasi iklim/cuaca dan kondisi kelompok tani. Untuk faktor non-fisik perlu disusun indikator yang dapat digunakan untuk mengkuantifikasikan unsur-unsur dari faktor non fisik tersebut.

### Pertanyaan dan Tugas

### Referensi

- Boer, Rizaldi. 1999. Perubahan Iklim, El-Nino dan La-Nina. Bahan Pelatihan Dosen-dosen PTN Indonesia Bagian Barat dalam Bidang Agroklimatologi. IPB. Bogor
- Suharsono, Heny. 1999. Iklim Indonesia. Bahan Pelatihan Dosen-dosen PTN Indonesia Bagian Barat dalam Bidang Agroklimatologi. IPB. Bogor

## VIII. KLASIFIKASI IKLIM

Tujuan Instruksional Khusus
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mahasiswa diharapkan mampu untuk menjelaskan pengertian dan tujuan klasifikasi iklim</li> <li>2. Mahasiswa diharapkan mampu untuk menjelaskan metode-metode yang digunakan dalam pengklasifikasian iklim</li> <li>3. Mahasiswa diharapkan mampu untuk menjelaskan manfaat klasifikasi iklim dalam bidang pertanian</li> </ol>

### A. Pengertian Umum

Iklim merupakan gabungan berbagai kondisi cuaca sehari-hari atau merupakan rata-rata cuaca. Untuk mencari harga rata-rata ini tergantung pada kebutuhan dan keadaan, tetapi berdasar persetujuan internasional diambil rata-rata cuaca selama 30 tahun.

Oleh karena iklim itu tersusun oleh berbagai unsur yang variasinya besar maka hampir tidak mungkin untuk dua tempat yang berlainan mempunyai iklim yang identik. Namun untuk memudahkan penggunaan dan pemahaman tentang iklim tersebut maka manusia mencoba mengadakan pengelompokan dalam grup, klas ataupun tipe. Didalam pengelompokan atau klasifikasi, langkah pertama yang dilakukan adalah mengelompokkan berdasarkan sifat besar (global) dan diikuti sifat yang kecil (detil) didalam sub bagiannya. Makin kecil sifat yang diperhatikan maka makin baik pula klasifikasi tersebut.

Secara garis besar klasifikasi iklim dapat dibagi jadi dua, yaitu klasifikasi secara empiris dan genetis. Klasifikasi iklim secara genetis mendasar kriterianya pada unsur-unsur iklim penyebab, seperti : aliran massa udara, zona angin, ada tidaknya benua ataupun perbedaan penerimaan radiasi surya. Klasifikasi iklim secara empirik

mendasarkan kriterianya pada hasil pengamatan yang teratur terhadap unsur-unsur iklim. Cara klasifikasi genetik umumnya menghasilkan perwilayahan yang luas tetapi kurang teliti, sedangkan klasifikasi empiris menghasilkan perwilayahan yang lebih sempit dengan tipe iklim yang lebih teliti.

## B. Klasifikasi Iklim Secara Genetik

Klasifikasi pertama yang dibuat pada zaman Yunani membagi tiap belahan bumi menjadi tiga daerah atau mintakat temperatur.

### 1. Daerah Tropika

Daerah ini tidak memiliki musim dingin (winter), temperatur terus menerus tinggi.

### 2. Daerah Sedang

Daerah ini memiliki musim yang berbeda secara tegas. Satu musim umumnya panas atau hangat, dan lainnya sejuk atau dingin.

### 3. Daerah Kutub

Daerah ini tidak memiliki musim panas (summer), temperaturnya sepanjang tahun rendah.

Klasifikasi kedua dikemukakan oleh Klages (1942), berdasarkan temperature ia membagi permukaan bumi menjadi lima daerah.

1. Daerah tropika, rata-rata suhu setahun lebih dari 20°C.
2. Daerah subtropika, 4 – 11 bulan suhu lebih besar dari 20°C.
3. Daerah sedang, 4 – 12 bulan suhunya antara 10 – 12°C.
4. Daerah dingin, 1 – 4 bulan suhunya 10 – 20°C, dan lainnya kuran dari 10°C.

5. Daerah kutub, suhu rata-rata  $-1^{\circ}\text{C}$ , tanpa bulan yang bersuhu lebih dari  $10^{\circ}\text{C}$ .

### C. Klasifikasi Iklim Secara Empirik

#### 1. Klasifikasi Berdasarkan Moisture Rational Budget

Cara klasifikasi ini dikembangkan oleh Thornthwaite pada tahun 1948. Konsep dasar yang digunakan adalah evapotranspirasi potensial (PE) dan moisture budget. PE dihitung dari suhu rata-rata bulanan (T dalam  $^{\circ}\text{C}$ ) dengan koreksi panjang hari. Perhitungan PE untuk 30 hari (panjang hari 12 jam) adalah :

$$PE = 1.6 \left( 10 \frac{T}{I} \right)^a \quad \dots (1)$$

dimana :

PE : evapotranspirasi potensial bulanan (cm)

T : suhu bulanan ( $^{\circ}\text{C}$ )

I : jumlah indeks panas (i) selama 12 bulan,  $i = \left( \frac{T}{5} \right)^{1.54}$

a : fungsi dari I

$$a = 675.10^{-9} I^3 - 771.10^{-7} I^2 + 0.01792.I + 0.44239$$

Selanjutnya dalam neraca air bulanan, Surplus (S) atau deficit (D) air bulanan menunjukkan penilaian terhadap jumlah tersedianya air dalam tanah. Kedua komponen tersebut dihubungkan dengan PE sehingga menghasilkan Moisture Index (IM).

$$IM = \frac{(100S - 60D)}{PE} \quad \dots (2)$$

Persamaan diatas kemudian direvisi dengan menghilangkan pembobotan 0.6 untuk D, sehingga diperoleh persamaan baru :

$$IM = 100 \frac{(S - D)}{PE} = 100 \left( \frac{r}{PE} - 1 \right) \quad \dots (3)$$

dimana  $r$  adalah curah hujan tahunan. Tipe iklim Thornthwaite berdasarkan persamaan IM yang telah direvisi tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Sistem klasifikasi ini telah banyak digunakan di berbagai wilayah meskipun belum pernah dipublikasikan dalam bentuk peta iklim. Pada kenyataannya didaerah tropic dan semi-arid, metode Thornthwaite ini kurang memadai.

Tabel 1. Tipe iklim Thornthwaite berdasarkan IM dan PE

Nilai IM	Kelembaban (tipe iklim)	PE (cm)	Wilayah Suhu (tipe iklim)
>100	Perhumid (A)	>114	Megathermal (A')
20-100	Humid (B1-B4)	57-114	Mesothermal (B1'-B4')
0-20	Subhumid lembab (C1)	28.5-57	Microthermal (C1'-C2')
-33 - 0	Subhumid kering (C2)	14.2-28.5	Tundra (D')
-67 - (-33)	Semi Arid (D)	<14.2	Frost (E')
-100 - (-67)	Arid (E)		

## 2. Klasifikasi Berdasarkan Pertumbuhan Vegetasi

### a. Sistem Klasifikasi Koppen

Sistem Klasifikasi Koppen menggunakan konsep bahwa daya guna hujan terhadap perkembangan dan pertumbuhan tanaman tidak tergantung hanya pada jumlah hujan tetapi

juga tergantung intensitas evaporasi yang menyebabkan kehilangan air yang cukup besar.

Koppen menggunakan simbol yang merupakan kombinasi huruf untuk mencirikan tipe iklim :

- ❖ Huruf pertama (berupa huruf besar) menyatakan tipe utama
- ❖ Huruf kedua (berupa huruf kecil) menyatakan pengaruh hujan
- ❖ Huruf ketiga (berupa huruf kecil) menyatakan suhu udara
- ❖ Huruf keempat (berupa huruf kecil) menyatakan sifat-sifat khusus

Dalam praktek klasifikasi Koppen biasanya hanya menggunakan huruf pertama dan huruf kedua. Tipe Utama dibagi dalam lima kelompok, yakni :

- A = daerah iklim hujan tropis (*tropical rainy*) ; suhu bulan terdingin  $>18^{\circ}\text{C}$
- B = daerah iklim kering (*dry*) ; evaporasi  $>$  presipitasi
- C = daerah iklim sedang (*humid mesothermal*); suhu bulan terdingin antara  $-3^{\circ}\text{C}$  sampai  $18^{\circ}\text{C}$  dan suhu bulan terpanas  $> 10^{\circ}\text{C}$
- D = daerah iklim dingin (*humid microthermal*) ; suhu bulan terdingin lebih kecil dari  $-3^{\circ}\text{C}$  dan suhu bulan terpanas  $> 10^{\circ}\text{C}$
- E = daerah iklim kutub (*polar*); suhu bulan terpanas  $< 10^{\circ}\text{C}$

Huruf pendamping kedua/huruf kecil menunjukkan pengaruh hujan, terbagi atas empat macam:

- f = selalu basah; hujan setiap bulan > 60 mm
- s = bulan-bulan kering jatuh pada musim panas
- w = bulan-bulan kering jatuh pada musim dingin
- m = khusus dalam kelompok tipe A digunakan lambang ini (m = monsoon) yang berarti musim kemaraunya pendek, tetapi curah hujan tahunannya cukup tinggi sehingga tanah cukup lembab yang memungkinkan vegetasi berupa hutan hujan tropik

#### b. Sistem Klasifikasi Schmidth-Ferguson

Sistem ini cukup terkenal di Indonesia dan dimanfaatkan dalam bidang kehutanan dan perkebunan. Untuk menentukan tipe iklim menurut klasifikasi S- F tersebut memerlukan data curah hujan bulanan paling sedikit 10 tahun. Klasifikasi ini didasarkan pada banyaknya bulan basah (BB), lembab (BL), dan bulan kering (BK).

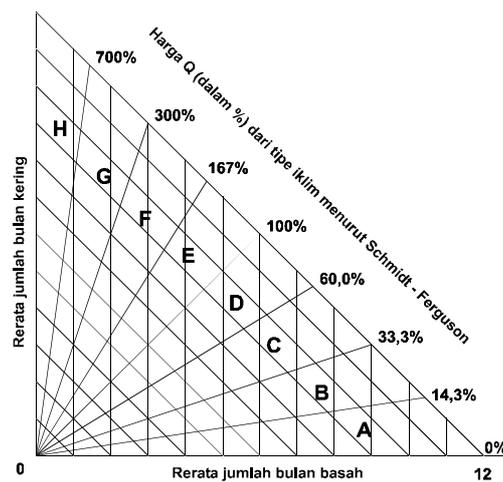
- ❖ Bulan basah (BB) adalah bulan dengan hujan > 100 mm
- ❖ Bulan lembab (BL) adalah bulan dengan hujan 60 – 100 mm
- ❖ Bulan kering (BK) adalah bulan dengan hujan < 60 mm

Untuk menentukan tipe iklim digunakan persamaan :

$$Q = \frac{\text{rata-rata bulan kering (BK)}}{\text{rata-rata bulan basah (BB)}} \times 100\%$$

Dari perhitungan Q diatas akan didapatkan delapan tipe iklim dari A s/d H, yakni :

- A = daerah sangat basah; vegetasinya hutan hujan tropik  
 B = daerah basah; vegetasinya hutan hujan tropik  
 C = daerah agak basah; vegetasinya hutan rimba, diantaranya terdapat jenis vegetasi yang gugur daunnya pada musim kemarau misalnya tanaman jati  
 D = daerah sedang; vegetasinya hutan musim  
 E = daerah agak kering; vegetasinya hutan savana  
 F = daerah kering; vegetasinya hutan savana  
 G = daerah sangat kering; vegetasinya padang ilalang  
 H = daerah ekstrim kering; vegetasinya padang ilalang



Gambar 1. Segitiga Schmidth-Ferguson

Keterangan Segitiga Schmidt-Ferguson :

- A =  $0 \leq Q < 0,143$   
 B =  $0,143 \leq Q < 0,333$   
 C =  $0,333 \leq Q < 0,60$   
 D =  $0,60 \leq Q < 1,00$   
 E =  $1,00 \leq Q < 1,67$   
 F =  $1,67 \leq Q < 3,00$   
 G =  $3,00 \leq Q < 7,00$   
 H =  $7,00 \leq Q$

Batas antara tipe iklim dalam klasifikasi ini dapat ditentukan dengan persamaan :

$$Q = \frac{1.5 * a}{12 - 1.5 * a}$$

Tipe Iklim		A		B		C		D		E		F		G		H	
Nilai a	0		1		2		3		4		5		6		7		8

Dari bagan diatas, batas antara tipe C dan tipe D adalah pada nilai a=3, sehingga nilainya Q nya adalah 60%.

#### c. Sistem Klasifikasi Oldeman

Oldeman membuat sistem baru dalam klasifikasi iklim yang dihubungkan dengan pertanian, kriteria klasifikasi Oldeman adalah sebagai berikut :

- Padi sawah membutuhkan 145 mm air per bulan dalam musim hujan
- Palawija membutuhkan 50 mm air per bulan dalam musim kering
- Hujan bulanan yang diharapkan = 0,82 mm dikalikan hujan bulanan rata-rata ( X ) lalu dikurangi 30 atau =  $0,82 \text{ mm} ( X ) - 30$
- Hujan efektif untuk padi sawah = 100% atau 1,0 dari hujan bulanan
- Hujan efektif untuk palawija dengan kanopi tertutup rapat = 75% atau 0,75 dari hujan bulanan

Atas dasar kriteria Oldeman tersebut Maka dapat dihitung hujan bulanan yang diperlukan untuk tanaman padi

sawah dan palawija dengan menggunakan data jangka panjang, yaitu :

- ☑ Padi sawah → 145 =  $1,0 ( 0,82 X - 30 )$   
sehingga  $X = 213 \text{ mm/ bln}$
- ☑ Palawija → 50 =  $0,75 ( 0,82 X - 30 )$   
sehingga  $X = 118 \text{ mm/ bln}$

Dari perhitungan di atas dapat didefinisikan bahwa:

- ↗ Bulan basah (BB) adalah curah hujan bulanan jangka panjang yang nilainya  $\geq 200 \text{ mm}$ , dan
- ↗ Bulan kering (BK) adalah curah hujan bulanan jangka panjang yang nilainya  $< 100 \text{ mm}$

Dalam klasifikasi daerah agroklimatologi Oldeman mendasarkan pada panjangnya periode BB dan BK berturut-turut.

- ❖ Tipe utama (A, B, C, D, dan E) didasarkan jumlah/ lamanya BB berturut-turut
- ❖ Subdivisinya dibedakan menjadi empat (1, 2, 3, dan 4) yang didasarkan pada jumlah/ lamanya BK berturut-turut

- A berarti terdapat  $> 9$  bulan basah (BB) berturut-turut
- B berarti terdapat  $7 - 9$  bulan basah (BB) berturut-turut
- C berarti terdapat  $5 - 6$  bulan basah (BB) berturut-turut
- D berarti terdapat  $3 - 4$  bulan basah (BB) berturut-turut
- E berarti terdapat  $< 3$  bulan basah (BB) berturut-turut

- \* Subdivisi 1 berarti terdapat < 2 bulan kering (BK) berturut-turut
- \* Subdivisi 2 berarti terdapat 2 – 4 bulan kering berturut-turut
- \* Subdivisi 3 berarti terdapat 5 – 6 bulan kering berturut-turut
- \* Subdivisi 4 berarti terdapat > 6 bulan kering berturut-turut

Dari 5 tipe utama dan 4 subdivisi di atas maka dapat dikelompokkan 17 daerah agroklimat, yaitu: A1, A2, B1, B2, B3, C1, C2, C3, C4, D1, D2, D3, D4, E1, E2, E3, dan E4, yang dapat diuraikan secara ringkas sebagai berikut :

- A → sesuai untuk tanaman padi terus menerus tetapi produksinya kurang karena umumnya intensitas radiasi surya rendah sepanjang tahun
- B1 → sesuai untuk padi terus menerus dan perlu direncanakan saat tanamnya. Produksi tanaman akan tinggi jika panen jatuh pada musim kering
- B2 → dapat ditanam dua kali padi setahun dengan varietas unggul (umur pendek). Musim kering yang pendek cukup untuk tanaman palawija
- C1 → dapat ditanam satu kali padi dan dua kali palawija dalam satu tahun
- C2 → hanya dapat satu kali padi, dan palawija yang kedua harus hati-hati jangan sampai jatuh pada musim kering
- D1 → dapat ditanam padi varietas genjah (umur pendek). Produksi bisa tinggi karena intensitas radiasi surya

cukup tinggi; dan masih cukup waktu untuk menanam palawija

D2 → hanya mungkin satu kali tanam padi dan atau satu kali palawija tergantung pada adanya persediaan air irigasi

E → daerah ini pada umumnya terlalu kering sehingga mungkin hanya dapat ditanami satu kali palawija dan tergantung adanya hujan

### Pertanyaan dan Tugas

### Referensi

Trewartha,G.T dan Horn,L.H. 1995. Pengantar Iklim. Edisi V (terjemahan oleh Sri Andani). Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.

Wisnubroto,Soekardi., S.L. Aminah, dan M. Nitisapto. 1983. Asas-asas Meteorologi Pertanian. Ghalia Indonesia Jakarta.