



Mulawarman
University PRESS

MIKROKLIMATOLOGI HUTAN

KARYATI



Mulawarman
University PRESS

MIKROKLIMATOLOGI HUTAN

KARYATI

Mikroklimatologi Hutan

Penulis : Karyati
Editor : Aldi MH
Cover : Eko Aji Mustiko

ISBN : 978-602-6834-04-4
© 2018. Mulawarman University Press

Cetakan Pertama : Agustus 2019

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun tanpa izin tertulis dari penerbit

Isi diluar tanggung jawab percetakan.

Karyati. 2019. *Mikroklimatologi Hutan*. Mulawarman University Press. Samarinda.



Penerbit

Mulawarman University PRESS

Gedung LP2M Universitas Mulawarman

Jl. Krayan, Kampus Gunung Kelua

Samarinda - Kalimantan Timur - Indonesia 75123

Telp/Fax (0541) 747432, Email : mup@lppm.unmul.ac.id

PRAKATA

Hubungan yang erat dan saling mempengaruhi terjadi antara vegetasi, tanah, dan iklim. Kajian iklim dalam arti luas maupun skala mikro sangat penting untuk memahami pengaruh iklim terhadap vegetasi atau tumbuhan. Sejalan dengan pertumbuhan dan perkembangan tanaman, pengaruh iklim mikro terhadap pertumbuhan tanaman muda lambat laun akan juga mempengaruhi dan dipengaruhi iklim meso dan iklim makro.

Parameter pertumbuhan tanaman dapat menjadi indikator untuk mengetahui bagaimana iklim mikro berpengaruh terhadap vegetasi. Hubungan antara beberapa unsur cuaca dan parameter pertumbuhan tanaman dijelaskan secara teoritis disertai beberapa data terkait. Buku ini diharapkan dapat berguna bagi para mahasiswa dan pihak-pihak yang mempelajari dan berkecimpung di bidang pertanian, kehutanan, dan lingkungan serta bidang terkait lainnya.

Samarinda, 26 April 2019

KARYATI

DAFTAR ISI

PRAKATA.....	ii
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
I. KONSEP DASAR DAN RUANG LINGKUP MIKROKLIMATOLOGI	1
A. Pengertian dan Ruang Lingkup Klimatologi	1
B. Pengertian dan Ruang Lingkup Mikroklimatologi Hutan	3
C. Peranan Iklim Mikro	5
D. Hubungan Mikroklimatologi dengan Ilmu-ilmu Lain	7
1. Ekologi dan Fisiologi Tumbuhan.....	7
2. Silvikultur	8
3. Konservasi Tanah dan Air (KTA) dan Teknologi Konservasi Tanah dan Air (TKTA).....	8
4. Hidrologi Hutan dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (PDAS) ..	9
5. Ilmu Tanah.....	9
6. Ilmu Perlindungan Hutan, Ilmu Hama Tanaman, dan Ilmu Penyakit Tanaman	10
7. Statistika	10
II. RADIASI MATAHARI DALAM PERTUMBUHAN TANAMAN	11
A. Pengaruh Radiasi Matahari terhadap Pertumbuhan Tanaman	11
B. Penyinaran dalam Komunitas Hutan	12
C. Fotoperiodisme.....	15
D. Pengaruh Cahaya terhadap Beberapa Parameter Pertumbuhan Tanaman	16
1. Pengaruh Cahaya terhadap Diameter dan Tinggi Tanaman.....	17
2. Pengaruh Cahaya terhadap Ketebalan dan Luas Daun.....	19
3. Pengaruh Cahaya terhadap Jumlah Klorofil Daun	20

4. Pengaruh Cahaya terhadap Sudut Percabangan dan Panjang Tunas.....	22
5. Pengaruh Cahaya terhadap Panjang dan Lebar Daun	22
III. SUHU DAN KELEMBAPAN DALAM PERTUMBUHAN TANAMAN ..	24
A. Pengaruh Suhu dan Kelembapan Udara terhadap Pertumbuhan Tanaman	24
B. Dinamika Suhu dan Kelembapan Tanah.....	27
C. Hubungan Suhu dan Kelembapan Tanah dengan Pertumbuhan Tanaman	30
IV. PENGARUH ANGIN DALAM PERTUMBUHAN HUTAN	32
A. Angin dalam Pertumbuhan Tanaman.....	32
B. Karakteristik Angin dalam Komunitas Hutan.....	33
C. Dampak Positif dan Negatif Angin terhadap Tanaman	34
V. PRESIPITASI DAN EVAPOTRANSPIRASI DALAM PERTUMBUHAN TANAMAN.....	37
A. Pengaruh Presipitasi pada Pertumbuhan Tanaman	37
B. Evapotranspirasi dan Pertumbuhan Tanaman	38
VI. KESESUAIAN JENIS IKLIM, VEGETASI DAN TANAH	43
A. Hubungan Iklim, Vegetasi dan Tanah	43
B. Persyaratan Iklim dan Tanah Beberapa Jenis Tumbuhan.....	48
C. Iklim Mikro pada Beberapa Tipe Penutupan Lahan.....	61
VII. MODIFIKASI CUACA.....	68
A. Sejarah Modifikasi Cuaca.....	68
B. Definisi dan Tujuan Modifikasi Cuaca	69
C. Teknologi Modifikasi Cuaca.....	71
1. Hujan Buatan	71
2. Rumah Kaca (<i>Green house</i>).....	76
3. Hidroponik.....	81
DAFTAR PUSTAKA	90

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Transpirasi Setiap Tahun pada Spesies yang Berbeda di Pulau Jawa dengan Curah Hujan 3.000-4.000 mm.....	41
Tabel 2. Pengaruh Unsur Iklim terhadap Tanah dan Tanaman.....	46
Tabel 3. Persyaratan Iklim dan Tanah Beberapa Jenis Tanaman Sayur-sayuran.....	49
Tabel 4. Persyaratan Iklim dan Tanah Beberapa Jenis Tanaman Buah-buahan.....	52
Tabel 5. Persyaratan iklim dan Tanah Beberapa Jenis Tanaman Perkebunan.....	55
Tabel 6. Persyaratan Iklim dan Tanah Beberapa Jenis Tanaman Kehutanan.....	58
Tabel 7. Ringkasan Hasil Penelitian tentang Unsur Cuaca dan Iklim di Kalimantan Timur	64

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Metode Penyemaian Awan.....	72
Gambar 2. Awan Cumulus	74
Gambar 3. (a) Sebuah Rumah Hijau di Saint Paul, Minnesota; (b) Tanaman Tembakau di Dalam Rumah Tanaman Sedang Disiangi, di Hemingway, South Carolina; (c) Rumah Tanaman, Salah Satu Jenis Bangunan untuk Budidaya Pertanian yang Paling Umum	77
Gambar 4. Contoh Budidaya Hidroponik.....	84

I. KONSEP DASAR DAN RUANG LINGKUP MIKROKLIMATOLOGI

A. Pengertian dan Ruang Lingkup Klimatologi

Hubungan antara vegetasi, iklim dan tanah saling mempengaruhi dan dipengaruhi. Kumpulan vegetasi atau pohon-pohonan dalam hutan sebagai gudang penyimpanan karbon memiliki kemampuan mempengaruhi iklim. Upaya konservasi hutan dapat menurunkan emisi gas rumah kaca dan mencegah dampak negatif pemanasan global. Lakitan (1994) menyatakan pengkajian tentang topik iklim dapat meliputi skala global dan skala menengah atau kecil. Cakupan skala global dalam pengkajian iklim dapat meliputi wilayah yang luas hingga sangat luas. Pengkajian iklim dalam skala menengah misalnya berhubungan dengan variasi dan dinamika iklim pada suatu wilayah dalam cakupan luasan wilayah beberapa kilometer persegi.

Secara umum klimatologi dibagi menjadi dua yaitu makroklimatologi dan mikroklimatologi. Makroklimatologi adalah klimatologi yang mempelajari sifat-sifat atmosfer pada daerah yang luas. Sedangkan mikroklimatologi adalah klimatologi yang mempelajari iklim pada daerah yang sempit. Tjasyono (1999) menyatakan bahwa sebenarnya antara iklim makro dan iklim mikro terdapat 'iklim meso', akan tetapi istilah iklim meso kurang umum dipakai dan kurang dimengerti, sehingga istilah mesoklimatologi sangat jarang dijumpai di dalam pustaka.

Terjadinya perbedaan antara iklim mikro dan iklim makro, terutama disebabkan pada jaraknya dengan permukaan bumi. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi iklim mikro disebabkan oleh macam tanah: tanah hitam, tanah abu-abu, tanah lembek, dan tanah keras, oleh bentuk

tanah: bentuk konkaf (lembah), bentuk konveks (gunung) dan danau, oleh tanam-tanaman yang tumbuh di atasnya: rawa, hutan dan lain-lainnya yang mempengaruhi jumlah radiasi dan mempengaruhi profil angin, oleh aktivitas manusia : daerah industri, kawasan kota, pedesaan dan sebagainya (Tjasyono, 1999).

Berdasarkan skala ruang dan waktu atau ruang lingkup atmosfer yang dibahas dan berdasarkan sistem aliran massa udara, terdapat tiga cabang klimatologi yaitu (Ahmad-Badairi, 2012; Sabaruddin, 2012):

1. Klimatologi mikro / mikroklimatologi (*microclimatology*)

Klimatologi mikro (mikroklimatologi) adalah ilmu iklim yang membahas atmosfer sebatas ruang antara perakaran hingga sekitar puncak tajuk tanaman atau sifat atmosfer di sekitar permukaan tanah. Klimatologi mikro didefinisikan juga sebagai cabang klimatologi yang membahas kondisi iklim pada daerah sangat sempit di sekitar permukaan tanah atau daerah yang sangat sempit (< 100 m horizontal).

2. Klimatologi meso / mesoklimatologi (*mesoclimatology*)

Klimatologi meso (mesoklimatologi) adalah klimatologi yang membahas perilaku atmosfer dalam daerah yang relatif sempit, tetapi pola iklimnya sudah berbeda dari iklim disekitarnya. Sebagai contoh adalah iklim perkotaan dan iklim di daerah badai. Skala iklim meso berkisar antara 0-100 km.

Klimatologi juga diartikan sebagai cabang klimatologi yang mempelajari iklim pada daerah yang relatif sempit yakni antara 10-100 km arah horizontal. Cakupan wilayahnya adalah daerah perkotaan (*urban*), pertanian atau sistem cuaca lokal seperti badai tornado.

3. Klimatologi makro / makroklimatologi (*macroclimatology*)

Klimatologi makro (makroklimatologi) adalah cabang klimatologi yang menekankan pembahasannya pada penelaahan iklim pada daerah yang luas dan skala besar dengan gerak atmosfer yang

menyebabkan skala iklim tersebut. Wilayah lingkungannya mulai batas ruang iklim mikro hingga puncak atmosfer, serta meliputi seluruh dunia. Cakupan daerahnya meliputi benua, samudera dengan faktor pengendali utamanya adalah revolusi bumi dan pergerakan massa udara antar benua dan samudera.

B. Pengertian dan Ruang Lingkup Mikroklimatologi Hutan

Ilmu iklim yang membahas atmosfer sebatas ruang antara permukaan hingga sekitar puncak tajuk tanaman atau sifat atmosfer di sekitar permukaan tanah (*near the ground*) disebut mikroklimatologi. Unsur-unsur iklim tersebut mudah terpengaruh oleh perubahan pemanasan dan pendinginan permukaan tanah dan benda atau tumbuhan setempat. Timbulnya iklim mikro disebabkan terdapatnya perbedaan-perbedaan dari keadaan cuaca dan iklim yang cukup besar atau nyata terutama proses sifat fisis lapisan atmosfer.

Hasan (1970) dalam Arifin (1993) mengemukakan bahwa iklim mikro dibedakan atas dua macam lingkungan tempat tanaman dan hewan hidup, yakni lingkungan mikro meliputi atmosfer di bawah dua meter dari permukaan tanah dan lingkungan mikro di atas dua meter dari permukaan tanah. Bagi bidang kehutanan dalam banyak hal lingkungan mikro sangat penting dalam penyemaian benih dan pembiakan. Jadi yang penting bukan letaknya dekat permukaan tanah, tetapi hubungannya dengan lingkungan dari tumbuh-tumbuhan yang diselidiki, apakah dekat dengan permukaan tanah atau di atasnya.

Menurut Tjasyono (1999), mikroklimatologi ialah ilmu yang mempelajari tentang iklim mikro atau iklim yang terdapat di dalam daerah yang cukup kecil. Mikroklimatologi merupakan bagian dari klimatologi yang mempelajari iklim dari daerah yang amat sempit, karena berhubungan dengan tanaman. Iklim mikro dapat diartikan iklim dari lapisan-lapisan udara yang terendah, akan tetapi dapat juga diartikan

iklim dari wilayah yang sempit seperti suatu hutan, kota, desa, rawa, dan sebagainya (Daldjoeni, 1986).

Salah satu perbedaan pokok antara mikrometeorologi dan mikroklimatologi ialah mikrometeorologi memerlukan dasar matematika dan fisika yang lebih kompleks sehingga dapat mempelajari proses fisis atmosfer. Selain itu mikrometeorologi tidak terbatas hanya pada atmosfer dekat permukaan bumi, tetapi mungkin juga dapat mempelajari mikrofisika dari awan. Adapun mikroklimatologi sesungguhnya tidak hanya ditujukan kepada ahli meteorologi saja, tetapi juga disajikan untuk melayani ahli lain yang berminat untuk mempelajari tentang hubungan antara kehidupan dengan iklim mikro tanpa mempunyai dasar matematika dan fisika yang kokoh (Tjasyono, 1999).

Pengklasifikasian iklim berdasarkan kondisi permukaan biasanya dinyatakan berdasarkan kondisi dan karakteristik bentuk permukaan bumi yang memegang peranan penting terhadap sifat iklim. Penggolongan tersebut didasarkan atas topoklimatologi yakni deskripsi keadaan dan penjelasan iklim berdasarkan variabilitas atau keragaman bentuk topografi.

Klimatologi yang terbentuk berdasarkan keadaan topografi dibedakan atas beberapa cabang meliputi (Sabaruddin, 2012):

1. Klimatologi perkotaan (*urban climatology*) adalah cabang klimatologi yang membahas iklim perkotaan.
2. Klimatologi pertanian (*agroclimatology*) adalah cabang ilmu klimatologi yang mengkaji tentang hubungan timbal balik antara unsur-unsur iklim terhadap kegiatan pertanian.
3. Klimatologi maritim (*maritime climatology*) adalah cabang klimatologi yang mengkaji interaksi antara atmosfer dengan laut terutama terhadap masukan energi.
4. Klimatologi hutan (*forest climatology*) adalah cabang klimatologi yang membahas interaksi antara unsur iklim dengan karakteristik fisik dalam wilayah hutan.

Ruang lingkup klimatologi hutan mencakup mikroklimatologi, mesoklimatologi (mencakup wilayah lebih luas) dan makroklimatologi (iklim global). Klimatologi hutan membahas pengaruh hutan terhadap iklim dan sebaliknya iklim mempengaruhi ekosistem hutan. Dalam hal ini hubungan antara iklim dan hutan adalah sangat mempengaruhi dan saling dipengaruhi.

Mikroklimatologi hutan ialah ilmu yang mempelajari tentang proses-proses atmosfer dan hubungannya dengan fenomena-fenomena di dalam biosfer hutan. Dengan kata lain mikroklimatologi khususnya mempelajari tentang energi dan perubahan massa, rangsangan sifat fisik atmosfer yang diterima oleh tanah dan tanaman dan sifat fisik tersebut akan berpengaruh secara luas terhadap faktor fisiologi tanaman (Lee, 1978 dalam Arifin, 1993).

C. Peranan Iklim Mikro

Cuaca dan iklim sangat berkaitan erat dan mempengaruhi beberapa peristiwa alam yang telah banyak menimbulkan bencana. Beberapa bencana tersebut diantaranya banjir, longsor, perubahan iklim, gempa bumi, badai, gelombang laut, peningkatan dan penurunan suhu udara, gejala El-Nino dan La-Nina, dan lain-lain. Sehubungan dengan hal ini maka seyogyanya timbul kesadaran dalam diri manusia bahwa sangat penting bagi mereka untuk memahami mekanisme pembentukan dan manfaat cuaca atau iklim.

Cuaca dan iklim sangat mempengaruhi berbagai aspek kehidupan manusia, baik secara langsung maupun tidak langsung, mulai dari aspek fisik hingga peradaban yang bervariasi menurut tempat. Pengaruh cuaca dan iklim meliputi kebutuhan sandang, pangan, perumahan, dan kebutuhan lainnya dalam rangka memenuhi kebutuhan hidup manusia. Selain itu berbagai kegiatan yang berhubungan bidang politik, ekonomi, sosial, budaya, dan pertahanan keamanan juga dipengaruhi secara langsung ataupun tidak langsung oleh unsur-unsur cuaca dan iklim.

Berbagai kegiatan yang berhubungan dengan pertumbuhan tanaman seperti dalam bidang pertanian, perkebunan, dan kehutanan sangat memerlukan data dasar cuaca iklim. Selain itu, kegiatan yang berkaitan dengan bidang penerbangan, pelayaran, maritim dan kelautan, rekreasi dan pariwisata juga dipengaruhi oleh cuaca/iklim. Karyati (2015) melaporkan jumlah kunjungan wisata dipengaruhi oleh beberapa unsur iklim, yaitu curah hujan, kelembapan udara, dan lama penyinaran.

Ketersediaan data cuaca dan iklim dalam jangka panjang dapat dimanfaatkan manusia untuk membantu proses perencanaan (*design*), pelaksanaan, dan perkiraan peluang yang akan terjadi pada masa yang akan datang. Rozari (1992) menyatakan ada tiga alasan pentingnya iklim (klimatologi) dipelajari yakni:

1. Sebagai ilmu, anggapan selama ini iklim dinafikan sebagai sesuatu yang mendatangkan bencana sudah dapat diubah sebagai sumberdaya yang dapat menunjang kehidupan manusia terutama perannya dalam kegiatan pertanian dalam arti luas.
2. Klimatologi berupaya mengungkap fenomena atmosfer melalui analisis unsur-unsur cuaca sehingga dapat diketahui pola dan frekuensi kejadiannya.
3. Dalam klimatologi juga mempelajari aktivitas dan lingkungan tempat hidup manusia.

Tiga manfaat penting mempelajari klimatologi yaitu (Handoko, 1993):

1. Meningkatkan kewaspadaan terhadap kemungkinan munculnya akibat-akibat negatif yang dapat ditimbulkan oleh keadaan cuaca/iklim yang ekstrim misalnya kekeringan, banjir, dan angin kencang/badai.
2. Menyesuaikan diri atau berusaha untuk menyelenggarakan kegiatan dan usaha yang serasi dengan sifat cuaca dan iklim sehingga terhindar dari pengaruh negatif yang diakibatkannya Sebagai contoh

penentuan musim tanam, jenis tanaman yang akan dikembangkan sedapat mungkin disesuaikan dengan kelakuan iklim.

3. Menyusun rekayasa bidang teknik, seperti pembuatan hujan buatan, pertanian hidroponik, pemanfaatan rumah kaca, teknik penyiraman, maupun sistem pertanaman.

D. Hubungan Mikroklimatologi dengan Ilmu-ilmu Lain

Mikroklimatologi sebagai salah satu cabang ilmu mempunyai hubungan yang erat dengan beberapa bidang ilmu lainnya. Beberapa ilmu yang memiliki hubungan erat dengan mikroklimatologi dijelaskan berikut.

1. Ekologi dan Fisiologi Tumbuhan

Ekologi tumbuhan merupakan ilmu pengetahuan yang mempelajari hubungan timbal balik antara tumbuhan dengan lingkungannya, atau bisa juga diartikan sebagai ilmu yang membahas hubungan timbal balik yang terdapat dalam lingkungan serta antara kelompok-kelompok tumbuhan. Terkait dengan hal ini, iklim adalah salah satu faktor pembatas dalam proses pertumbuhan dan produksi tanaman. Tiga aspek pokok yang terkait erat dalam ekologi tumbuhan yaitu agronomi, fisiologi tanaman, dan klimatologi pertanian. Karakteristik dan tipe iklim dapat menentukan jenis-jenis dan produksi tanaman yang dapat tumbuh baik pada suatu wilayah, sehingga kajian klimatologi dalam bidang pertanian sangat diperlukan.

Beberapa unsur iklim yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman ialah curah hujan, suhu, kelembapan, angin, sinar matahari, dan evapotranspirasi (penguapan dan transpirasi) (Tjasyono, 1999). Upaya mengoptimalkan pertumbuhan tanaman dapat didukung dengan pemahaman yang baik tentang fisiologi tumbuhan. Fisiologi tumbuhan adalah cabang botani yang mempelajari tentang cara kerja istem kehidupan di dalam tubuh tumbuhan dan respon terhadap pengaruh

lingkungan sekitarnya sehingga tumbuhan tersebut dapat hidup. Sopandie (2013) menjelaskan dapat pertumbuhan dan perkembangan tanaman melakukan beberapa penyesuaian dengan lingkungan, seperti adaptasi terhadap cekaman tanah masam, ketersediaan fosfor rendah, cekaman kekeringan di lahan tadah hujan, cekaman lahan pasang surut dan sulfat masam, cekaman salinitas, perubahan iklim dan cekaman suhu tinggi, dan intensitas cahaya rendah.

2. Silvikultur

Aktivitas pengelolaan hutan memerlukan dasar-dasar silvikultur dan klimatologi yang baik. Silvikultur adalah cara-cara penyelenggaraan dan pemeliharaan hutan, penerapan ilmu silvik, teori, dan penerapan praktik-praktik pengaturan komposisi dan pertumbuhan hutan (Dephut R.I., 1989). Berdasarkan sifatnya dikenal dua jenis pohon, yaitu (a) Pohon tahan naungan (*tolerant, shade bearer*): pohon yang mampu tumbuh di bawah naungan dan (b) Pohon tak tahan naungan, intoleran (*intolerant, light demander*): pohon yang tidak mampu tumbuh dan berkembang di bawah naungan pohon yang lain (Dephut R.I., 1989).

3. Konservasi Tanah dan Air (KTA) dan Teknologi Konservasi Tanah dan Air (TKTA)

Pengaruh-pengaruh iklim terhadap tanah dapat dikurangi dengan upaya konservasi tanah dan air. Salah satu cara konservasi tanah dan air yaitu dengan cara mendayagunakan tanah dan memberikan perlakuan-perlakuan tertentu, dimana dalam kegiatan penggunaan tanah harus dibarengi dengan upaya pemeliharaan-pemeliharaan seperlunya. Hal ini dilakukan agar meskipun kondisi tanah mengalami perubahan-perubahan karena pengaruh iklim, namun perubahan itu hanya akan berlangsung sekecil mungkin dan tidak sampai menimbulkan kerugian besar terhadap kehidupan manusia dengan lingkungannya (Kartasapoetra, 1993).

Berkaitan dengan teknologi konservasi tanah dan air beberapa hal yang dapat dilakukan, baik dengan metode vegetatif, mekanik maupun kimia, maka iklim dapat menjadi bahan pertimbangan dalam hal (Karyati, 2004):

- a. Pemilihan jenis tanaman, penjadwalan serta teknik budidaya yang sesuai untuk diterapkan pada suatu kawasan yang akan dilakukan KTA secara vegetatif.
- b. Rancang bangun bangunan atau konstruksi bangunan fisik yang akan digunakan/diterapkan dalam metode KTA secara mekanik.
- c. Pemilihan jenis bahan pemantap dan penjadwalan waktu pemakaian bahan pemantap tanah yang akan digunakan dalam metode KTA secara kimia.

4. Hidrologi Hutan dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (PDAS)

Pemahaman tentang dasar-dasar meteorologi dan klimatologi sangat diperlukan dalam ilmu hidrologi hutan dan pengelolaan daerah aliran sungai. Isu keberadaan hutan telah dihubungkan dengan beberapa masalah yang mempunyai dimensi lebih luas dan spektakuler seperti hutan mencegah banjir, hutan mencegah kekeringan, hutan menambah curah hujan, dan hutan mengalirkan sumber-sumber air yang sebelumnya tidak ada (Asdak, 2002). Pengukuran-pengukuran presipitasi dan suhu udara adalah yang paling umum, tetapi pengukuran-pengukuran kelembapan, angin, radiasi, evaporasi dan data lainnya seringkali juga diperlukan untuk maksud-maksud hidrologi (Lee, 1986).

5. Ilmu Tanah

Faktor iklim yang penting dalam proses pembentukan tanah adalah curah hujan dan suhu. Karena curah hujan dan suhu tidak banyak berbeda di tempat-tempat yang berdekatan, maka pengaruh iklim terhadap sifat-sifat tanah baru dapat terlihat jelas bila dibandingkan daerah-daerah yang berjauhan dan mempunyai iklim yang berbeda nyata. Walaupun demikian, kadang-kadang di tempat yang berdekatan pun

ditemukan tanah-tanah yang berbeda sifatnya akibat pengaruh iklim terutama iklim mikro (Hardjowigeno, 2003).

6. Ilmu Perlindungan Hutan, Ilmu Hama Tanaman, dan Ilmu Penyakit Tanaman

Iklim sebagai salah satu komponen faktor lingkungan mempunyai peran penting dalam berlangsungnya proses epidemiologi penyakit tumbuhan. Iklim berperan penting untuk mempercepat kelangsungan proses epidemiologi. Iklim yang bersahabat dengan pertumbuhan patogen mampu meningkatkan proses epidemiologi penyakit tumbuhan. Hubungan epidemiologi penyakit tumbuhan dengan klimatologi yaitu proses epidemiologi tumbuhan sangat ditentukan dan berhubungan erat dengan ilmu klimatologi atau iklim. Di satu sisi iklim mampu mempercepat dan di sisi lain iklim mampu memperlambat proses epidemiologi penyakit tumbuhan (Anonim, 2010).

7. Statistika

Praktek dan pelaksanaan klimatologi memerlukan interpretasi dari data-data yang banyak, sehingga memerlukan statistik dalam pengerjaannya, orang-orang sering juga mengatakan klimatologi sebagai meteorologi statistik (Tjasyono, 2004).

II. RADIASI MATAHARI DALAM PERTUMBUHAN TANAMAN

A. Pengaruh Radiasi Matahari terhadap Pertumbuhan Tanaman

Paparan cahaya yang diterima berpengaruh terhadap karakteristik morfologis dan anatomis daun tumbuhan pada proses pertumbuhan tanaman, terutama pada tumbuhan tingkat semai dan tumbuhan jenis herba. Beberapa karakteristik morfologis daun yang dipengaruhi oleh banyaknya paparan cahaya matahari yang diterima adalah panjang, lebar, dan ketebalan daun. Paparan cahaya berbeda juga berpengaruh pula terhadap karakteristik anatomis daun seperti panjang, lebar, dan tipe stomata pada daun-daun tumbuhan tingkat semai dan herba (Karyati dkk., 2017a; Karyati dkk., 2017b).

Menurut Manan dan Suhardianto (1999), pengaruh umum radiasi matahari terhadap pertumbuhan tanaman yaitu:

1. Proses fotoenergi berupa fotosintesis.
2. Proses fotostimulus terdiri: (a) Proses pergerakan dan (b) Proses pembentukan.

Intensitas radiasi matahari yang tinggi sangat diperlukan dalam proses fotoenergi, sedangkan dalam proses fotostimulus sering ditentukan oleh panjang hari yang dikenal sebagai fotoperiodisme. Proses fotosintesis sebenarnya terdiri dari beberapa proses seperti proses difusi masuknya CO_2 yang tergantung dari banyaknya CO_2 di atmosfer dan juga dipengaruhi oleh cahaya. Cahaya adalah sebagian dari spektrum radiasi matahari yang sering disebut spektrum tampak. Proses fotokimia menghasilkan energi kimia dari energi cahaya. Sedangkan proses biokimia banyak dipengaruhi oleh suhu. Beberapa jenis tanaman sangat cocok dengan cahaya yang banyak, sehingga dapat berproduksi baik. Beberapa jenis lainnya yang tidak sesuai dengan cahaya banyak membutuhkan naungan agar dapat berproduksi baik.

Proses fotostimulus sering tidak memerlukan intensitas radiasi matahari yang besar, namun memerlukan suatu periode adanya cahaya yang berhubungan dengan panjang hari. Dalam hal ini panjang hari merupakan waktu atau lamanya periode terang dalam jam dari matahari terbit sampai terbenam. Hal ini disebabkan sumbu rotasi bumi yang tidak tegak lurus arah datangnya radiasi matahari. Pengaruh ini tidak terasa bila berada di ekuator, tetapi makin terasa bila menjauhi ekuator ke arah Utara atau Selatan. Informasi tentang panjang hari penting diketahui bila ingin menanam tanaman yang berasal dari lintang tinggi ke daerah ekuator.

B. Penyinaran dalam Komunitas Hutan

Cahaya merupakan faktor penting yang mempengaruhi berlangsungnya fotosintesis, sementara fotosintesis merupakan proses yang menjadi kunci dapat berlangsungnya proses metabolisme yang lain di dalam tanaman (Kramer dan Kozlowski, 1979). Sinar matahari merupakan tenaga penunjang pertumbuhan dan perkembangan vegetasi. Sinar matahari yang sampai ke bumi adalah sekitar 43%. Meskipun jumlah ini tersedia untuk tanaman dan hewan, namun penyebaran radiasi matahari tidaklah merata di permukaan bumi. Beberapa hal yang menentukan penyebaran radiasi matahari antara lain keadaan awan, ketinggian tempat, topografi, musim dan waktu dalam hari. Dua persen sinar matahari diserap menjadi panas dan terpakai dalam proses transpirasi, sedang 5% lainnya diperkirakan menyentuh tanah.

Penyinaran matahari yang terus-menerus sepanjang tahun akan membantu tumbuh-tumbuhan dalam suatu kawasan agar proses fotosintesisnya dapat berlangsung secara maksimum. Hutan yang ditumbuhi pohon-pohonan dengan dedaunan yang rapat akan menyebabkan sinar matahari sulit menerpa daun-daun, terutama daun bagian bawah secara langsung. Dalam hal ini proses penerimaan sinar matahari masih dimungkinkan melalui proses pantulan atau biasan.

Kedudukan daun pada tanaman akan menentukan proporsi radiasi yang diserapnya. Penyerapan radiasi matahari yang paling besar terjadi saat tajuk atau kanopi (tudung) tidak teratur tersusun dari beberapa lapisan.

Kedudukan, ukuran, dan intensitas daun mengalami perubahan dari hari ke hari. Hal ini mendukung proses produksi karbohidrat yakni tepung, gula, dan selulosa sebagai penyusun utama tubuh tumbuh-tumbuhan secara berlimpah. Ketersediaan air dan karbon dioksida sebagai komponen penyusun tumbuh-tumbuhan mempengaruhi perkembangan tumbuh-tumbuhan secara cepat. Hal ini akan lebih baik jika didukung oleh suplai unsur hara yang dibutuhkan tumbuh-tumbuhan.

Penyebaran, orientasi, dan pembungaan tumbuhan sangat ditentukan oleh sinar matahari. Jumlah cahaya yang masuk ke dalam hutan dan dapat menembus celah-celah vegetasi dalam hutan akan turut menentukan lapisan atau tingkatan yang terbentuk oleh pepohonan. Sinar matahari berperan penting membantu tumbuh-tumbuhan melakukan proses pertumbuhan dan perkembangan. Sebaliknya manakala sinar matahari dalam jumlah berlebihan atau minim maka dapat menghambat pertumbuhan vegetatif pohon, karena produksi hormon yang tumbuh dalam tanaman mengalami hambatan.

Setiap jenis tanaman atau pohon mempunyai toleransi yang berbeda terhadap cahaya matahari. Beberapa jenis tanaman dapat tumbuh baik di tempat terbuka, sebaliknya beberapa jenis tanaman lainnya hanya dapat tumbuh dengan baik pada tempat yang teduh atau bernaungan. Selain itu ada jenis tanaman yang memerlukan intensitas cahaya yang berbeda sepanjang periode hidupnya. Jenis tanaman ini memerlukan cahaya dengan intensitas rendah pada waktu masih muda dan menjelang sapuhan mulai memerlukan cahaya dengan intensitas tinggi (Soekotjo, 1976 dalam Faridah, 1995).

Parameter pertumbuhan tanaman seperti tinggi dan diameter tanaman dipengaruhi oleh banyaknya cahaya matahari yang diterima. Tanaman yang tumbuh atau ditempatkan pada tempat gelap akan

mempunyai pertumbuhan memanjang lebih cepat dan tidak kokoh (lembek). Sebaliknya tumbuhan yang menerima banyak sinar matahari akan mempunyai daun kecil, tebal, dan kuat serta merangsang pembungaannya. Bentuk daun tumbuh-tumbuhan dalam hutan berkaitan dengan kebutuhan akan cahaya. Bentuk daun harus tersusun sedemikian rupa dan masing-masing daunnya tidak saling menaungi agar daun memperoleh kesempatan mendapatkan cukup sinar atau cahaya sebagai alat fotosintesa. Tentu saja hal ini tidak berlaku pada tumbuhan berdaun kecil, misalnya tumbuhan jarum yang memperoleh penyerapan sinar tidak efektif seperti pada tumbuhan berdaun lebar dengan refleksi sudut sinar yang datang.

Naungan berhubungan erat dengan temperatur dan evaporasi. Keberadaan naungan akan mengurangi evaporasi dari semai tergantung spesies tanaman. Beberapa spesies lain menunjukkan perilaku yang berbeda. Beberapa spesies dapat hidup dengan mudah dalam intensitas cahaya yang tinggi, tetapi beberapa spesies tidak (Suhardi dkk., 1995). Banyak jenis tanaman muda biasanya memerlukan naungan pada awal pertumbuhannya dan dengan bertambahnya umur tanaman naungan dapat dikurangi secara bertahap. Beberapa jenis tanaman berbeda lainnya tidak memerlukan naungan mulai awal pertumbuhannya. Untuk menghasilkan semai-semai yang berkualitas diperlukan pengaturan naungan.

Saat mendapat sinar matahari optimal, biasanya tumbuhan hutan akan mengalami perkembangan dan pertumbuhan cepat. Hal ini akan ditunjukkan banyaknya cabang dan daun, karena mampu melaksanakan proses fotosintesis yang dibantu air. Sebaliknya jika rapat, pohon hutan akan sedikit mempunyai cabang dan daun, karena cahaya matahari tidak cukup untuk kegiatan fotosintesis.

Sebagian dari jenis-jenis Dipterocarpaceae terutama untuk jenis kayu yang mempunyai berat jenis tinggi atau tenggelam dalam air atau sebagian lagi tergolong jenis semi toleran (*gap appertunist*) yaitu jenis-

jenis yang memiliki kayu terapung atau berat jenis rendah. Kebutuhan cahaya untuk pertumbuhannya di waktu muda (tingkat anakan) berkisar antara 50– 85% dari cahaya total. Anakan jenis-jenis semi toleran naungan memerlukan cahaya sampai umur 3–4 tahun atau sampai tanaman mencapai tinggi 1–3 meter. Sedangkan jenis-jenis toleran memerlukan waktu lebih lama lagi yaitu 5–8 tahun. Jenis tubuhan yang tergolong intoleran sangat sedikit antara lain *Shorea concorta* (Rasyid dkk., 1991). Suhardi (1995) mengemukakan *Hopea gregaria* yang termasuk dalam jenis Dipterocarpaceae, di tempat penuh memberikan pertumbuhan yang jauh lebih baik dibandingkan dengan tempat cahaya masuk sebahagian. Intensitas cahaya merupakan faktor yang paling berperan terhadap kecepatan berjalannya fotosintesis dibandingkan lama penyinaran dan jenis cahaya.

C. Fotoperiodisme

Pengertian fotoperiodisme adalah respon tanaman terhadap panjang hari. Fotoperiodisme merupakan faktor yang penting pada penyebaran tanaman di alam. Umumnya tanaman yang berasal dari lintang rendah memerlukan panjang hari yang pendek untuk berbunga, sedang tanaman yang berasal dari lintang tinggi dipindahkan ke lintang rendah, tidak akan berbunga. Sebaliknya jika tanaman lintang rendah dipindah ke lintang tinggi, tanaman ini akan tumbuh tetapi tidak bisa berbunga (Manan dan Suhardianto, 1999).

Faktor fotoperiodisme mempengaruhi pohon-pohon untuk berbunga, selain cahaya. Panjang dan pendek hari merupakan respon tumbuh-tumbuhan dalam aktivitas pertumbuhan dan perkembangannya. Sebagaimana telah banyak diketahui, tumbuhan hari pendek memerlukan malam yang panjang dan sebaliknya. Apabila waktu malam terputus, tumbuhan tersebut tidak akan mampu berbunga. Waktu penyinaran di siang hari yang tidak boleh melampaui waktu penyinaran

pada tumbuhan hari pendek berbeda-beda untuk masing-masing spesies. Apabila pohon-pohon dibutuhkan hanya pada pertumbuhan vegetatifnya, lama penyinaran sinar matahari dikurangi atau bahkan dlebihkan. Oleh sebab itu, adakalanya kita kesulitan mendapatkan biji tumbuhan hutan, karena proses fotoperiodisme terkadang tidak tepat dan optimal akibat rapatnya tajuk hutan.

Ada jenis tanaman yang tidak peka terhadap panjang hari, tetapi berbunga walaupun panjang hari berubah. Respon tanaman terhadap panjang hari terbagi empat golongan (Kartasapoetra, 1993):

1. Tanaman hari panjang (*long day plant*), adalah semua tumbuhan yang menghasilkan bunga apabila penyinaran lebih dari 12 jam (14-16 jam) sehari. Contoh: kembang sepatu, bit gula, selada, dan tembakau.
2. Tanaman hari pendek (*short day plant*), adalah tumbuhan yang dapat berbunga apabila penyinaran kurang dari 12 jam sehari. Contoh: strawberry, krisan, jagung, kedelai, anggrek, dan bunga matahari.
3. Tanaman hari sedang, tumbuhan yang berbunga jika terkena penyinaran kira-kira 12 jam sehari. Contoh: kacang dan tebu.
4. Tanaman hari netral (*neutral day plant*), adalah tumbuhan yang dapat berbunga tanpa dipengaruhi oleh lamanya penyinaran atau tumbuhan yang tidak responsif terhadap panjang hari untuk pembungaannya. Contoh: mentimun, padi, wortel liar, dan kapas.

D. Pengaruh Cahaya terhadap Beberapa Parameter Pertumbuhan Tanaman

Menurut Rasyid (1991), penanaman jenis Dipterocarpaceae di lapangan terbuka harus mempergunakan peneduh. Jenis tanaman peneduh yang dapat digunakan antara lain *Albizia falcataria* (Sengon) atau jenis lain yang memiliki tajuk ringan dan memiliki persyaratan tempat tumbuh yang sama dengan jenis Dipterocarpaceae yang akan

ditanam di tempat tersebut. Pada umumnya anakan meranti khususnya pada tingkat seedling kurang tahan terhadap defisit air tanah, kecuali anakan *Shorea leprosula*. Pada tempat terbuka kondisi permudaan semai umumnya berdaun kecil dan lemah. Pada bagian hutan yang bercelah lebar umumnya banyak dijumpai tumbuh pancang dan tiang. Permudaan tingkat semai dari jenis-jenis meranti ringan umumnya kurang tahan terhadap naungan berat, kecuali permudaan dari jenis-jenis meranti berat/tenggelam.

1. Pengaruh Cahaya terhadap Diameter dan Tinggi Tanaman

Pertumbuhan tinggi dan diameter tanaman jenis *Shorea pauciflora* dan *Shorea selanica* dipengaruhi oleh cahaya. Pertumbuhan tinggi lebih cepat pada tempat ternaung daripada tempat terbuka. Sebaliknya, pertumbuhan diameter lebih cepat pada tempat terbuka dari pada tempat ternaung sehingga tanaman yang ditanam pada tempat terbuka cenderung pendek dan kekar (Karyati, 2007; Marjenah, 2001). Riap tinggi semai jati (*Tectona grandis*) yang ditanam pada bedengan tanpa naungan, dengan naungan sarlon satu lapis, sarlon dua lapis, dan sarlon tiga lapis masing-masing sebesar 5,68; 9,39; 9,08 dan 7,87 cm, sedangkan riap tinggi semai mahoni (*Swietenia mahagoni*) berturut-turut adalah 5,57; 6,10; 6,78, dan 6,35 cm. Semai jati yang ditanam pada bedengan tanpa naungan, sarlon satu lapis, sarlon dua lapis, dan sarlon tiga lapis mempunyai riap diameter masing-masing sebesar 2,65; 1,89; 1,16, dan 0,81 mm, sedangkan riap diameter semai mahoni berturut-turut adalah 1,29; 0,59; 0,25, dan 0,62 mm (Karyati, 2007).

Pengujian pengaruh naungan terhadap pertumbuhan diameter semai *Shorea pauciflora* dan *Shorea selanica* secara keseluruhan menunjukkan bahwa antara perlakuan tanpa naungan riap diameter lebih besar daripada sarlon satu lapis dan sarlon dua lapis. Hal ini membuktikan bahwa dalam pertumbuhannya, tumbuhan sangat memerlukan cahaya (sinar), sehingga pada kondisi dimana tumbuhan

cukup mendapatkan cahaya untuk aktivitas fisiologisnya, tumbuhan cenderung melakukan pertumbuhan ke samping (pertumbuhan diameter) (Marjenah, 2001). Hadriyanto (2007) melaporkan bahwa semai *Shorea pauciflora* yang ditanam pada bedengan dengan sarlon hitam hampir mempunyai pengaruh pada tingkat yang sama, baik pada satu, dua ataupun tiga lapis. Variasi pengaruh warna sarlon hanya ditemui pada warna hijau dan biru. Tingkat pertumbuhan tinggi yang ditunjukkan oleh perlakuan jumlah lapisan tiga lapis, sarlon hijau memberikan tingkat tertinggi (13,07 cm), tetapi justru bereaksi negatif pada sarlon biru (4,9 cm). Tiga lapisan sarlon memberikan dampak pertumbuhan diameter terkecil dibanding dengan dua dan satu lapisan. Sarlon dengan satu lapisan menunjukkan pertumbuhan yang tertinggi (1,64 mm) dibanding dengan dua lapisan (1,54 mm) dan tiga lapis (1,25 mm).

Penelitian Simarangkir (2000) memperlihatkan perbandingan besar riap diameter jenis Dipterocarpaceae *Dryobalanops Lanceolata* pada lebar jalur tanaman sebesar 56,8% pada lebar jalur tanaman 4 m dan pada lebar jalur tanam 2 m besarnya 43,2% sehingga nilai riap diameter pada jalur tanam 4 m lebih tinggi 5.7 mm (13,6%) dari riap diameter di lebar jalur tanam 2 m. Hal ini menunjukkan bahwa ruang lingkup tumbuhnya lebih memadai untuk penambahan diameter tanaman, disebabkan besarnya intensitas cahaya yang diterima telah cukup dan juga lebih bebas dari himpitan atau gangguan tanaman dari bagian samping atau sekitarnya mengakibatkan pertumbuhan tanaman ke arah bagian samping terganggu/tertekan.

Menurut Soekotjo (1976), pertumbuhan diameter batang tergantung pada kelembapan nisbi, permukaan tajuk dan sistem perakaran juga dipengaruhi iklim dan kondisi tanah. Tingginya suhu udara akan meningkatkan laju transpirasi, hal ini antara lain dapat ditandai dengan turunnya kelembapan udara relatif. Apabila hal seperti ini cukup lama berlangsung, maka dapat menyebabkan keseimbangan

air tanaman terganggu dan dapat menurunkan pertumbuhan tanaman termasuk diameter tanaman.

2. Pengaruh Cahaya terhadap Ketebalan dan Luas Daun

Naungan memberikan efek yang nyata terhadap luas daun. Daun mempunyai permukaan yang lebih besar di dalam naungan daripada di tempat terbuka. Daniel dkk. (1992) menyebutkan daun-daun yang berasal dari posisi terbuka dan ternaung, atau dari tumbuhan toleran dan intoleran, mempunyai morfologi yang sangat bervariasi. Daun yang terbuka, lebih kecil, lebih tebal dan lebih menyerupai kulit daripada daun ternaung pada umur dan jenis yang sama.

Shorea pauciflora dan *Shorea selanica* yang ditanam pada bedengan dengan naungan sarlon mempunyai luas daun yang lebih besar daripada yang ditanam di bedengan tanpa naungan, hal ini membuktikan bahwa telah terjadi perubahan morfologi pada tanaman sebagai akibat dari perbedaan intensitas cahaya yang diterima oleh tanaman. Hal ini sesuai dengan pernyataan Ducrey (1992) bahwa morfologi jenis memberikan respon terhadap intensitas cahaya juga terhadap naungan. Naungan memberikan efek yang nyata terhadap luas daun. Daun mempunyai permukaan yang lebih besar di dalam naungan daripada jika berada pada tempat terbuka.

Fitter dan Hay (1992) mengemukakan bahwa jumlah luas daun menjadi penentu utama kecepatan pertumbuhan. Keadaan seperti ini dapat dilihat pada hasil penelitian dimana daun-daun yang mempunyai jumlah luas daun yang lebih besar mempunyai pertumbuhan yang besar pula (Marjenah, 2001). Karyati (2007) mengemukakan bahwa luas daun semai jati setelah 3 bulan pengamatan sebesar 755,60 cm² lebih besar dibanding luas daun Mahoni sebesar 370,24 cm². Jumlah daun tanaman lebih banyak di tempat ternaung daripada di tempat terbuka. Jenis yang diteliti memberikan respon terhadap perbedaan intensitas cahaya. Daun mempunyai permukaan yang lebih besar di dalam naungan daripada di

tempat terbuka. Naungan memberikan efek yang nyata terhadap luas daun.

Tanaman yang ditanam ditempat terbuka mempunyai daun yang lebih tebal daripada di tempat ternaung. Hasil pengamatan pada semai jati yang ditanam pada bedengan tanpa naungan mempunyai tebal daun rata-rata 0,36 mm, pada sarlon satu lapis sebesar 0,29 mm, sarlon dua lapis sebesar 0,41 mm, dan sarlon tiga lapis sebesar 0,37 mm. Sedangkan ketebalan daun semai Mahoni pada bedengan tanpa naungan, sarlon satu lapis, sarlon dua lapis, dan sarlon tiga lapis berturut-turut sebesar 0,30; 0,28; 0,27, dan 0,26 mm (Karyati, 2007).

3. Pengaruh Cahaya terhadap Jumlah Klorofil Daun

Marjenah (2001) mengemukakan jumlah daun tanaman lebih banyak di tempat ternaung daripada di tempat terbuka. Ditempat terbuka mempunyai kandungan klorofil lebih rendah dari pada tempat ternaung. Dewi (1996) menyatakan bahwa kandungan klorofil *Shorea parvifolia* pada tempat terbuka mempunyai kandungan klorofil lebih rendah yaitu 34,80 satuan, sedangkan dengan naungan sarlon satu lapis berjumlah 42,21 satuan dan naungan sarlon dua lapis 48,05 satuan; sedangkan *Shorea smithiana* pada tempat terbuka kandungan klorofilnya 32,91 satuan, naungan sarlon satu lapis 36,49 satuan dan naungan sarlon dua lapis 40,01 satuan.

Hasil pengamatan terhadap semai jati (*Tectona grandis*) yang ditanam pada bedengan tanpa naungan, bedengan dengan sarlon satu lapis, dua lapis, dan tiga lapis mempunyai kandungan klorofil berturut-turut sebesar 25,08; 33,94; 31,18 dan 32,14 satuan. Sedangkan semai mahoni (*Swietenia mahagoni*) pada bedengan tanpa naungan mempunyai kandungan klorofil 26,62 satuan, pada bedengan dengan satu lapis sarlon sebesar 45,72 satuan, dua lapis sarlon sebesar 46,90 satuan, dan tiga lapis sarlon sebesar 44,34 satuan (Karyati, 2007). Hadriyanto (2007) menyimpulkan bahwa jumlah klorofil untuk semai S.

pauciflora tertinggi ditunjukkan oleh perlakuan sarlon hitam tiga lapis dan terendah ditunjukkan oleh perlakuan sarlon hijau satu lapis.

Karakteristik anatomis kandungan klorofil daun tingkat semai pada paparan cahaya berat, sedang, dan ringan berturut-turut sebesar 45,5%, 46,0%, dan 42,7% (Karyati dkk. 2017a). Karyati dkk.(2017b) melaporkan karakteristik anatomis daun tumbuhan herba pada paparan cahaya berat memiliki jumlah klorofil rata-rata sebesar 44,5; panjang stomata 32,60 μm , dan lebar stomata 25,84 μm ; pada paparan cahaya sedang memiliki jumlah klorofil rata-rata sebesar 51,6; panjang stomata 27,29 μm , dan lebar stomata 24,36 μm , dan pada paparan cahaya ringan memiliki jumlah klorofil rata-rata sebesar 49,1; panjang stomata 28,36 μm , dan lebar stomata 23,82 μm .

Sejumlah *angiospermae* efisien dalam melakukan fotosintesis pada intensitas cahaya rendah daripada intensitas cahaya tinggi, sedangkan banyak *gymnospermae* lebih efisien pada intensitas cahaya tinggi. Perbandingan antara kedua kelompok tanaman tersebut pada intensitas cahaya rendah dan tinggi seringkali dapat memberikan tekanan-tekanan pada kapasitas fotosintesis terutama pada penimbunan makanan. *Gymnospermae* seringkali menimbun sebagian berat keringnya pada musim dormansi, sedangkan species *angiospermae* dari jenis *deciduous* kehilangan sebagian berat keringnya melalui respirasi. Oleh karena itu, suatu *gymnospermae* dengan kecepatan fotosintesis yang sedikit lebih rendah daripada *angiospermae* yang *deciduous* selama musim pertumbuhan dapat menimbun total berat kering lebih banyak selama satu tahun karena aktivitas fotosintesisnya lebih lama (Kramer dan Kozlowski, 1979).

Tourney dan Korstia (1974) dalam Simarangkir (2000) mengemukakan pertumbuhan diameter tanaman berhubungan erat dengan laju fotosintesis akan sebanding dengan jumlah intensitas cahaya matahari yang diterima dan respirasi. Akan tetapi pada titik jenuh cahaya, tanaman tidak mampu menambah hasil fotosintesis walaupun

jumlah cahaya bertambah. Selain itu produk fotosintesis sebanding dengan total luas daun aktif yang dapat melakukan fotosintesis. Daniel dkk. (1992) menyatakan bahwa terhambatnya pertumbuhan diameter tanaman karena produk fotosintesisnya serta spektrum cahaya matahari yang kurang merangsang aktivitas hormon dalam proses pembentukan sel meristematik ke arah diameter batang, terutama pada intensitas cahaya yang rendah.

4. Pengaruh Cahaya terhadap Sudut Percabangan dan Panjang Tunas

Sudut percabangan tanaman lebih besar di tempat ternaung daripada di tempat terbuka (Marjenah, 2001). Sudut percabangan rata-rata semai jati dan mahoni adalah 13,22 dan 8,85°. Sedangkan sudut percabangan semai jati yang ditanam pada bedengan tanpa naungan sebesar 11,67°, pada sarlon satu lapis sebesar 9,27°, sarlon dua lapis sebesar 13,47°, dan sarlon tiga lapis sebesar 18,47°. Sedangkan semai mahoni pada bedengan tanpa naungan, sarlon satu lapis, sarlon dua lapis, dan sarlon tiga lapis masing-masing sebesar 26,73; 6,47; 0,33 dan 1,87° (Karyati, 2007). Pertumbuhan panjang tunas rata-rata semai *S. pauciflora* selama masa penelitian yang dilakukan Hadriyanto (2007) berkisar antara 4,49-10,01 cm dengan pertumbuhan panjang tunas individual terbesar ditunjukkan oleh pengaruh perlakuan sarlon hijau tiga lapis (10,01 cm) dan terkecil sarlon biru tiga lapis (4,49 cm).

5. Pengaruh Cahaya terhadap Panjang dan Lebar Daun

Pengaruh naungan yang berbeda terhadap panjang dan lebar daun jati dan mahoni diamati oleh Karyati (2007). Pengujian menunjukkan pada bedengan tanpa naungan dan menggunakan sarlon satu lapis mempunyai panjang dan lebar daun yang lebih besar daripada sarlon tiga dan dua lapis. Hal ini menunjukkan bahwa dalam pertumbuhannya, tumbuhan sangat memerlukan cahaya (sinar), sehingga pada kondisi dimana cahaya relatif banyak (tanpa naungan dan

sarlon satu lapis), tumbuhan cenderung mempunyai panjang dan lebar daun yang lebih besar (Karyati, 2007).

Karyati dkk. (2017a) melaporkan karakteristik morfologis daun tingkat semai pada paparan cahaya berat, sedang, dan ringan masing-masing berupa panjang daun 13,4 cm; 13,9 cm, dan 16,5 cm; lebar daun 5,0 cm; 5,4 cm, dan 6,1 cm, dan ketebalan daun 0,09 mm; 0,08 mm, dan 0,06 mm. Sedangkan karakteristik morfologis daun tumbuhan herba pada lokasi yang mendapat paparan cahaya berat, sedang, dan ringan yaitu panjang daun 22,1; 25,5; 20,0 cm dan lebar daun 6,0; 5,8; 5,0 cm (Karyati dkk., 2017b).

III. SUHU DAN KELEMBAPAN DALAM PERTUMBUHAN TANAMAN

A. Pengaruh Suhu dan Kelembapan Udara terhadap Pertumbuhan Tanaman

Pengaruh suhu terhadap makhluk hidup sangat besar terutama dalam hal mempengaruhi kegiatan pertumbuhannya. Sebagai contoh, tanaman memerlukan suhu tertentu, artinya tanaman itu tidak akan tumbuh dengan baik bila syarat-syaratnya tidak dipenuhi. Pengaruhnya pada proses pematangan buah adalah makin tinggi suhu makin cepat matang. Benih-benih yang berada pada daerah dengan suhu yang tinggi akan melakukan metabolisme lebih cepat. Benih yang dibiarkan atau ditanam pada dataran atau tanah tinggi, maka daya kecambahnya akan turun. Berkaitan dengan tersebut, maka tanaman memerlukan suhu maksimum dan suhu optimum tertentu. Pertumbuhan tanaman akan berhenti bila suhu turun di bawah minimum tertentu atau naik di atas maksimum tertentu (Kartasapoetra, 2004).

Secara umum hutan biasanya mempunyai pengaruh terhadap suhu, namun pengecualian juga terjadi. Kanopi hutan yang dibangun dengan baik adalah satu permukaan aktif untuk proses transfer. Sebagai satu profil suhu dihasilkan di atas kanopi menunjukkan inversi pada malam hari dan kondisi perubahan suhu (*lapse*) selama sehari. Profil suhu dalam hutan sama dengan penutupan vegetasi tingkat rendah, inversi selama sehari dan kondisi perubahan suhu (*lapse*) pada malam hari (Munn, 1966).

Menurut Kartasapoetra (2004), suhu maksimum adalah suhu tertinggi dimana suatu tanaman masih dapat tumbuh, sedangkan suhu minimum adalah suhu terendah dimana tanaman masih dapat hidup. Suhu optimum adalah suhu terbaik yang dibutuhkan tanaman dimana

proses pertumbuhannya dapat berjalan lancar. Di antara suhu minimum dan maksimum ini terdapat pertumbuhan yang baik, yaitu pada suhu optimum.

Tumbuhan adalah faktor utama yang mengintegrasikan iklim seperti halnya pengaruh lainnya. Istilah iklim tumbuhan (*plantclimate*) didefinisikan sebagai kondisi dimana tumbuhan spesifik, kelompok, atau asosiasi dari tumbuhan dalam harmoni yang lengkap. Komponen-komponen iklim secara fisik dan fluktuasi suhu diurnal dan musiman adalah faktor-faktor pengendali. Baik tumbuhan maupun iklim fisik akan saling merefleksikan satu sama lain. Secara detail pengetahuan salah satunya akan membuat penggambaran dari kemungkinan lainnya. Tanpa mempertimbangkan tanah atau air (Kimball dan Gilbert, 1967).

Suhu minimum, suhu maksimum dan suhu optimum dikenal sebagai suhu kardinal. Setiap jenis tanaman mempunyai suhu kardinal tertentu. Aktivitas metabolisme yang maksimum terjadi pada suhu optimum. Misalnya tanaman sorghum membutuhkan suhu minimum sekitar 15°C, suhu optimum antara 31°C dan 37°C dan suhu maksimum berkisar 44°C hingga 50°C. Sorghum termasuk tanaman musim panas. Suhu di atas maksimum adalah ekstrim maksimum dan suhu di bawah minimum ekstrim minimum, pada suhu ini tanaman tidak tumbuh dan akan mati (Kartasapoetra, 2004).

Tanaman dapat mengubah fluktuasi suhu dari iklim mikro. Bunga dan daun dapat menangkap insolasi pada lapisan atas, sehingga suhu maksimumnya terletak dekat sekitar puncak tanaman, kecuali jika tanaman masih rendah dan masih terpecah, sehingga pemanasan di sela-sela tanaman dari tanah akan menentukan distribusi suhu vertikal.

Suhu malam hari berperan besar pada pertumbuhan dan perkembangan tanaman tomat bila dibandingkan suhu siang hari. Pada suhu malam yang tinggi pertumbuhan vegetatif dipercepat, tetapi pembungaan dan perkembangan buah terhambat. Tanaman kentang, cabai dan tembakau memerlukan suhu malam yang rendah.

Pertanaman kentang yang berhasil di lintang tinggi karena suhu optimum untuk pembentukan umbi berkisar 12°C. Pada umumnya suhu malam yang rendah banyak merangsang keluarnya bunga. Di daerah tropis suhu malam yang rendah terjadi pada musim kemarau. Kemarau yang panjang sering menyebabkan suhu malam hari menjadi rendah sehingga merangsang pohon-pohon cengkeh berbunga. Panen besar cengkeh terjadi sesudah musim kemarau panjang.

Suhu siang hari yang tinggi banyak merusak tanaman, terutama tanaman yang masih muda. Suhu udara makin dekat permukaan tanah makin tinggi. Tanaman yang rendah seperti kedelai dan kacang tanah mengalami suhu udara yang lebih tinggi dari tanaman yang tinggi seperti jagung atau sorghum.

Suhu akan memberikan pengaruh yang penting untuk diketahui apabila menimbulkan gejala yang kurang baik pada morfologi atau faktor-faktor lain yang menyebabkan penurunan produksi. Suhu rendah di atas titik beku pengaruhnya terhadap morfologi yaitu :

1. Mengurangi pertambahan luas daun.
2. Mengurangi pembesaran buah.
3. Menurunkan respirasi.
4. Mempengaruhi penyebaran hasil fotosintesis di bagian atas dan bawah tanah.
5. Meningkatkan pembungaan dan buah, terutama pada suhu malam yang rendah.

Suhu udara rata-rata, maksimum dan minimum di dalam hutan menunjukkan perubahan yang fluktuatif setiap jamnya. Perubahan kenaikan suhu udara terlihat jelas pada siang hari (Karyati dkk., 2016). Suhu udara meningkat pada siang hari sejalan dengan bertambahnya intensitas matahari, dan menurun sedikit demi sedikit sampai jam 6 sore hingga matahari terbit lagi (Hardjodinomo, 1975; Prasetyo, 2012; Sudaryono, 2001). Sedangkan pada malam hari sekitar pukul 18:00 hingga 05:00, tajuk pohon di dalam hutan juga dapat berfungsi untuk

mempertahankan kondisi suhu udara minimum, sehingga fluktuasi suhu udara tidak terlihat jelas seperti pada saat siang hari.

Kelembapan udara pada siang hari mengalami penurunan, hal ini dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti intensitas cahaya matahari, suhu udara, angin, luas bidang datar dan vegetasi. Sudaryono (2001) menyatakan kelembapan udara pada siang hari relatif lebih rendah apabila dibandingkan dengan kelembapan udara pagi hari dan sore hari. Kelembapan udara pada malam hari relatif tinggi dibandingkan siang hari, hal ini disebabkan karena intensitas radiasi matahari yang berkurang.

Besarnya kelembapan suatu daerah merupakan faktor yang dapat menstimulasi curah hujan. Di Indonesia, kelembapan udara tertinggi dicapai pada musim hujan dan terendah pada musim kemarau. Besarnya kelembapan di suatu tempat pada suatu musim erat hubungannya dengan perkembangan organism terutama jamur dari penyakit tumbuhan, misalnya penyakit *blister blight*. Penyakit ini disebabkan oleh cendawan yang dikenal dengan *exobasidium hexans*, dan menyerang bila kelembapan relatif (*relative humidity*) selama 3 hari berturut-turut 85%. Di samping itu, kelembapan relatif dipengaruhi pula oleh adanya pohon pelindung, terutama apabila pohonnya rapat. Dengan adanya ramalan cuaca, maka kita dapat dengan segera melakukan penyemprotan dengan fungisida. Di daerah tropis yang kelembapan relatifnya besar mengakibatkan masalah bagi tanaman terutama untuk hasil sayuran akan cepat membusuk (Kartasapoetra, 2004).

B. Dinamika Suhu dan Kelembapan Tanah

Distribusi suhu di dalam tanah bergantung pada beberapa faktor, diantaranya konduktivitas panas, kapasitas panas dan warna tanah. Karena penjalaran panas ke dalam tanah memerlukan waktu, maka suhu tanah pada setiap kedalaman yang lebih dalam mengalami keterlambatan (Tjasyono, 1999). Secara umum, fluktuasi suhu tanah sangat dipengaruhi oleh fluktuasi suhu udara di permukaan yang sedang

terjadi saat itu. Pengaruh perubahan suhu udara terhadap suhu tanah terjadi pada berbagai kedalaman berbeda, baik pada siang hari maupun malam hari (Karyati dan Ardianto, 2016).

Fluktuasi suhu tanah bergantung pada kedalaman tanah. Makin dalam lapisan tanah, maka fluktuasi suhu makin kecil sampai pada kedalaman redaman. Kedalaman redaman adalah kedalaman tanah dengan amplitudo gelombang suhu pada kedalaman ini sama dengan e^{-1} kali nilai amplitudo gelombang suhu permukaan. Kedalaman redaman bergantung pada difusivitas panas tanah dan bergantung pada daur suhu tanah apakah harian atau tahunan (Tjasyono, 1999).

Tanah berhumus yang mengandung banyak air akan membuat kapasitas panasnya besar. Saat tanah berhumus ini kering, maka kapasitas panasnya menjadi kecil. Hal ini akan mengakibatkan tanah cepat menjadi panas bila kena radiasi matahari. Dua cara yang dapat dilakukan untuk memodifikasi suhu tanah adalah:

1. Mengatur radiasi matahari yang datang dan radiasi yang keluar dari tanah.
2. Mengubah sifat termal dari tanah.

Cara pertama dapat dilakukan dengan membuat naungan, mulsa, pohon-pohon pelindung angin, dan lain-lain. Sedangkan cara kedua dapat dilakukan contohnya dengan mengadakan pengolahan tanah, mengubah kelembapan tanah, drainase, menambah pasir pada permukaan tanah, dan lain-lain. Cara menaikkan suhu tanah pada bulan-bulan musim semi yang dingin dilakukan dengan memakai mulsa. Fungsi mulsa pada siang hari melindungi tanah kena langsung radiasi matahari dan pada malam hari tanah masih hangat karena radiasi panas dari dalam tanah dihambat.

Dalam kaitannya dengan suhu tanah, tanaman dapat digolongkan menjadi tanaman yang berakar dangkal dan tanaman yang berakar dalam. Tanaman yang berakar dangkal, yaitu tanaman yang setelah berbuah kemudian dicabut, misalnya padi, jagung, ketela, dan lain-lain.

Tanaman yang berakar dalam, pada umumnya tanaman keras, yaitu tanaman yang berbuah terus menerus tanpa diganti (Tjasyono, 1999). Karyati dan Ardianto (2016) menyatakan bahwa dinamika atau fluktuasi suhu tanah pada kedalaman yang berbeda di luar hutan terlihat lebih cepat berubah daripada di dalam hutan. Sudaryono (2001) menambahkan pada pagi hari sebelum matahari terbit, suhu terendah pada permukaan tanah dan meningkat sesuai kedalaman.

Tjasyono (1999) menyatakan pada tanaman yang berakar dalam, misalnya 30 cm, suhu maksimum baru tercapai 8 jam atau lebih dari suhu maksimum di atmosfer. Suhu tanah maksimum pada kedalaman 20 cm terjadi pada jam 18.00 yang berarti terlambat 5 jam dari suhu maksimum udara (jam 13.00). Oleh karena itu, jika akan menyiram bunga mawar yang mempunyai akar sedalam 30 cm, sebaiknya dilakukan pada jam 20.00 atau 21.00 malam hari, karena pada waktu suhu optimum daya isap akar tanaman untuk mengisap air adalah besar.

Faktor lingkungan yang mempengaruhi pertumbuhan berubah secara konstan sepanjang pertumbuhan tanaman. Faktor-faktor tersebut termasuk kelembapan tanah, kuantitas dan kemampuan larut unsur hara mineral, tingkat keasaman tanah, penyakit, insektisida, suhu udara dan tanah, serta penyinaran (Kasperbauer, 1994). Karyati dkk. (2018) menyebutkan fluktuasi unsur-unsur iklim mikro, berupa suhu dan kelembapan tanah pada kedalaman tanah berbeda dipengaruhi oleh suhu dan kelembapan udara relatif di wilayah tersebut. Perbedaan unsur-unsur iklim terlihat jelas pada jenis tutupan lahan atau tipe vegetasi dominan yang berbeda. Selain pengaruh timbal balik antar unsur iklim/cuaca, fluktuasi unsur iklim/cuaca juga dipengaruhi oleh faktor lingkungan lainnya.

C. Hubungan Suhu dan Kelembapan Tanah dengan Pertumbuhan Tanaman

Pengaruh suhu tanah sebagai faktor lingkungan sangat penting terhadap kelangsungan hidup tanaman bila dibandingkan dengan suhu udara. Suhu tanah cepat sekali berubah terhadap radiasi matahari yang datang, terutama pada permukaan tanah, demikian juga keadaan topografi. Di dataran rendah suhu tanah lebih tinggi daripada dataran tinggi. Suhu tanah pada lereng gunung atau bukit yang menghadap matahari pagi berbeda dengan yang menghadap utara atau selatan dan akan mempengaruhi tanaman.

Suhu tanah berkaitan dengan kedalaman akar tanaman. Fluktuasi suhu di dalam tanah akan mempengaruhi kegiatan akar tanaman dalam menghisap air, terutama pada tanaman yang mempunyai akar dangkal. Untuk tanaman muda maka gelombang suhu tanah terutama daur suhu harian akan berpengaruh pada aktivitas akar karena gelombang suhu harian mempunyai amplitudo yang cukup besar.

Menurut Kartasapoetra (2004), suhu tanah berpengaruh pada tanaman. Pengukuran biasanya dilakukan pada kedalaman 5 cm, 10 cm, 20 cm, 50 cm, dan 100 cm. Pengaruh utama suhu tanah terhadap tanaman, yaitu pada perkecambahan biji, aktivitas mikroorganisme, dan perkembangan penyakit tanaman. Pengaruh lainnya adalah pada aktivitas akar, percepatan dan lamanya pertumbuhan tanaman dan penyakit-penyakit tanaman. Suhu tanah yang ekstrim tinggi berpengaruh jelek pada akar dan dapat merusak batang. Suhu yang rendah menghambat pengambilan mineral hara tanaman. Pada suhu tanah yang rendah umumnya tanaman menjadi kerdil. Suhu tanah yang tidak sesuai selama pertumbuhan tanaman dapat menghambat atau menghancurkan pertanaman.

Karyati dan Ardianto (2016) menyatakan bahwa di dalam dan luar hutan terdapat perubahan atau fluktuasi suhu tanah pada kedalaman

yang berbeda, yaitu 5 cm, 10 cm, 20 cm dan 30 cm. Suhu tanah di dalam hutan lebih rendah daripada suhu tanah di luar hutan. Semakin dalam lapisan tanah, maka suhu tanah maksimum pada kedalaman berbeda akan tercapai beberapa waktu kemudian atau mengalami keterlambatan beberapa jam dibandingkan suhu udara. Assholihat dkk. (2019) menambahkan suhu tanah rata-rata pada kedalaman berbeda di hutan sekunder memiliki nilai terendah, diikuti oleh pemukiman penduduk dan lahan terbuka. Sedangkan kelembaban tanah menunjukkan semakin bertambah kedalaman kelembaban akan bertambah, kelembaban tanah terendah dimiliki lahan lahan terbuka diikuti oleh hutan sekunder muda dan pemukiman penduduk.

Karyati dkk. (2018) melaporkan suhu tanah tertinggi terukur pada lahan revegetasi umur 3 tahun, sedangkan suhu tanah terendah terukur pada lahan revegetasi umur 7 tahun, baik pada kedalaman tanah 10 cm maupun 20 cm. Sebaliknya kelembapan udara tertinggi dan terendah masing-masing terjadi pada lahan revegetasi berumur 7 tahun dan 3 tahun. Pertumbuhan tanaman pada revegetasi berbeda umur yang dilakukan pada areal pasca tambang berpengaruh terhadap fluktuasi iklim mikro, terutama suhu dan kelembapan tanah. Variasi suhu dan kelembapan tanah terjadi pada kedalaman tanah dan umur tanaman berbeda.

IV. PENGARUH ANGIN DALAM PERTUMBUHAN HUTAN

A. Angin dalam Pertumbuhan Tanaman

Angin secara tidak langsung mempunyai efek sangat penting pada produksi tanaman pangan melalui angkutan air dan suhu udara. Energi angin merupakan perantara dalam penyebaran tepung sari dan pembenihan alamiah yang diperlukan dalam tanaman, juga diperlukan dalam tanaman pangan tertentu, tetapi angin dapat merusak jika menyebarkan benih rumput liar atau jika terjadi pembuahan silang yang tidak diinginkan. Angin yang kencang dapat mengganggu aktifitas penyerbukan oleh serangga. Angin dapat membantu dalam menyediakan karbon dioksida untuk pertumbuhan tanaman, selain itu juga mempengaruhi suhu dan kelembapan tanah (Tjasyono, 1999).

Suatu gap dalam suatu jalur pengaman (*shelter belt*) sangat mengurangi efektivitasnya. Pergerakan angin terjadi dan velositas angin rata-rata dalam satu lapangan tertutup tidak berbeda jauh dari padang rumput terbuka. Saat satu jaringan jalur pengaman direncanakan, itu bahkan penting pada jalan tidak berbentuk koridor lurus panjang (Munn, 1966). Pengalaman menunjukkan bahwa efisiensi penahan angin (*windbreak*) meningkat dengan peningkatan permeabilitas. Area yang dilindungi secara efektif akan meningkat dan pergerakan turbulensi kotor yang dihasilkan dari angin bagian atas penahan angin akan berkurang (Rosenberg, 1967).

Angin juga merupakan salah satu faktor penting dalam kerusakan tanaman dan erosi. Saat musim kemarau di beberapa daerah di Indonesia terdapat angin semacam Fohn yang dapat merusak tanaman karena angin ini bersifat kering dan panas. Di Indonesia angin laut pada siang hari menyebabkan masalah karena angin ini membawa butiran-butiran garam yang dapat menempel pada daun tanaman dan merusaknya. Angin memegang peranan penting dalam penyebaran

spora dan menjadi penyebab dari berbagai penyakit tanaman. Angin yang terlalu kencang dan kering akan mempengaruhi produksi tanaman pangan (Tjasyono, 1999).

Pengertian kecepatan angin biasanya dikaitkan dengan besarnya dan tidak bergantung pada arah. Angin mempengaruhi laju transpirasi, laju evaporasi, dan ketersediaan karbon dioksida di udara. Tanaman akan mengalami kemudahan dalam mengambil karbon dioksida di udara pada kecepatan udara antara 0,1 hingga 0,25 m/s. American Society of Agricultural Engineering merekomendasikan kecepatan angin dalam budidaya tanaman tidak melebihi 1 m/s. Pengendalian kecepatan angin dapat dilakukan jika budidaya dilakukan dalam *green house* dengan ventilasi yang tidak terlalu terbuka serta dinding yang kedap udara (Anonim, 2014a).

B. Karakteristik Angin dalam Komunitas Hutan

Hutan sangat berpengaruh dalam pengurangan kecepatan angin yang berhembus keras dari areal terbuka. Kelebatan tajuk-tajuk individu hutan dengan spesies tegakan toleran hutan campuran, terutama tegakan yang mempunyai tajuk lebar, berpengaruh lebih besar terhadap hembusan angin daripada tegakan intoleran yang spesiesnya tinggi dan bertajuk sempit. Angin berhembus lebih besar di bagian kanopi dibanding dengan yang di bawahnya. Hal ini disebabkan pada tumbuh-tumbuhan di bawah kanopi terdapat cabang dan ranting yang mempunyai kerapatan terbesar.

Hasil percobaan Fons (1940) membuktikan bahwa hembusan angin akan semakin turun drastis dari kanopi ke daerah bawahnya seiring dengan ketinggian pohon tersebut. Kecepatan angin pada ketinggian 43 meter didapatkan 4,5 meter per 2 detik berkurang menjadi 1,7 meter per 2 detik pada ketinggian 21 meter. Secara persentase juga didapat bahwa penurunan hembusan tajam 15% terjadi di antara tajuk

sebesar 4,5 meter per 2 detik dan 24% hembusan didapat 2,2 meter per 2 detik.

Bertiupnya angin keras akan menaikkan penguapan (transpirasi) pada pohon, sehingga daun pohon tersebut akan mempunyai tajuk asimetris karena terjadi penguapan keras. Penguapan pada daun-daun tumbuhan terjadi pada bagian permukaan luar dinding sel-sel mesophil, yaitu pada sel-sel yang membentuk bagian dalam setiap daun tumbuhan. Air menguap dari dinding sel basah ke bagian ruang interseluler melalui stomata dan menuju udara luar dalam bentuk uap. Hal ini terjadi sepanjang tekanan uap udara luar lebih kecil dari tekanan yang ada di ruang interseluler.

Daun selain menampung panas dari sinar matahari juga menerima panas dari gesekan angin yang bersuhu hangat. Sumber ini umumnya didapat dari daerah kering atau sedang, yang merupakan hasil serapan/pantulan pantai atau anak sungai dari panas sinar matahari. Tumbuhan yang banyak menerima akibat ini adalah tumbuhan yang hidup di pantai atau anak sungai. Begitu pula dataran tinggi yang membawa angin kering yang dipaksa naik seringkali membawa angin kering sisa dari kelembapan yang telah diserap oleh daerah dibawahnya.

C. Dampak Positif dan Negatif Angin terhadap Tanaman

Secara luas angin akan mempengaruhi unsur cuaca seperti suhu yang optimum di mana tanaman tumbuh dan berproduksi dengan sebaik-baiknya, kelembapan udara yang berpengaruh terhadap penguapan permukaan tanah dan penguapan permukaan daun, maupun pergerakan awan, membawa uap air sehingga udara panas menjadi sejuk dan juga membawa gas-gas yang sangat dibutuhkan oleh pertumbuhan dan perkembangan tanaman.

Menurut Kartasapoetra (1993), pengaruh angin terhadap tanaman antara lain:

1. Mempercepat hilangnya air dan cenderung mengeringkannya.

2. Membantu pengenalan tepung sari/pembuahan.
3. Mendorong penyebaran penyakit.

Ditinjau dari segi keuntungannya angin sangat membantu dalam penyerbukan tanaman, angin akan membawa serangga penyerbuk lebih aktif, membantu terjadinya persarian bunga dan pembenihan alamiah. Sedangkan pada keadaan kecepatan angin kencang, kehadiran serangga penyerbuk menjadi berkurang sehingga akan berpengaruh terhadap keberhasilan pengangkaran benih dan akan menimbulkan penyerbukan silang.

Dilihat dari segi kerugiannya, angin yang kencang dapat menimbulkan bahaya dalam penyerbukan, karena angin bijinya tidak bisa menjadi murni, sehingga tanaman perlu diisolasi. Selain itu, juga dapat menyebarkan hama penyakit seperti perkembangan jamur. Perkembangan penyakit sangat tergantung pada cuaca. Keadaan cuaca yang sangat lembap sangat menguntungkan bagi perkembangan jamur. Serangan patogen cenderung akan meluas bila kelembapan tinggi. Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa patogen dipencarkan oleh angin.

Tantawi (2007) mengemukakan bahwa pemencaran konidium pada satu musim tanam tembakau di Jember didukung oleh peningkatan kecepatan angin dan penurunan kelembapan udara. Pada bulan kering maupun bulan lembap, peningkatan kecepatan angin yang diikuti dengan menurunnya kelembapan udara akan mendukung pemencaran konidium. Berdasarkan data aktual untuk memencarkan konidium hanya memerlukan kecepatan angin 0,28 m/detik pada suhu 25°C.

Selain sebagai penyebar patogen, angin juga mempengaruhi peningkatan jumlah luka pada tanaman inang dan dapat pula mempercepat pengeringan permukaan tanah yang basah. Penyebaran penyakit yang sangat cepat dimungkinkan karena adanya angin baik secara langsung atau tidak langsung melalui vektor yang dapat terbawa angin dalam jarak jauh. Selain itu karena hembusan keras angin atau

karena saling bersinggungan antar tanaman atau melalui pasir yang diterbangkan juga dapat menyebabkan permukaan tanaman terluka dan hal ini memungkinkan terjadinya infeksi.

Banyak jamur parasit yang penyebarannya terutama dilakukan oleh angin, karena jamur membentuk dan membebaskan spora ke udara dalam jumlah yang tidak terhitung, mempunyai ukuran yang kecil dan ringan sekali, sehingga mudah diangkut oleh angin dalam jarak jauh. Meskipun spora-spora jamur pada umumnya terdapat dalam lapisan udara di dekat tanah, di lapisan udara yang paling tingginya ribuan meter pun masih terdapat spora.

Pada kenyataannya penyakit tertentu hanya dapat disebarkan oleh angin pada jarak pendek, bahkan sering sangat pendek. Pada umumnya spora akan mati karena kekeringan dan sinar matahari pada waktu disebarkan jarak jauh itu, sedangkan pada waktu mengendap tidak tepat jatuh pada tumbuhan atau bagian yang rentan. Semakin cepat anginnya maka spora yang akan tersebarpun akan semakin jauh keberadaannya.

Angin hampir tidak bisa dikendalikan. Perlu adanya suatu pengelolaan lingkungan karena adanya pengaruh angin yang sangat kompleks ini. Salah satu upaya yang dapat dilakukan yaitu menghindari adanya pengaruh yang tidak dikehendaki, misalnya penanaman tanaman sejenis agar tidak terjadi penyerbukan silang. Namun jika permasalahan penyebaran patogen, maka usaha yang dapat dilakukan yaitu pengendalian sedini mungkin agar mengurangi jumlah patogen yang dapat disebarkan oleh angin. Selain itu, dapat pula menggunakan tanaman pematah angin, agar laju dan arah angin dapat sedikit dikendalikan seperti menanam pohon penahan angin yang dapat menjamin perlindungan sejauh 15-20 kali tinggi pohon pelindung. Misalnya tinggi pohon 10 meter, tanaman sejauh 150-200 meter dapat dilindungi, sehingga memperlambat kecepatan angin. Dengan adanya pematah angin, maka laju dan arah angin menuju pertanaman dapat sedikit ditekan, sehingga penyebaran patogen akan lebih kecil.

V. PRESIPITASI DAN EVAPOTRANSPIRASI DALAM PERTUMBUHAN TANAMAN

A. Pengaruh Presipitasi pada Pertumbuhan Tanaman

Faktor lingkungan hidup fisik terdiri dari iklim, tanah, dan air. Tanah bagi pertanian sangat erat hubungannya dengan air, karena tanah tanpa air akan sangat memungkinkan tanaman tidak dapat tumbuh (Sutedjo, 2004). Air adalah faktor yang lebih penting dalam produksi tanaman pangan dibandingkan dengan faktor lingkungan lainnya. Pemeliharaan kelembapan tanah merupakan masalah yang sangat mendesak dalam pertanian, hal ini karena tanaman pangan memperoleh persediaan air melalui sistem akar. Jumlah air berlebihan di dalam tanah akan mengubah berbagai proses kimia dan biologis yang membatasi jumlah oksigen dan meningkatkan pembentukan senyawa yang beracun pada akar tanaman.

Curah hujan membantu dalam menentukan pembagian jenis tanaman yaitu hutan, semak, padang rumput, atau gurun. Setiap tanaman membutuhkan air yang berbeda-beda. Menurut kebutuhan air, tanaman dibagi menjadi tiga kelompok utama yaitu :

1. Hygrophytes : tanaman yang hidup dalam kondisi jumlah air banyak, misalnya bakau.
2. Mesophytes : tanaman yang membutuhkan air dalam jumlah sedang, seperti halnya pada tanaman umumnya.
3. Xerophytes : tanaman yang hidupnya disesuaikan dengan keadaan air. Untuk mengimbangi efek kekeringan ini maka daun dilapisi lilin untuk mengurangi transpirasi kulit pohon menjadi tebal dan sistem akar menjadi dalam.

Curah hujan lebat dapat merusak tanaman secara langsung atau mengganggu pembungaan dan penyerbukan. Curah hujan memegang peranan dalam pertumbuhan dan dalam produksi tanaman pangan. Hal

ini disebabkan air sebagai pengangkut unsur hara dari tanah ke akar dan diteruskan ke bagian-bagian lainnya.

B. Evapotranspirasi dan Pertumbuhan Tanaman

Peristiwa berubahnya air menjadi uap dan bergerak dari permukaan tanah dan permukaan air ke udara disebut evaporasi (penguapan). Air dalam tanah juga dapat naik ke udara melalui tumbuh-tumbuhan. Peristiwa penguapan melalui tumbuhan ini disebut transpirasi (Sosrodarsono dan Takeda, 1999). Transpirasi merupakan penguapan air yang berasal dari jaringan tumbuhan melalui stomata (Lakitan, 1994). Menurut Manan dan Suhardianto (1999), transpirasi adalah proses hilangnya air ke atmosfer melalui mulut daun (stomata). Kedua peristiwa ini secara bersama-sama disebut evapotranspirasi.

Besarnya transpirasi berbeda-beda, tergantung dari kadar kelembaban tanah dan jenis tumbuh-tumbuhan. Secara umum banyaknya transpirasi yang diperlukan untuk menghasilkan 1 gram bahan kering disebut laju transpirasi dan dinyatakan dalam gram. Besar laju transpirasi di daerah yang lembab kira-kira sebesar 200 hingga 600 gram, sedangkan untuk daerah kering kira-kira dua kali nilai tersebut (Sosrodarsono dan Takeda, 1999).

Cara menduga besarnya evapotranspirasi dapat diukur langsung ataupun memakai perhitungan dari unsur iklim yang mempengaruhi evaporasi. Cara pengukuran langsung memakai lysimeter. Ada 2 (dua) macam lysimeter, yaitu lysimeter drainase dan lysimeter timbang. Jumlah air hujan atau air siraman dapat diketahui dalam satuan mm, demikian juga yang merembes (perkolasi) melalui kran di bagian bawah lysimeter. Air yang tidak terukur ialah air yang hilang melalui evaporasi dari permukaan tanah dan transpirasi melalui mulut daun. Melalui perhitungan neraca air jumlah evapotranspirasi dapat diketahui (Manan dan Suhardianto, 1999).

Dengan keterlibatan tumbuhan maka air pada lapisan tanah yang lebih dalam dapat diuapkan setelah terlebih dahulu diserap oleh sistem perakaran tumbuhan tersebut. Tanpa peranan tumbuhan, hanya air pada permukaan saja yang dapat diuapkan. Pada kondisi tanah yang berkecukupan air, sebagian besar air (dapat mencapai 95%) yang diserap akar akan diuapkan ke atmosfer melalui proses transpirasi. Laju transpirasi ditentukan selain oleh masukan energi yang diterima tumbuhan dan perbedaan potensi air antara rongga sub-stomatal dengan udara di sekitar daun, juga akan ditentukan oleh daya hantar stomata. Daya hantar stomata merupakan ukuran kemudahan bagi uap air untuk melalui celah stomata. Daya hantar stomata ini akan ditentukan oleh besar-kecilnya bukaan celah stomata (Lakitan, 1994).

Tanaman yang banyak mengalami transpirasi memerlukan air yang diambil melalui akar dari dalam tanah. Tanaman yang tumbuh di air seperti teratai dan enceng gondok menghisap air melalui akar-akar yang berada dalam air. Gabungan kedua proses hilangnya air melalui evaporasi di permukaan air dan transpirasi melalui daun disebut evapotranspirasi. Evapotranspirasi terjadi juga pada tanaman yang tumbuh pada lahan seperti padang rumput, pertanaman jagung, hutan tanaman ataupun hutan lindung.

Beberapa faktor yang mempengaruhi laju transpirasi adalah (Lakitan, 2007):

1. Faktor-faktor internal yang mempengaruhi mekanisme buka-tutup stomata.
2. Kelembapan udara sekitar tanaman.
3. Suhu udara.
4. Suhu daun tanaman.

Lakitan (2007) menambahkan bahwa angin dapat pula mempengaruhi laju transpirasi. Angin dapat memacu laju transpirasi, jika udara yang bergerak melewati permukaan daun tersebut lebih kering (kelembapan nisbinya lebih rendah) dari udara di sekitar tumbuhan

tersebut Meskipun beberapa jenis tumbuhan, seperti tumbuhan yang hidup di air, misalnya berbagai jenis ganggang, dapat hidup tanpa melakukan transpirasi, tetapi jika transpirasi berlangsung pada tumbuhan agaknya dapat memberikan beberapa keuntungan bagi tumbuhan tersebut, misalnya dalam hal:

1. Mempercepat laju pengangkutan unsure hara melalui pembuluh xylem.
2. Menjaga turgiditas sel tumbuhan agar tetap pada kondisi optimal.
3. Sebagai salah satu cara untuk menjaga stabilitas suhu daun.

Besarnya evapotranspirasi tergantung dari faktor-faktor iklim, jenis tanaman, jenis tanah dan topografi. Air yang hilang melalui evapotranspirasi perlu diperhitungkan agar tanaman tidak mengalami kekurangan air. Evapotranspirasi maksimum dapat terjadi dari lahan yang ditumbuhi tumbuhan rapat, daun-daun menutupi tanah dan tanah dalam kapasitas lapang (Manan dan Suhardianto, 1999).

Saat berlangsungnya proses transpirasi, sinar matahari dan suhu mempengaruhi keadaan tanah dan air yang saling berkaitan. Hal ini dikarenakan juga karena proses transpirasi merupakan kelanjutan dari proses fotosintesis. Transpirasi sendiri adalah proses paling lengkap yang diatur oleh situasi secara meteorologis di mana kondisi dalam tumbuhan tergantung dari air dan tanah. Tanah akan menjadi lebih porous dengan terjadinya transpirasi, sehingga berkemampuan untuk menyerap air lebih besar. Apabila transpirasi meningkat berarti intensitas suhu yang berupa panas juga bertambah tinggi di siang hari. Kerapatan tajuk dan tumbuhan lantai hutan sangat efektif untuk mengurangi penguapan, karena adanya penauangan permukaan di bawahnya dari pengaruh-pengaruh sinar matahari dan angin. Pengaruh tersebut akan menaikkan tingkat permukaan yang aktif sehingga terjadi pertukaran energi di atas tingkat konsentrasi air di dalam tanah. Hal ini akan berlanjut dengan pengurangan proses evaporasi secara drastis pada

tingkat yang lebih rendah (Arief, 1994). Transpirasi untuk beberapa species berbeda disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Transpirasi Setiap Tahun pada Spesies yang Berbeda di Pulau Jawa dengan Curah Hujan 3.000-4.000 mm

Spesies	Transpirasi (mm)		
	Tinggi	Rata-rata	Rendah
<i>Leucaena glauca</i>	4000	3000	
<i>Crotalaria anagyroides</i>		2300	
<i>Tephrosia maxima</i>	3100	2200	
<i>Euphatorium pallascens</i>	2900	1800	1000
<i>Acasia villosa</i>	2400	1600	
<i>Paraserienthes falcata</i>	2300	1500	
<i>Tectona grandis</i>	1400	1000	800
Semak-semak		130	
Pohon dan belukar		740	

Sumber: Coster (1937) dalam Arief (1994)

Pohon-pohon yang mengalami penguapan keras, antara lain *Falcataria moluccana* (Sengon), *Leucaena glauca* (Lamtara/Kemlandingan), *Lantana camara* (Tembelekan) dan *Piper aduncum* (Sirihan). Sedangkan yang mengalami penguapan sedang, adalah *Tectona grandis* (Jati), *Hevea brazilliensis* (Karet), *Imperata cylindrica* (Alang-alang), *Artocarpus integra* (Nangka), dan *Coffea robusta* (Kopi robusta). Di daerah pantai terbuka, angin memberikan pengaruh yang mencolok pada fisiognomi pepohonan dan semak. Hal ini disebabkan adanya pengaruh pengeringan dari angin yang mengandung garam terhadap sisi lain dari pepohonan, sehingga pepohonan berkembang bagai pangkas. Angin kering apabila berhembus dalam jangka waktu pendek setiap tahunnya ternyata mampu mengurangi kelembapan wilayah vegetasi.

Hutan yang berada di daerah pesisir mampu mencegah serbuan kabut berair dengan melewati daerah terbuka dan dihambat oleh tumbuh-tumbuhan hutan yang hidup di bawah pohon tinggi tersebut, misalnya: *Falcataria moluccana* (Sengon), *Tectona grandis* (Jati), *Pinus merkusii* (Pinus), Eucalyptus, Casuarina dan Schima. Sedangkan yang toleran contohnya adalah *Swietenia macrophylla* (Mahoni), Scheichera,

Dalbergia latifolia (Sonokeling), *Eugenia*, *Agathis*, dan *Leucaena glauca* (Lamtara/Kemlandingan) (Arief, 1994).

VI. KESESUAIAN JENIS IKLIM, VEGETASI DAN TANAH

A. Hubungan Iklim, Vegetasi dan Tanah

Berbagai kegiatan manusia seperti pembukaan lahan-lahan baru, percobaan agronomi (radiasi dan neraca air), kultur teknik dan lain sebagainya sangat memerlukan data dasar iklim dengan harapan segala kegiatan dapat berlangsung dengan mencapai keberhasilan (Kartasapoetra dkk., 2000). Di dalam pertanian, kehutanan dan perkebunan, pemeliharaan pertama terhadap tanaman yang baru tumbuh adalah sangat penting, karena tanaman muda masih lunak terutama peka terhadap kondisi iklim. Pada mulanya tanaman hanya dipengaruhi oleh iklim mikro saja, namun kemudian lambat laun dipengaruhi oleh iklim meso dan iklim makro. Karena itu sebelum memperhatikan tanaman muda, perlu mengetahui lebih dulu iklim setempat agar dapat dicapai hasil yang maksimal. Unsur-unsur iklim yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman ialah curah hujan, suhu, angin, sinar matahari, kelembapan, dan evapotranspirasi (penguapan dan transpirasi) (Tjasyono, 1999).

Di Indonesia, perhatian dan kerjasama antara para ahli klimatologi dengan ahli pertanian semakin meningkat terutama dalam rangka menunjang produksi tanaman pangan. Daya hasil beberapa tanaman pangan di Indonesia masih rendah jika dibandingkan dengan negara-negara maju seperti Jepang dan Amerika Serikat. Perbedaan ini disebabkan oleh pemakaian teknologi tinggi dan pengelolaan yang baik. Peningkatan produksi tanaman pangan selain dengan panca usaha tani juga dilakukan dengan pemanfaatan iklim (Anonim, 2014b). Untuk mencapai keberhasilan sistem pertanian diperlukan pengetahuan tentang *site spesies matching* yang diartikan sebagai kesesuaian tempat tumbuh dengan jenis tanaman atau/vegetasi. SFMP (1999) menjelaskan ada dua faktor penentu kesesuaian tempat tumbuh dengan jenis tanaman yaitu

faktor tapak dan faktor vegetasi yang saling berkaitan dan saling mempengaruhi. Tapak adalah tempat tumbuh vegetasi yang dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya yaitu faktor iklim, faktor fisiografis, faktor edafis, dan faktor biotik.

Pengaruh-pengaruh iklim yang terdapat di Indonesia, di satu pihak iklim yang demikian cocok bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman-tanaman sedang di lain pihak unsur-unsur iklim pula yang menjadikan demikian kurangnya unsur-unsur hara dan zat-zat makanan yang tersedia dalam tanah melalui proses-proses pengangkutan atau penghanyutan telah mendorong berbagai upaya dengan perlakuan-perlakuan yang kerap kali kurang dipikirkan secara matang/mantap, agar tanaman-tanaman tersebut dapat dikembangkan sedemikian rupa (Kartasapoetra, 1993). Unsur-unsur iklim yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman ialah curah hujan, suhu, angin, sinar matahari, kelembapan dan evapotranspirasi (penguapan dan transpirasi) (Tjasjono, 1999).

Hal terpenting yang harus diperhatikan dalam pengembangan tanaman sayuran adalah pemilihan varietas tanaman sayuran yang sesuai dengan kondisi agroekologi yang dimiliki. Selain faktor iklim, keadaan tanah juga sangat mempengaruhi pertumbuhan dan produksi tanaman sayuran (Anonim, 2014c). Hasil suatu jenis tanaman bergantung pada interaksi antara faktor genetik dan faktor lingkungan seperti jenis tanah, topografi, pengelolaan, pola iklim dan teknologi. Dari faktor lingkungan, maka faktor tanah merupakan modal utama. Keadaan tanah sangat dipengaruhi oleh unsur-unsur iklim, yaitu hujan, suhu dan kelembapan. Pengaruh itu kadang menguntungkan tapi tidak jarang pula merugikan. Berbeda dengan faktor tanah yang telah banyak dipelajari dan difahami, cuaca dan iklim merupakan salah satu peubah dalam produksi pangan yang paling sukar dikendalikan (Anonim, 2014b).

Iklim adalah salah satu faktor paling penting yang menentukan pertumbuhan tanaman (Fageria dkk., 1997). Nakasone and Paull (1998)

menyebutkan bahwa curah hujan adalah pembatas utama untuk pertumbuhan tanaman di wilayah tropik. Pertumbuhan tanaman sepanjang tahun di wilayah tropik secara umum hanya dibatasi oleh ketersediaan kelembapan. Sedangkan Harris (1992) mengemukakan bahwa secara umum curah hujan dan suhu udara adalah faktor iklim pembatas yang paling berpengaruh dalam distribusi dan pembentukan tanaman.

Faktor-faktor iklim akan menentukan variasi tanaman hutan, yang juga berhubungan dengan keadaan atmosfer yang ditentukan oleh sinar matahari, suhu, angin dan kelembapan. Disamping itu, suhu akan menurun mengikuti ketinggian pegunungan. Di daerah tropika, misalnya, suhu rata-rata menurun sekitar 0,4-0°C untuk setiap kenaikan 100 meter. Di atas ketinggian 30 meter, kelembapan menurun dari 45% di waktu malam, dan akan naik menjadi 60% pada waktu matahari terbit. Sedangkan suhu menjadi tinggi, dari 22°C di malam hari menjadi 32°C siang hari. Hal ini akan memunculkan pembagian beberapa batasan (zona) dan spesies yang berubah mirip di daerah iklim sedang. Jika suhu melampaui batas minimum dan maksimum, pertumbuhan dan perkembangan pohon justru terhenti. Di antara 2 batas tersebut terdapat suhu yang sesuai bagi pohon, dimana pohon satu dengan pohon yang lainnya membutuhkan suhu optimum yang berbeda-beda untuk mampu tumbuh dan berkembang dengan baik (Arief, 1994).

Suhu mempunyai pengaruh besar terhadap proses metabolisme pada pohon, sehingga susunan jenis vegetasi pun turut dipengaruhi oleh suhu. Tumbuh-tumbuhan rumput (stepa) dan hutan serta gunung akan dijumpai pada daerah bersuhu tinggi, tetapi susunan jenis antara tempat satu dengan lainnya berbeda jauh. Harris (1992) menyatakan pemilihan tanaman yang dapat beradaptasi dengan baik terhadap persyaratan tapak dan memenuhi fungsi lanskapnya adalah sangat penting untuk keberhasilan penanaman dan memudahkan dalam perawatan. Ditambahkan bahwa suatu pengertian hubungan antara tanaman, tanah,

nutrisi, dan air adalah penting. Menurut Salunkhe dan Deshpande (1991), tiga faktor pembatas pertumbuhan utama yang menggambarkan hubungan kompetitif antara komponen tanaman dalam suatu sistem penanaman meliputi penyinaran, air, dan ketersediaan unsur hara tanah.

Pancel (1993) menjelaskan tiga pertimbangan dalam menyeleksi jenis tanaman dalam kegiatan penanaman, yaitu tujuan penanaman, karakteristik jenis yang memungkinkan, dan karakteristik lahan penanaman. Tujuan penanaman menyangkut pemanfaatan jenis tanaman yang dipilih seperti untuk kayu industri, kayu bahan bakar, konservasi, perlindungan, dan lain-lain. Karakteristik jenis tanaman yang memungkinkan termasuk tingkat pertumbuhan, panjang rotasi, bentuk dan ukuran tanaman, ketersediaan bibit, kemudahan dan pengembangan pembiakan, dan lain-lain. Sedangkan lahan penanaman meliputi faktor biotik, tanah, dan unsur iklim.

Pengaruh beberapa unsur iklim terhadap tanah dan tanaman disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengaruh Unsur Iklim terhadap Tanah dan Tanaman

Unsur	Terhadap Tanah	Terhadap Tanaman
Hujan	<ul style="list-style-type: none"> - Melakukan pengikisan dan pencucian. - Mendorong penggumpalan tanah liat. 	<ul style="list-style-type: none"> - Hakiki bagi persediaan air. - Memungkinkan timbulnya kerugian fisik.
Suhu	<ul style="list-style-type: none"> - Mendorong pemecahan zat-zat/bahan-bahan organis. - Meningkatkan pelarutan mineral dan zat-zat yang mengandung nitrogen. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mendorong pertumbuhan dan perkembangan. - Mempercepat hilangnya air dan cenderung mengeringkannya.
Kelembapan	<ul style="list-style-type: none"> - Melambatkan pengeringan. - Mendorong pemecahan zat-zat/bahan-bahan 	<ul style="list-style-type: none"> - Mendorong pertumbuhan. - Membatasi hilangnya air bagi pertumbuhan.

Unsur	Terhadap Tanah	Terhadap Tanaman
	<ul style="list-style-type: none"> organis. - Mendorong mikroorganisme. - Mendorong pelarutan-pelarutan. 	<ul style="list-style-type: none"> - Memungkinkan mudahnya timbul penyakit.
Sinar matahari	<ul style="list-style-type: none"> - Menaikkan suhu permukaan. - Mendorong terjadinya penguapan –penguapan. 	<ul style="list-style-type: none"> - Menaikkan suhu permukaan. - Mendorong terjadinya penguapan – penguapan.
Angin	<ul style="list-style-type: none"> - Mendorong terkikisnya tanah yang terbuka. - Mendorong terjadinya pengeringan. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mempercepat hilangnya air dan cenderung mengeringkannya. - Membantu pengenaan tepung sari/pembuahan. - Mendorong penyebaran penyakit.
Debu	<ul style="list-style-type: none"> - Melakukan pengendapan - Memungkinkan tertutupnya pori-pori dalam tanah. 	<ul style="list-style-type: none"> - Memungkinkan timbulnya kerugian fisik.

Sumber: Kartasapoetra (1993)

Sejumlah karakteristik tanah mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Diantaranya tekstur tanah, struktur tanah, dan kedalaman tanah. Reaksi tanah secara umum mempengaruhi pertumbuhan tanaman secara tidak langsung melalui pengaruhnya terhadap daya larut ion-ion dan aktivitas mikroorganisme (Harris, 1992). Tanah yang ideal adalah tanah yang subur, gembur, banyak mengandung bahan organik, memiliki aerasi dan drainase yang baik, bukan merupakan habitat hama dan penyakit, serta memiliki kisaran pH antara 5,0–6,5 (Anonim, 2014c).

Menurut Karyati (2014a), secara umum kebutuhan iklim yang sesuai untuk beberapa jenis sayur-sayuran adalah pada curah hujan

500-2500 mm/tahun, suhu udara 15-30°C, dan kelembapan relatif 50-80%. Beberapa jenis tanaman sayur-sayuran dapat hidup baik pada tanah-tanah dengan pH 4,5-8,0. Sedangkan beberapa jenis tanaman buah-buahan dapat tumbuh baik pada daerah dengan kisaran curah hujan 500-3000 mm/tahun, suhu udara 15-34°C, dan kelembapan relatif 70-90%. Beberapa jenis tanaman buah-buahan memerlukan persyaratan tanah dengan pH berkisar 4,0-8,5 (Karyati, 2014b). Ditambahkan, beberapa jenis tanaman tahunan, baik jenis tanaman perkebunan maupun tanaman kehutanan memerlukan kisaran curah hujan tahunan 500-3000 mm/tahun, suhu udara bulanan 15-34°C, kelembapan relatif bulanan 70-90%, dan pH 4,0-8,5 (Karyati, 2014c).

B. Persyaratan Iklim dan Tanah Beberapa Jenis Tumbuhan

Ringkasan persyaratan unsur iklim dan tanah beberapa jenis tanaman sayur-sayuran, buah-buahan, tanaman perkebunan, dan tahunan disajikan pada Tabel 3, 4, 5, dan 6.

Tabel 3. Persyaratan Iklim dan Tanah Beberapa Jenis Tanaman Sayur-sayuran

No.	Jenis tanaman (species)	Nama lokal	Famili	Persyaratan iklim			Persyaratan tanah		Sumber
				Curah hujan (mm/thn)	Suhu udara (°C)	Kelembapan relatif (%)	Tekstur tanah	pH	
1	<i>Amaranthus gangeticus</i> L.	Bayam	Amaranthaceae		22-30			6.0-6.8	1, 3, 10
2	<i>Ananas comosus</i> (L.) Merr	Nanas	Bromeliaceae	635-2500	21-27		LS,SL	4.5-5.9	5
3	<i>Arachis hypogaea</i> L.	Kacang tanah	Fabaceae	100-300*	25-35	> 60	L,CL,SCL,SL	4.5-6.5	6, 12, 15
4	<i>Brassica chinensis</i> var. <i>Papachinensis</i>	Sawi	Cruciferae		18-25			6.0-6.8	1, 3
5	<i>Brassica juncea</i> L.	Sawi pahit	Cruciferae		18-25			5.5-6.5	1, 3
6	<i>Brassica oleracea</i> L.	Kubis	Cruciferae		18-25		Tanah berpasir hingga berliat	6.0-6.8	1, 3, 12
7	<i>Cajanus cajan</i> (L.) Millsp.	Kacang gude	Fabaceae	< 650	18-29	50-85	Semua jenis tanah		8, 11
8	<i>Capsicum frutescens</i> L.	Lombok	Solanaceae		22-30	50-80	SiL,SL,SCL	5.5-7.0	6, 10
9	<i>Cymbopogon fiexuoso</i>	Serai	Gramineae	1000-2500	21-35	50-80	SL,SCL,L	5.0-6.5	13
10	<i>Glycine max</i> L.Merr.	Kedelai	Fabaceae	100-400*	15-28	50-80	L,SCL,CL,SL	4.5-7.0	4, 12
11	<i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam	Ubi jalar	Convolvulaceae	500-1000	20-30		S, SL	5.0-6.8	3, 10, 12

No.	Jenis tanaman (species)	Nama lokal	Famili	Persyaratan iklim			Persyaratan tanah		Sumber
				Curah hujan (mm/thn)	Suhu udara (°C)	Kelembapan relatif (%)	Tekstur tanah	pH	
12	<i>Ipomoea reptans</i> L.	Kangkung	Convolvulaceae		18-25		Tanah berliat	6.0-6.8	1, 3
13	<i>Lactuca sativa</i> L.	Daun salad	Compositae		18-25		SL	6.0-6.8	1, 3
14	<i>Lycopersicon esculentum</i> L.	Tomato	Solanaceae		20-25		Berbagai jenis tanah	5.8-6.8	1, 3, 12
15	<i>Mamordica charantia</i> L.	Pare, peria	Cucurbitaceae	1000-2500	22-35	50-80	L,CL,SL,SCL	5.0-6.0	6
16	<i>Manihot esculenta</i> Crantz.	Singkong,	Euphorbiaceae		25-27		Hampir semua jenis tanah		3, 10
17	<i>Nasturtium officinale</i> var. <i>microphyllum</i> (Boenn ex. Reich)	Selada air	Cruciferae					6.5-7.5	1
18	<i>Phaseolus aconitifolius</i> Jacq.		Fabaceae	500-750	21-28		Tanah sedikit berpasir	5.0-8.1	11
19	<i>Phaseolus aureus</i> Roxb.	Kacang hijau	Fabaceae	700-900	8-28		Loamy, alluvial	4.3-8.1	11
20	<i>Phaseolus calcaratus</i> L.	Kacang uci	Fabaceae	1000-1500	18-30			6.8-7.5	1
21	<i>Phaseolus lunatus</i> L.	Kacang emas	Fabaceae	300-1500	9-28		Semua jenis tanah	4.5-8.4	1
22	<i>Phaseolus mungo</i> L.	Kacang hijau	Fabaceae	0-900	8-28		C, light loams	4.5-7.5	1
23	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	Kacang buncis	Fabaceae	0-2500	15-35	50-60	L,SL,SiL,CL	4.2-8.7	1,2,12,14
24	<i>Pisum sativum</i> L.	Kacang kapri	Fabaceae	800-1000	5-27	18-25	Berbagai jenis tanah	4.2-8.3	3, 11

No.	Jenis tanaman (species)	Nama lokal	Famili	Persyaratan iklim			Persyaratan tanah		Sumber
				Curah hujan (mm/thn)	Suhu udara (°C)	Kelembapan relatif (%)	Tekstur tanah	pH	
25	<i>Psophocarpus tetragonolobus</i> L. DC.	Kecipir,	Fabaceae	< 2500	15-32	50-80	Berbagai jenis tanah	4.3-7.5	6, 11, 12
26	<i>Sechium edule</i> (Jacq.) Sw.	Labu siam	Cucurbitaceae		23-34	50-80	Berbagai jenis tanah	5.0-6.5	6
27	<i>Solanum melongena</i> L.	Terong	Solanaceae		22-30	> 60	L,SCL,SL	5.0-6.0	9
28	<i>Solanum tuberosum</i> L.	Kentang	Solanaceae		16-28		Semua jenis tanah, kecuali tanah-tanah mengandung garam & alkalin	5.0-5.5	2, 12
29	<i>Vicia faba</i> L.	Kacang buncis	Fabaceae	200-1500	6-27		Toleran hampir semua tipe tanah	4.5-8.3	11
30	<i>Vigna sinensis</i> L.	Kacang panjang	Fabaceae	600-2000	25-30	> 60	L,SCL,CL,SL	4.8-5.5	6, 7
31	<i>Vigna unguiculata</i> L. Walp	Kacang merah	Fabaceae	700-1500	12-28			5.0-7.5	11
32	<i>Zea mays</i> L.	Jagung	Gramineae	1250-5000	21-34	50-80	L,SCL,SiL,Si,CL, SiCL,SL,SC,C	5.5-7.0	16

* mm/bulan ; L = Loam ; C = Clay ; S = Sand ; Si = Silt ; SiL = Silt Loam ; SL = Sandy Loam ; CL = Clay Loam ; SC = Sandy Clay ; SiC = Silty Clay ; SCL = Sandy Clay Loam ; LS = Loamy Sand ; SiCL = Silty Clay Loam

Sumber :

1. Chin, H.F. (1999); 2. Fageria, N. K., Baligar, V. C. & Jones, C. A. (1997); 3. Hazra, P. & Som, M.G. (2006); 4. Lamina (1989); 5. Nakasone, H. Y. & Paull R. E. (1998); 6. Nazaruiddin (1995) ; 7. Rukmana, R. (1995 ; 8. Rukmana, R. (1999); 9. Rukmana, R. (2000); 10. Sahadevan, N. (1987); 11. Salunkhe, D. K. & Deshpande, S. S. (1991); 12. Salunkhe, D. K. & Kadam, S.S. (1998); 13. Santoso, B. H. (1992); 14. Sitaningsih, T. & Khaerodin (2000); 15. Sumarno (1986); 16. Suprpto (1996).

Tabel 4. Persyaratan Iklim dan Tanah Beberapa Jenis Tanaman Buah-buahan

No.	Jenis tanaman (species)	Nama lokal	Famili	Persyaratan iklim			Persyaratan tanah		Sumber
				Curah hujan (mm/tahun)	Suhu udara (°C)	Kelembapan relatif (%)	Tekstur tanah	pH	
1	<i>Anacardium occidentale</i> L.	Jambu monyet	Anacardiceae	500-3500			Sebagian besar jenis tanah		6
2	<i>Ananas comosus</i> (L.) Merr	Nanas	Bromeliaceae	635-2500	21-27	85-90	LS,SL	4.5-5.9	4, 7
3	<i>Annona muricata</i> L.	Sri kaya	Annonaceae	1500 – 3000	25 - 32		Sebagian besar jenis tanah	5.0 - 7.0	4, 5
4	<i>Artocarpus communis</i> Foster	Kelor, sukun	Moraceae	2000 – 3000	24 - 40	70-90	Sebagian besar jenis tanah	5.0 - 7.0	4, 9
5	<i>Artocarpus elastica</i> Reinw	Terap	Moraceae	1500 – 2500	24 - 30		SC, SL, SCL	5.0 - 7.0	9
6	<i>Artocarpus integer</i> Spreng	Cempedak	Moraceae	1500 – 2400	21 - 32		Sebagian besar jenis tanah	5.0 - 7.5	6
7	<i>Artocarpus</i>	Nangka	Moraceae	1500 – 2500	24 - 30		Sebagian besar jenis tanah	5.0 -7.0	6

No.	Jenis tanaman (species)	Nama lokal	Famili	Persyaratan iklim			Persyaratan tanah		Sumber
				Curah hujan (mm/tahun)	Suhu udara (°C)	Kelembapan relatif (%)	Tekstur tanah	pH	
	<i>heterophyllus</i> Lam.								
8	<i>Averrhoa carambola</i> L.	Belimbing	Oxalidaceae	1500-3000			Tanah berpasir hingga lempung sangat berliat	5.5-6.5	4
9	<i>Averrhoa bilimbi</i> L.	Belimbing	Oxalidaceae	1500-3000			Tanah berpasir hingga lempung sangat berliat	5.5-6.5	4
10	<i>Carica papaya</i> L.	Papaya	Caricaceae	100*	21-33	85-90	Sebagian besar jenis tanah	5.0-7.0	4, 7
11	<i>Durio zibethinus</i> Murr.	Durian	Malvaceae	> 1200	24 - 30		SCL, SL, CL, SC	6.0 - 7.0	2
12	<i>Garcinia mangostana</i> L.	Manggis	Clusiaceae	> 1000	20 - 40	40 - 80	Sebagian besar jenis tanah	5.0 - 7.0	4
13	<i>Lansium domesticum</i> Jack.	Langsat	Meliaceae	0-800	22		Sebagian besar jenis tanah		4
14	<i>Lycopersicon esculentum</i> L.	Tomat	Solanaceae		20-25		Sebagian besar jenis tanah	5.8-6.8	1, 3, 8
15	<i>Mangifera indica</i> L.	Mangga	Anacardiaceae	> 1000	27 - 34	85-90	SL, L, CL, SCL, SiL, SiCL, C, SC, SiC	5.5 - 7.5	7
16	<i>Musa acuminata</i> Colla	Pisang	Musaceae		15-38		Tanah berpasir hingga sangat berliat	4.5-7.5	4

No.	Jenis tanaman (species)	Nama lokal	Famili	Persyaratan iklim			Persyaratan tanah		Sumber
				Curah hujan (mm/tahun)	Suhu udara (°C)	Kelembapan relatif (%)	Tekstur tanah	pH	
17	<i>Nephelium lappacium</i> L.	Rambutan	Sapindaceae	1500-3000	22-30		Sebagian besar jenis tanah	5.0-6.5	4
18	<i>Passiflora edulis</i> Sims.	Markisa, buah susu	Passifloraceae	0-1500	18-30	80-85	Sebagian besar jenis tanah	5.5-6.8	4, 7
19	<i>Persea americana</i> Mills.	Alpukat	Lauraceae	1250-1750	25-28	85-90	Sebagian besar jenis tanah	5.0-7.0	4, 7
20	<i>Psidium guajava</i> L.	Jambu	Myrtaceae	1000-2000	23-28	85-90	Sebagian besar jenis tanah	5.0-7.0	4, 7
21	<i>Theobroma cacao</i> L.	Kakao	Malvales	1250 – 3000	21 - 30	70 - 80	SL, SCL, SC	4.0 - 8.5	11
22	<i>Zea mays</i> L.	Jagung	Gramineae	1250-5000	21-34	50-80	L,SCL,SiL,Si, CL, SiCL,SL, SC,C	5.5-7.0	10

* mm/bulan ; L = Loam ; C = Clay ; S = Sand ; Si = Silt ; SiL = Silt Loam ; SL = Sandy Loam ; CL = Clay Loam ; SC = Sandy Clay ; SiC = Silty Clay ; SCL = Sandy Clay Loam ; LS = Loamy Sand ; SiCL = Silty Clay Loam

Sumber:

1. Chin, H.F. (1999); 2. Djaenudin (1992); 3. Hazra, P. & Som, M.G. (2006); 4. Nakasone, H. Y. & Paull R. E. (1998); 5. Radi (1996); 6. Sahadevan, N. (1987); 7. Salunkhe, D. K. & Deshpande, S. S. (1991); 8. Salunkhe, D. K. & Kadam, S.S. (1998); 9. Setiawan (1995); 10. Suprpto (1996); 11. Susanto (1994).

Tabel 5. Persyaratan klim dan Tanah Beberapa Jenis Tanaman Perkebunan

No.	Jenis tanaman (species)	Nama lokal	Famili	Persyaratan iklim			Persyaratan tanah		Sumber
				Curah hujan (mm/thn)	Suhu udara (°C)	Kelembapan relatif (%)	Tekstur tanah	pH	
1	<i>Anacardium occidentale</i> L.	Jambu monyet	Anacardiceae	500-3500			Sebagian besar jenis tanah		5
2	<i>Annona muricata</i> L.	Sri kaya	Annonaceae	1500 – 3000	25 – 32		Sebagian besar jenis tanah	5.0 - 7.0	3, 4
3	<i>Artocarpus communis</i> Foster	Kelor, sukun	Moraceae	2000 – 3000	24 – 40	70-90	Bermacam jenis tanah	5.0 - 7.0	3, 7
4	<i>Artocarpus elastica</i> Reinw	Terap	Moraceae	1500 – 2500	24 – 30		SC, SL, SCL	5.0 - 7.0	7
5	<i>Artocarpus integer</i> Spreng	Cempedak	Moraceae	1500 – 2400	21 – 32		Sebagian besar jenis tanah	5.0 - 7.5	5
6	<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.	Nangka	Moraceae	1500 – 2500	24 – 30		Sebagian besar jenis tanah	5.0 -7.0	5
7	<i>Averrhoa carambola</i> L.	Belimbing	Oxalidaceae	1500-3000			Sand to heavy clay loam	5.5-6.5	3
8	<i>Averrhoa bilimbi</i> L.	Belimbing	Oxalidaceae	1500-3000			Sand to heavy clay loam	5.5-6.5	3

No.	Jenis tanaman (species)	Nama lokal	Famili	Persyaratan iklim			Persyaratan tanah		Sumber
				Curah hujan (mm/thn)	Suhu udara (°C)	Kelembapan relatif (%)	Tekstur tanah	pH	
9	<i>Carica papaya</i> L.	Pepaya	Caricaceae	100*	21-33	85-90	Bermacam jenis tanah	5.0-7.0	3, 6
10	<i>Coffea arabica</i> L.	Kopi	Rubiacea	2000-3000	17-21				2
11	<i>Coffea robusta</i> L.	Kopi robusta	Rubiacea	2000-3000	21-24				2
12	<i>Durio zibethinus</i> Murr.	Durian	Malvaceae	> 1200	24 – 30		SCL, SL, CL, SC	6.0 - 7.0	1
13	<i>Eugenia aromatum</i> OK.	Cengkeh	Myrtaceae	2000-3000	65-85**				2
14	<i>Garcinia mangostana</i> L.	Manggis	Clusiaceae	> 1000	20 – 40	40 - 80	Sebagian besar jenis tanah	5.0 - 7.0	3
15	<i>Lansium domesticum</i> Jack.	Langsat	Meliaceae	0-800	22		Sebagian besar jenis tanah		3
16	<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit	Lamtoro	Fabaceae	600 – 2500	20 - 34		L, SL, SiL, CL, SCL	5.0 - 8.5	1
17	<i>Mangifera indica</i> L.	Mangga	Anacardiaceae	> 1000	27 – 34	85-90	SL, L, CL, SCL, SiL, SiCL, C, SC, SiC	5.5 - 7.5	6
18	<i>Nephelium lappacium</i> L.	Rambutan	Sapindaceae	1500-3000	22-30		Sebagian besar jenis tanah	5.0-6.5	3

No.	Jenis tanaman (species)	Nama lokal	Famili	Persyaratan iklim			Persyaratan tanah		Sumber
				Curah hujan (mm/thn)	Suhu udara (°C)	Kelembapan relatif (%)	Tekstur tanah	pH	
19	<i>Parkia speciosa</i> Hasak	Petai	Fabaceae	600 – 2500	20 – 34		SL, SCL, SC, CL	5.5 - 6.5	7
20	<i>Passiflora edulis</i> Sims.	Markisa, buah susu	Passifloraceae	0-1500	18-30	80-85	Sebagian besar jenis tanah	5.5-6.8	3, 6
21	<i>Persea americana</i> Mills.	Alpukat	Lauraceae	1250-1750	25-28	85-90	Sebagian besar jenis tanah	5.0-7.0	3, 6
22	<i>Psidium guajava</i> L.	Jambu	Myrtaceae	1000-2000	23-28	85-90	Sebagian besar jenis tanah	5.0-7.0	3, 6
23	<i>Sesbania grandiflora</i> (L.) Poiret	Turi	Fabaceae	600 – 2500	22 – 32		SL, SiL, L, CL, SCL	5.0 - 8.5	7
24	<i>Theobroma cacao</i> L.	Kakao	Malvales	1250 – 3000	21 – 30	70 - 80	SL, SCL, SC	4.0 - 8.5	8

* mm/bulan

** °F

L = Loam ; C = Clay ; S = Sand ; Si = Silt ; SiL = Silt Loam ; SL = Sandy Loam ; CL = Clay Loam ; SC = Sandy Clay ;

SiC = Silty Clay ; SCL = Sandy Clay Loam ; LS = Loamy Sand ; SiCL = Silty Clay Loam

Sumber:

1. Djaenudin (1992); 2. Kartasapoetra (1993); 3. Nakasone, H. Y. & Paull R. E. (1998); 4. Radi (1996); 5. Sahadevan, N. (1987); 6. Salunkhe, D. K. & Deshpande, S. S. (1991) ; 7. Setiawan (1995); 8. Susanto (1994)

Tabel 6. Persyaratan Iklim dan Tanah Beberapa Jenis Tanaman Kehutanan

No.	Jenis tanaman (species)	Nama lokal	Famili	Persyaratan iklim			Persyaratan tanah		Sumber
				Curah hujan (mm/thn)	Suhu udara (°C)	Kelembapan relatif (%)	Tekstur tanah	pH	
1	<i>Acacia albida</i> Delile	Akasia	Fabaceae	650			Sebagian besar jenis tanah	1	
2	<i>Acacia aeleulloma</i>	Akasia	Fabaceae	1800-2500	28-30			1	
3	<i>Acacia angustissima</i> (Mill.) Kuntze	Akasia	Fabaceae	895-2870	5-30		Tanah asam	1	
4	<i>Acacia auriculiformis</i> A.Cunn. ex Benth	Akasia	Fabaceae	1800	26-30		Sebagian besar jenis tanah	1	
5	<i>Acacia mangium</i> Willd.	Akasia	Fabaceae	1500-2500	29-30		Sebagian besar jenis tanah	1	
6	<i>Acacia pendula</i> A.Cunn. ex G.Don.	Akasia	Fabaceae	400-650			Clays black soils	1	
7	<i>Acacia tortilis</i> Hayne	Akasia	Fabaceae	1000	40		Sebagian besar jenis tanah	1	
8	<i>Acacia villosa</i> (Sw.) Wild.	Lamtoro merah	Fabaceae	200-250*		55-70	Sebagian besar jenis	2	

No.	Jenis tanaman (species)	Nama lokal	Famili	Persyaratan iklim			Persyaratan tanah		Sumber
				Curah hujan (mm/thn)	Suhu udara (°C)	Kelembapan relatif (%)	Tekstur tanah	pH	
9	<i>Agathis loranthifolia</i>	Agathis	Araucariaceae	2000 – 4000	20 - 30		L, CL, SCL, SiL, SL, Si, SC, LS, SiC	5.0 - 7.7	5
10	<i>Albizia lebbek</i> (L.) Benth	<i>Albizia</i>	Fabaceae	600-2500	15-40		Sebagian besar jenis tanah	4.5	1
11	<i>Albizia chinensis</i> (Osborn) Merr.	<i>Albizia</i>	Fabaceae	1000-5000	-		Sebagian besar jenis tanah		1
12	<i>Calliandra calothyrsus</i>	Kaliandra	Fabaceae	2000 – 4000	22 - 32		All types of soils	5.0 - 7.0	6
13	<i>Cinnamomum burmannii</i> Blume	Kayu manis	Lauraceae	1500 – 2500	22 - 29		SL, SC, SCL	5.0 - 6.5	7
14	<i>Falcataria moluccana</i> (Miq.) Barneby & J.W.Grimes	Sengon	Fabaceae	2000 – 4000	22 - 34		L, SCL, SiL, Si, CL, SC, SiCL, S, LS, SL, SiC	5.0 - 7.5	4
15	<i>Gliricidia maculata</i> (Kunth) Kunth	Gamal	Fabaceae	1250-2030			Sebagian besar jenis tanah		2
16	<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Kunth ex.	Gamal	Fabaceae	500-2500	20 - 29		LS, SL, SC, S, C, L, SCL, CL	4.0 - 5.0	4

No.	Jenis tanaman (species)	Nama lokal	Famili	Persyaratan iklim			Persyaratan tanah		Sumber
				Curah hujan (mm/thn)	Suhu udara (°C)	Kelembapan relatif (%)	Tekstur tanah	pH	
	Walp.								
17	<i>Hevea brasiliensis</i> Mull. Arg.	Getah	Euphorbia ceae	2000 - 3000	26-30		L, SCL, SC, CL, SL, LS	4.0 - 8.0	4
18	<i>Melaleuca leucadendra</i> (L.)L.	Kayu putih, gelam	Myrtaceae	600-2500	21-30		L, SCL, CL, SC, LS, SL, Sil, Si, SiCL, SiC	4.0 - 5.0	4
19	<i>Pinus merkusii</i> Jungh. & de Vriese	Pinus	Pinaceae	1500-4000			Sebagian besar jenis tanah		3
20	<i>Pterocarpus indicus</i> Willd.	Angsana	Fabaceae	500 – 2500	21 - 34		SL, CL, SCL, L, SiL, Si, SC, C	5.0 - 7.5	7
21	<i>Swietenia macrophylla</i>	Mahagoni	Meliaceae	500-2500	21 - 30		L, CL, SiL, SL, SCL, SC, SiCL, LS, SiC, Si, C	5.0 - 7.0	4
22	<i>Tectona grandis</i> Linn.f.	Jati	Verbenaceae	750-1500	34-42	± 70	C, L, SL, SC	4.0-6.0	8

* mm/bulan ; L = Loam ; C = Clay ; S = Sand ; Si = Silt ; SiL = Silt Loam ; SL = Sandy Loam ; CL = Clay Loam ; SC = Sandy Clay ; SiC = Silty Clay ; SCL = Sandy Clay Loam ; LS = Loamy Sand ; SiCL = Silty Clay Loam

Sumber:

1. Anonymous (1979);
2. Arsyad (1989);
3. Dephut RI (1976);
4. Djaenudin (1992);
5. Djaenudin (1994);
6. Kartasapoetra & Sutedjo (1985 ;
7. Lahjje, A.M. (2000);
8. Sumarna (2002)

C. Iklim Mikro pada Beberapa Tipe Penutupan Lahan

Beberapa hasil penelitian tentang iklim mikro pada beberapa tipe penutupan lahan di Kalimantan Timur adalah:

1. Arifin (1993) mengamati suhu udara, suhu tanah pada kedalaman 10 cm, kelembapan udara, intensitas cahaya, dan penguapan rata-rata pada hutan terbakar berturut-turut sebesar 26,45°C, 28,34°C, 84,69%, 25,315 kilo lux, dan 3,50 mm. Sedangkan pada hutan tidak terbakar suhu udara rata-rata sebesar 25,05°C, suhu tanah pada kedalaman 10 cm sebesar 25,23°C, kelembapan udara rata-rata sebesar 90,89%, intensitas cahaya rata-rata sebesar 0,323 kilo lux, dan penguapan rata-rata sebesar 0,78 mm.
2. Penelitian Ernas (2002) menunjukkan bahwa intensitas cahaya rata-rata di luar hutan berkisar antara 1.263,02 sampai 1.297,53 lux/m² dan di dalam hutan antara 973,93 sampai 1.041,57 lux/m². Suhu udara rata-rata di luar hutan 26,72°C–27,52°C dan di dalam hutan 25,42°C–26,07°C. Sedangkan kelembapan udara relatif rata-rata di luar hutan 82,57%-87,77% dan di dalam hutan 90,49%-95,34%.
3. Biantary (2003) melaporkan suhu udara, kelembapan udara, kecepatan angin, dan intensitas radiasi matahari rata-rata di beberapa hutan kota di wilayah Kota Samarinda masing-masing sebesar 27,67°C, 79,67%, 0,71 m/detik, dan 1132,00 lux. Sedangkan di kawasan pusat perbelanjaan, suhu udara rata-rata sebesar 29,60°C, kelembapan udara rata-rata sebesar 71,00%, kecepatan angin rata-rata sebesar 0,93 m/detik, dan intensitas radiasi matahari rata-rata sebesar 888,00 lux.
4. Kumalasari (2006) menyebutkan pada areal kebun jati (*Tectona grandis* Linn. f) dan alang-alang (*Imperata cylindrica*), suhu udara rata-rata sebesar 26,61°C dan 25,63°C, sedangkan kelembapan

rata-rata sebesar 94,85% dan 94,16%. Intensitas cahaya rata-rata pada kebun jati dan alang-alang masing-masing sebesar 256,68 dan 229,91 μ mol.

5. Lesmono (2006) menyatakan bahwa intensitas cahaya rata-rata di areal agroforestri yang ditanami tanaman campuran kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jack.) dan jati (*Tectona grandis* Linn. f) sebesar 195,05 μ mol $m^{-2} s^{-1}$, sedangkan di lahan kritis 873,76 μ mol $m^{-2} s^{-1}$. Suhu udara rata-rata di kawasan agroforestri lebih rendah (berkisar antara 27,21°C dan 28,27°C) dibandingkan dengan lahan kritis (berkisar antara 27,25°C dan 28,43°C). Kelembapan udara relatif rata-rata di areal agroforestri lebih tinggi yaitu berkisar 76,33-82,60% dibandingkan di lahan kritis berkisar 73,58-80,51%. Purwoto (2007) menambahkan suhu tanah rata-rata di areal agroforestri pada kedalaman 0 cm = 28,2°C; 5 cm = 27,9°C; 10 cm = 27,9°C; 20 cm = 27,8°C dan 30 cm = 27,4°C, sedangkan suhu tanah rata-rata di lahan kritis pada kedalaman 0 cm = 32,75°C; 5 cm = 30,7°C; 10 cm = 29,9°C; 20 cm = 29,7°C dan 30 cm = 27,4°C.
6. Saputra (2007) melaporkan curah hujan bulanan rata-rata pada tegakan jati sebesar 198,2 mm/bulan, dengan intensitas cahaya maksimum sebesar 58,8 μ mol $s^{-1} m^{-2}$ dan minimum sebesar 0,27 μ mol $s^{-1} m^{-2}$. Adapun suhu udara tertinggi sebesar 28,51°C, suhu udara terendah sebesar 26,8°C, dan kelembapan udara berkisar antara 84,54- 98,39%.
7. Faisal (2009) mengamati iklim mikro pada tegakan jati berbeda umur. Intensitas cahaya pada tegakan berumur 3 tahun berkisar 15,56-41,95 μ mol $s^{-1} m^{-2}$, sedangkan pada tegakan berumur 6 tahun berkisar 35,73-60,38 μ mol $s^{-1} m^{-2}$. Suhu udara pada tegakan berumur 3 tahun berkisar 22,98-25,41°C dan tegakan berumur 6 tahun berkisar 22,27-25,05°C. Kelembapan udara berkisar 90,94-99,35%, sedangkan pada tegakan berumur 6 tahun berkisar 90,50-

- 99,71%. Curah hujan pada tegakan berumur 3 tahun dan 6 tahun berkisar 137-279 mm.
8. Beredi (2010) melaporkan suhu udara rata-rata pada tegakan jati umur 3 dan 6 tahun masing-masing sebesar 27,9°C dan 27,8°C. Suhu tanah rata-rata pada tegakan jati umur 3 tahun pada kedalaman 5 cm, 10 cm, 20 cm, dan 30 cm berturut-turut sebesar 27,9°C, 27,8°C, 28,0°C, dan 27,8°C. Sedangkan pada tegakan jati umur 6 tahun, suhu tanah rata-rata pada kedalaman 5 cm sebesar 27,3°C, kedalaman 10 cm sebesar 27,2°C, kedalaman 20 cm sebesar 27,5 cm, dan kedalaman 30 cm sebesar 27,2°C.
 9. Keberadaan hutan menciptakan iklim mikro yang berbeda dengan luar hutan (Karyati dkk., 2016; Karyati & Ardianto, 2016). Suhu udara rata-rata di dalam hutan sebesar 25,4°C, sedangkan di luar hutan sebesar 27,4°C. Kelembapan udara rata-rata di dalam hutan dan luar hutan masing-masing sebesar 91,6% dan 83,9%. Suhu tanah rata-rata pada kedalaman berbeda (5 cm, 10 cm, 20 cm, dan 30 cm) di luar hutan lebih besar dibandingkan di dalam hutan.
 10. Iklim mikro di lahan revegetasi pasca tambang umur 3, 4, 5, 6, dan 7 tahun menunjukkan perbedaan yang signifikan. Suhu udara terendah adalah pada areal revegetasi 7 tahun (26,6°C) dan suhu tertinggi pada areal revegetasi 3 tahun (27,9°C). Kelembapan udara tertinggi dan terendah masing-masing diukur pada areal revegetasi umur 7 tahun (87,6%) dan umur 3 tahun (81,1%). Intensitas cahaya tertinggi dan terendah sebesar 15514,5 lux (pada areal revegetasi 3 tahun) dan 2622,5 lux (pada areal revegetasi 7 tahun) (Putri dkk., 2018). Suhu tanah harian rata-rata pada kedalaman 10 cm di areal revegetasi pasca tambang berkisar antara 26,1°C-27,7°C, sedangkan di hutan sekunder sebesar 25,9°C. Hasil juga menunjukkan kelembapan tanah rata-rata pada kedalaman 20 cm berkisar antara 81,5% hingga 88,0%, sedangkan di hutan sekunder sebesar 90,2% (Karyati dkk., 2018).

11. Assholihat dkk. (2019) menjelaskan suhu tanah pada kedalaman berbeda rata-rata (5 cm, 10 cm, 20 cm, dan 30 cm) di hutan sekunder muda, pemukiman penduduk, dan lahan terbuka mengalami penurunan dengan semakin dalamnya tanah. Sebaliknya pada tanah-tanah yang lebih dala, maka kelembapan tanah semakin besar. Ringkasan hasil penelitian beberapa unsur cuaca dan iklim di Kalimantan Timur disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Ringkasan Hasil Penelitian tentang Unsur Cuaca dan Iklim di Kalimantan Timur

No	Lokasi	Tempat	Tipe penutupan lahan	Unsur iklim/cuaca		Sumber
1	Taman Bukit Soeharto	Samarinda-Balikpapan	Hutan terbakar	T (°C)	26,45	Arifin (1993)
				Ts 10 cm (°C)	28,34	
				RH (%)	84,69	
				IC (kilo lux)	25,315	
				Penguapan (mm)	3,50	
			Hutan tidak terbakar	T (°C)	25,05	
				Ts 10 cm (°C)	25,23	
				RH (%)	90,89	
				IC (kilo lux)	0,323	
				Penguapan (mm)	0,78	
2	Hutan Koleksi Universitas Mulawarman	Kelurahan Lempake, Kota Samarinda	Dalam hutan	T (°C)	25,88	Ernas (2002)
				RH (%)	93,33	
				IC (lux/m ²)	1.012,58	
			Luar hutan	T (°C)	27,00	
				RH (%)	84,96	
				IC (lux/m ²)	1.276,59	
3	Hutan Pendidikan Fahutan Unmul	Kelurahan Lempake, Kota Samarinda	Dalam hutan	T (°C)	25,4	Karyati & Ardianto (2016); Karyati dkk. (2016)
				RH (%)	91,6	
				IC (μmol)	6,86	
				Ts 5 cm (°C)	26,5	
				Ts 10 cm (°C)	26,4	
				Ts 20 cm (°C)	24,6	
				Ts 30 cm (°C)	24,5	
			Luar hutan	T (°C)	27,4	
				RH (%)	83,9	
				IC (μmol)	-	
				Ts 5 cm (°C)	29,9	
				Ts 10 cm (°C)	29,8	
				Ts 20 cm (°C)	27,6	
				Ts 30 cm (°C)	27,5	
4	Hutan Kota	Kota Samarinda	Hutan kota	T (°C)	27,67	Biantary (2003)
				RH (%)	79,67	
				IC (lux)	1132,00	
				Kecepatan angin	0,71	

No	Lokasi	Tempat	Tipe penutupan lahan	Unsur iklim/cuaca	Sumber	
				(m/dtk)		
			Kawasan pusat perbelanjaan	T (°C) RH (%) IC (lux) Kecepatan angin (m/dtk)	29,60 71,00 888,00 0,93	
5			Tegakan jati	T (°C) RH (%) IC (μ mol) CH (mm)	26,61 94,85 256,68 0,29 (195 menit)	Kumalasari (2006)
			Alang-alang	T (°C) RH (%) IC (μ mol) CH (mm)	25,63 94,16 229,91 0,31 (135 menit)	
6	Tegakan jati	Kelurahan Lempake, Kota Samarinda	Jati umur 3 tahun	T (°C) RH (%) IC (μ mol s ⁻¹ m ⁻²) CH (mm)	22,98-25,41 90,94-99,35 15,56-41,95 137-279	Faisal (2009)
			Jati umur 6 tahun	T (°C) RH (%) IC (μ mol s ⁻¹ m ⁻²) CH (mm)	22,27-25,05 90,50-99,71 35,73-60,38 137-279	
7			Jati umur 3 tahun	T (°C) Ts 5 cm (°C) Ts 10 cm (°C) Ts 20 cm (°C) Ts 30 cm (°C)	24,0-34,0 27,4-28,6 27,4-28,2 27,6-28,0 27,6-28,0	Beredi (2010)
			Jati umur 6 tahun	T (°C) Ts 5 cm (°C) Ts 10 cm (°C) Ts 20 cm (°C) Ts 30 cm (°C)	24,8-32,0 26,8-28,0 26,8-27,5 27,2-27,6 27,0-27,4	
8	Agroforestri (campuran kelapa sawit dan jati)	Desa Loleng, Kecamatan Bangun, Kabupaten Kutai Kartanegara	Lahan agroforestri	T (°C) RH (%) IC (μ mol s ⁻¹ m ⁻²)	27,47 78,95 195,05	Lesmono (2006)
			Lahan kritis	T (°C) RH (%) IC (μ mol s ⁻¹ m ⁻²)	27,69 76,47 873,76	
			Lahan agroforestri	Ts 0 cm (°C) Ts 5 cm (°C) Ts 10 cm (°C) Ts 20 cm (°C) Ts 30 cm (°C)	28,2 27,9 27,9 27,8 27,4	Purwoto (2007)
			Lahan kritis	Ts 0 cm (°C) Ts 5 cm (°C) Ts 10 cm (°C)	32,75 30,7 29,9	

No	Lokasi	Tempat	Tipe penutupan lahan	Unsur iklim/cuaca	Sumber	
9	Tegakan jati	Kecamatan Samboja, Kabupaten Kutai Kartanegara	Tegakan jati	Ts 20 cm (°C)	29,7	Saputra (2007)
				Ts 30 cm (°C)	27,4	
				T (°C)	26,8-28,51	
				RH (%)	84,54-98,39	
				IC (μ mol s ⁻¹ m ⁻²)	0,27-58,8	
				CH (mm)	126-265	
				T (°C)	27,9	
				Ts 10 cm (°C)	27,7	
				Ts 20 cm (°C)	26,6	
				RH (%)	81,1	
10	Revegetasi pasca tambang dan hutan sekunder	PT Adimitra Baratama Nusantara, Kelurahan Sangasanga, Kabupaten Kutai Kartanegara, Kaltim	Revegetasi umur 3 tahun	RHs 10 cm (%)	81,3	Putri dkk. (2018); Karyati dkk. (2018)
				RHs 20 cm (%)	81,5	
				IC (lux)	15514,5	
				T (°C)	27,7	
				Ts 10 cm (°C)	27,2	
				Ts 20 cm (°C)	26,1	
				RH (%)	82,8	
				RHs 10 cm (%)	82,9	
				RHs 20 cm (%)	83,2	
				IC (lux)	5305,7	
10	Revegetasi pasca tambang dan hutan sekunder	PT Adimitra Baratama Nusantara, Kelurahan Sangasanga, Kabupaten Kutai Kartanegara, Kaltim	Revegetasi umur 5 tahun	T (°C)	27,4	Putri dkk. (2018); Karyati dkk. (2018)
				Ts 10 cm (°C)	27,0	
				Ts 20 cm (°C)	25,9	
				RH (%)	85,4	
				RHs 10 cm (%)	85,8	
				RHs 20 cm (%)	85,9	
				IC (lux)	4730,6	
				T (°C)	27,0	
				Ts 10 cm (°C)	26,4	
				Ts 20 cm (°C)	25,3	
10	Revegetasi pasca tambang dan hutan sekunder	PT Adimitra Baratama Nusantara, Kelurahan Sangasanga, Kabupaten Kutai Kartanegara, Kaltim	Revegetasi umur 6 tahun	RH (%)	85,6	Putri dkk. (2018); Karyati dkk. (2018)
				RHs 10 cm (%)	86,0	
				RHs 20 cm (%)	86,1	
				IC (lux)	2882,0	
				T (°C)	26,6	
				Ts 10 cm (°C)	26,1	
				Ts 20 cm (°C)	24,9	
				RH (%)	87,6	
				RHs 10 cm (%)	87,8	
				RHs 20 cm (%)	88,0	
IC (lux)	2622,5					
10	Revegetasi pasca tambang dan hutan sekunder	PT Adimitra Baratama Nusantara, Kelurahan Sangasanga, Kabupaten Kutai Kartanegara, Kaltim	Hutan sekunder	T (°C)	26,2	Putri dkk. (2018); Karyati dkk. (2018)
				Ts 10 cm (°C)	25,9	
				Ts 20 cm (°C)	24,8	
				RH (%)	89,8	
				RHs 10 cm (%)	90,0	
				RHs 20 cm (%)	90,2	
				IC (lux)	1246,3	
				T (°C)	26,2	
				Ts 10 cm (°C)	25,9	
				Ts 20 cm (°C)	24,8	
11	Tipe penggunaan lahan	Kelurahan Mugirejo, Kecamatan Sungai Pinang, Kota	Hutan sekunder muda	Ts 5 cm (°C)	27,6	Assholihat dkk. (2019)
				Ts 10 cm (°C)	27,4	
				Ts 20 cm (°C)	27,0	
				Ts 30 cm (°C)	26,9	
				RHs 5 cm (%)	78,5	

No	Lokasi	Tempat	Tipe penutupan lahan	Unsur iklim/cuaca	Sumber
		Samarinda		RHs 10 cm (%)	78,8
				RHs 20 cm (%)	79,1
				RHs 30 cm (%)	79,4
				Ts 5 cm (°C)	28,9
				Ts 10 cm (°C)	28,3
				Ts 20 cm (°C)	27,8
			Pemukiman penduduk	Ts 30 cm (°C)	27,4
				RHs 5 cm (%)	76,4
				RHs 10 cm (%)	78,5
				RHs 20 cm (%)	79,3
				RHs 30 cm (%)	80,2
				Ts 5 cm (°C)	31,8
				Ts 10 cm (°C)	30,5
				Ts 20 cm (°C)	29,4
			Lahan terbuka	Ts 30 cm (°C)	28,7
				RHs 5 cm (%)	69,2
				RHs 10 cm (%)	69,6
				RHs 20 cm (%)	70,3
				RHs 30 cm (%)	70,8

Keterangan: T = Suhu udara; Ts = Suhu tanah; RH = Kelembapan relatif udara; RHs = Kelembapan tanah; IC = Intensitas cahaya; CH = Curah hujan; Ts = Suhu tanah.

VII. MODIFIKASI CUACA

A. Sejarah Modifikasi Cuaca

Modifikasi skala mikro (*microclimate*) dan skala kecil (*ecoscale, ecoclimate*) menjadi penting dalam kebudayaan sejak manusia pertama kali menanam di kebun atau taman. Pengaruh ekologi terukur yang dihasilkan dari berbagai teknik yang dipraktekkan pada skala lokal telah diketahui untuk waktu yang lama. Beberapa literatur menyebutkan meskipun banyak cara dimana iklim mikro dapat dimodifikasi untuk kepentingan manusia tidak dipublikasikan. Sebaliknya, beberapa teknik modifikasi iklim mikro telah digunakan tanpa beberapa pengetahuan hasil-hasil yang memungkinkan (Marlatt, 1965).

Sejarah modifikasi cuaca dimulai sejak percobaan pembenihan es kering yang dipimpin oleh Vincent Schaefer dan Irving Langmuir pada tahun 1946. Satu tahun kemudian Bernard Vonnegut menemukan perak iodida (Ag I), suatu bahan yang dapat bertindak sebagai inti es dan menyebabkan air terlalu dingin membeku pada suhu -4°C atau lebih rendah. Sejarah modifikasi cuaca di Indonesia baru dimulai sejak percobaan hujan rangsangan dilaksanakan di wilayah Perum Otorita Jatiluhur pada tahun 1979 oleh Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT). Sebelumnya telah dilakukan uji coba hujan rangsangan di wilayah Bogor pada tahun 1977 (Tjasyono, 1999).

Pola cuaca lokal sangat dipengaruhi oleh sifat-sifat fisik di dasar permukaan. Albedo, tinggi rata-rata unsur permukaan, dan ketersediaan air adalah faktor penting untuk menjelaskan keseimbangan energi. Ketidakseimbangan dapat mengganggu. Ada beberapa penelitian tentang modifikasi cuaca lokal, khususnya yang berhubungan dengan

perlindungan terhadap pengembunan, tanaman pengaman (shelter belts), dan regenerasi hutan (Munn, 1966).

Sebelum ada modifikasi cuaca orang dapat membuat hujan melalui jampi (mantera), tari-tarian, dan berbagai acara ritual atau berdoa kepada Tuhan (atau Dewa). Sembahyang atau doa untuk mendatangkan hujan masih dilakukan oleh masyarakat primitif. Ketakhyulan yang mempunyai basis ilmiah kadang-kadang dikembangkan. Sebagai contoh, pada abad pertama sesudah Masehi, Plutarch menyatakan bahwa hujan lebat biasanya terjadi setelah pertempuran hebat. Dalam usaha merasionalisasikan sebab dan akibat, beberapa orang berpendapat bahwa suara (gaung) pertempuran dapat menimbulkan hujan (Tjasyono, 1999).

Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) membuat hujan buatan untuk membantu masyarakat di Provinsi Riau, Jambi dan Kalimantan Tengah untuk memadamkan kebakaran hutan dan menghilangkan asap bekas kebakaran hutan. Hujan buatan juga sangat bermanfaat ketika masyarakat mengalami kekeringan, saat kekeringan yang melanda di beberapa wilayah di Indonesia, salah satunya Pulau Jawa. Berbagai cara dilakukan untuk menurunkan hujan, mulai dari Sholat Istisqa untuk umat beragama Islam, memanggil pawang hujan yang dipercaya bisa menurunkan atau memindahkan hujan dan pemerintah pun berkontribusi untuk mengoptimalkan turunnya hujan dengan membuat hujan buatan (Anonim, 2014d).

B. Definisi dan Tujuan Modifikasi Cuaca

Modifikasi cuaca diartikan sebagai modifikasi awan secara buatan atas usaha manusia (Tjasyono, 1999). Yang sebenarnya dilakukan oleh manusia adalah menciptakan peluang hujan dan “mempercepat” terjadinya hujan. Nama yang digunakan sebagai upaya “membuat hujan” adalah menjadi Teknologi Modifikasi Cuaca (TMC). Menurut Tjasyono (1999), tujuan modifikasi cuaca adalah:

1. Meningkatkan curah hujan melalui hujan rangsangan.
2. Melenyapkan awan.
3. Menindas batu es hujan.
4. Melerai siklon tropis.

Batu es hujan ialah jenis endapan yang pembentukannya secara prinsip tidak jauh berbeda dengan pembentukan tetes hujan. Batu es hujan dibentuk melalui proses Wegner-Bergeron-Findeisen. Di Indonesia, upaya “hujan buatan” ini diperlukan untuk (Anonim, 2014e):

1. Antisipasi ketersediaan air, misal pengisian waduk, danau, untuk keperluan air bersih, irigasi, dan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA).
2. Antisipasi kebakaran hutan/lahan dan kabut asap.

Untuk menunjang kegiatan modifikasi cuaca terutama dalam hujan rangsangan diperlukan pengukuran unsur cuaca sebagai berikut (Tjasyono, 1999):

1. Jumlah curah hujan, intensitas hujan, distribusi ruang dan waktu curah hujan di permukaan tanah.
2. Peubah (*variable*) meteorologi sinoptik pada beberapa tempat di atas daerah percobaan dan di luar daerah percobaan.
3. Informasi data radiosonde lokal.
4. Karakteristik sistem awan dari foto satelit cuaca.
5. Ketinggian dasar dan puncak awan, suhu awan, kadar air dan es di awan, dan distribusi ukuran tetes awan.
6. Distribusi ukuran tetes hujan di permukaan tanah pada beberapa lokasi.
7. Konsentrasi inti es dan inti kondensasi di bawah dasar awan dan pada tanah.
8. Gaung (*echo*) dan reflektivitas radar.
9. Karakteristik kepulan pembenihan.
10. Jenis, konsentrasi, ukuran, dan distribusi spektral partikel es.

C. Teknologi Modifikasi Cuaca

1. Hujan Buatan

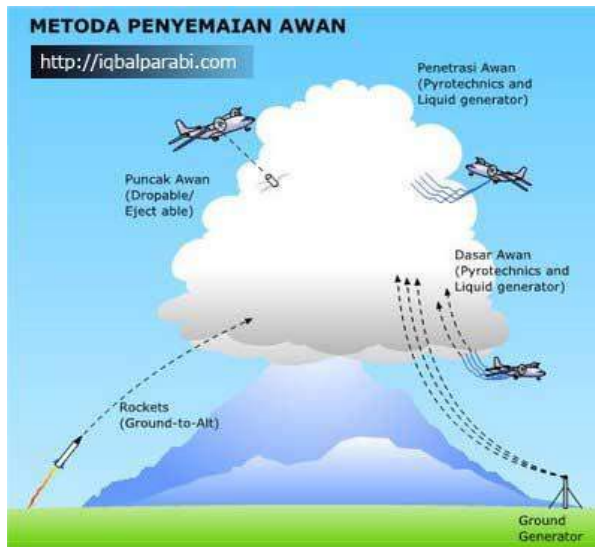
a. Pengertian Hujan Buatan

Secara umum istilah hujan buatan yang biasa dipakai untuk memudahkan dan mengerti bagaimana cara turunnya hujan bukan karena proses alami yang terjadi, melainkan dengan adanya campur tangan manusia untuk menurunkan hujan tersebut. Karena sebenarnya manusia tidak bisa membuat atau menciptakan hujan melainkan 'merangsang' atau mempercepat terjadinya turun hujan menggunakan teknologi penciptaan awan yang mengandung kadar air yang cukup, memiliki kecepatan angin yang rendah dan syarat-syarat tertentu lainnya (Anonim, 2014d).

Proses terjadinya hujan merupakan bagian dari siklus hidrologi, dimana terdapat antara lain penguapan air, pembentukan awan, dan turun menjadi hujan. Yang dilakukan oleh manusia pada TMC, adalah "mempengaruhi" proses yang terjadi di awan sebagai "dapur" pembuat hujan, sehingga mempercepat peluang terjadinya hujan (Anonim, 2014e).

Istilah hujan buatan (*rain making*) sebenarnya kurang tepat, karena usaha membuat hujan hanya dimaksudkan untuk membantu proses yang ada di atmosfer sehingga pembentukan tetes awan dan tetes hujan dipercepat. Istilah lain yang lebih tepat adalah hujan rangsangan. Kegiatan dimulai jam 7.00 WIB. Pertama, Pos Komando menerima laporan cuaca pada jam 6.00 WIB mengenai arah dan kecepatan angin pada setiap ketinggian, suhu dan kelembapan udara, perawanan, jenis awan, dan lain-lainnya. Kadang-kadang dilakukan penyigian dengan pesawat helikopter atau pesawat Porter Pillatus. Setelah itu, dilakukan rapat singkat selama \pm 30 menit untuk membuat perencanaan operasi seperti lokasi penyebaran dan jenis serta banyaknya garam yang akan disebarkan. Selesai rapat, dilaksanakan operasi pertama dengan menyebarkan garam pada lokasi yang telah

ditentukan. Sekitar jam 8.00 diluncurkan radiosonde untuk mengukur tekanan (p), suhu (T), dan kelembapan nisbi (RH) pada setiap ketinggian. Awan yang memasuki tingkat dewasa kemudian dirangsang dengan larutan urea. Penyemprotan larutan urea dilakukan di dalam awan dengan pesawat Porter Pillatus pada ketinggian 200 m di atas dasar awan. Setelah operasi selesai (jam 17.00) biasanya dilakukan rapat kembali sebagai evaluasi keberhasilan operasi yang baru saja dilakukan (Tjasyono, 1999). Metode penyemaian awan ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Metode Penyemaian Awan (Sumber: Anonim. 2014d).

b. Bahan Semai

Bahan semai adalah bahan kimia yang ditambahkan ke dalam awan dalam proses hujan buatan. Bahan untuk “mempengaruhi” proses yang terjadi di awan terdiri dari dua jenis yaitu (Anonim, 2014d; Anonim, 2014e, Anonim, 2014f):

- 1) Bahan *glasiogenik* untuk “membentuk” es, Perak Iodida (AgI).

Bahan semai glasiogenik adalah bahan yang dapat menghasilkan es. Bahan ini diterbarkan di atmosfer pada ketinggian di atas *freezing level*. Pada lapisan ini banyak terdapat uap air lewat

dingin (*super cooled moisture*) yang dapat membeku secara alami karena lingkungan yang amat bersih. Dengan penambahan bahan glasiogenik uap air ini membeku dengan cepat. Es yang turun ke lapisan lebih rendah perlahan-lahan mencair dan menambah jumlah air hujan yang turun ke permukaan bumi.

- 2) Bahan *higroskopik* untuk “menggabungkan” butir-butir air di awan, dikenal dengan higroskopis, berupa garam dapur atau Natrium Chlorida (NaCl), atau CaCl_2 dan Urea.

Bahan semai higroskopis dapat menarik uap air dari sekelilingnya dan membentuk tetes-tetes air yang kemudian ikut berperan di dalam proses pembentukan butir-butir hujan di dalam awan. Dengan penambahan bahan ini, awan semakin cepat matang. Volume awan menjadi lebih besar dari biasanya. Akibatnya air hujan yang dihasilkan dari awan ini semakin banyak. Tidak semua awan dapat dikenai perlakuan dengan bahan semai ini. Hanya awan cumulus dengan kriteria-kriteria tertentu yang dapat disemai.

Awan Cumulus (Cu) adalah awan tebal yang tumbuh ke atas. Bagian sebelah atas merupakan setengah bulatan, sedangkan bagian bawah terbentang horizontal. Siswo (2017) menjelaskan awan cumulus merupakan awan yang tebal dengan puncak tinggi, bentuk yang padat, dan mempunyai batas yang jelas. Awan ini terbentuk disebabkan karena proses konveksi, apabila sebagian terpapar sinar matahari maka akan timbul bayangan dengan warna kelabu. Terbentuknya awan ini dipengaruhi juga oleh faktor tidak stabilnya lapisan atmosfer, apabila atmosfer berkelanjutan tidak stabil, maka awan akan berubah lagi menjadi awan yang bernama awan Cumolanimbus. Proses terjadinya awan yang bermacam-macam bentuk yaitu disebabkan karena titik air yang bertemu dengan udara panas, dan akhirnya titik air tersebut menguap membentuk awan. Hal ini menjadi acuan bahwa awan akan selalu berubah bentuk, namun jika proses ini terjadi awan ini tidak

termasuk dalam kategori awan penghujan. Gambar 2 menyajikan awan cumulus.



Gambar 2. Awan Cumulus (Sumber: pixabay.com; arisudev.wordpress.com; ayukterbang.blogspot.com dalam Siswo, 2017).

c. Proses atau Cara Membuat Hujan Buatan

Hujan buatan dibuat dengan cara menyemai awan dengan menggunakan bahan yang bersifat higroskopik (menyerap air) sehingga proses pertumbuhan butir-butir hujan di dalam awan akan meningkat dan selanjutnya akan mempercepat terjadinya hujan. Awan yang digunakan untuk membuat hujan buatan adalah jenis awan Cumulus (Cu) yang bentuknya seperti bunga kol. Setelah lokasi awan diketahui, pesawat terbang yang membawa bubuk khusus untuk menurunkan hujan diterbangkan menuju awan.

Bubuk khusus terdiri dari glasiogenik berupa Perak Iodida. Zat itu berfungsi untuk membentuk es. Pesawat juga membawa bubuk untuk

“menggabungkan” butir-butir air di awan yang bersifat higroskopis seperti garam dapur atau Natrium Chlorida (NaCl), atau CaCl_2 dan Urea. Bahan-bahan ini “disebar” dengan bantuan pesawat terbang, roket, dan disebar dari daerah tinggi (misal: puncak gunung). Penyebaran bahan “bibit hujan” tadi, harus memperhatikan kondisi yang akurat tentang arah angin, kelembapan dan tekanan udara, serta peluang terjadinya awan. Kerap terjadi, bahan-bahan yang sudah “disebar” tadi tidak menghasilkan hujan, justru “hilang” begitu saja. Kualitas air “hujan buatan” tidak terlalu berbeda dengan “hujan asli”, jadi tidak perlu kuatir air hujannya berasa “asin” atau berbau (Anonim, 2014d; Anonim, 2014e).

Untuk bisa membentuk hujan deras, biasanya dibutuhkan bubuk khusus sebanyak 3 ton yang disemai ke awan Cumulus selama 30 hari. Proses membuat hujan buatan ini belum tentu berhasil, bisa saja gagal atau malah hujan buaatannya jatuh di tempat yang salah, padahal sudah memakan biaya yang besar dalam pembuatannya. Oleh karena itu, penyebaran bibit hujan harus memperhatikan arah angin, kelembapan dan tekanan udara (Anonim, 2014d; Anonim, 2014e).

Total anggaran yang digunakan untuk membuat hujan buatan di Provinsi Riau, Jambi dan Kalimantan Timur adalah Rp 15,88 Miliar. Terakhir, hujan buatan ini dilakukan di Provinsi Jakarta guna meminimalisir terjadinya banjir. Mudah-mudahan dengan adanya teknologi hujan buatan ini dapat membantu penanggulangan bencana yang ada di Indonesia. Sebagai contoh, Unit Pelaksana Teknis Hujan Buatan Badan Penerapan dan Pengkajian Teknologi, mendapat alokasi anggaran sebesar Rp 20 miliar untuk melakukan rekayasa cuaca selama dua bulan, yakni tanggal 14 Januari-14 Maret 2014. Dana tersebut diambil dari anggaran milik Badan Nasional Penanggulangan Bencana. Alokasi terbesar dari rekayasa cuaca adalah untuk biaya operasional pesawat terbang yang digunakan untuk penyemaian natrium klorida di atas awan. Secara hitungan, biaya operasional pesawat menyedot anggaran sebesar 61 persen. Untuk biaya bahan baku yang disemai,

atau natrium klorida, memakan alokasi dana 27 persen. Sedangkan sisanya sebesar 6 persen untuk gaji atau upah, 4 persen untuk jasa dan sewa, serta kebutuhan penyediaan darat sebesar 2 persen. Biaya operasional pesawat berbeda dengan biaya menyewa pesawat TNI Angkatan Udara. Sebab, yang dikeluarkan hanyalah biaya bahan bakar, perawatan pesawat, serta duit operasional untuk pilot dan kru pesawat. Untuk satu jam terbang dengan pesawat Hercules membutuhkan biaya bahan bakar avtur sekitar Rp 40 juta per jam. Sedangkan untuk biaya perawatannya sekitar US\$ 4.000 per jam (Anonim, 2014g).

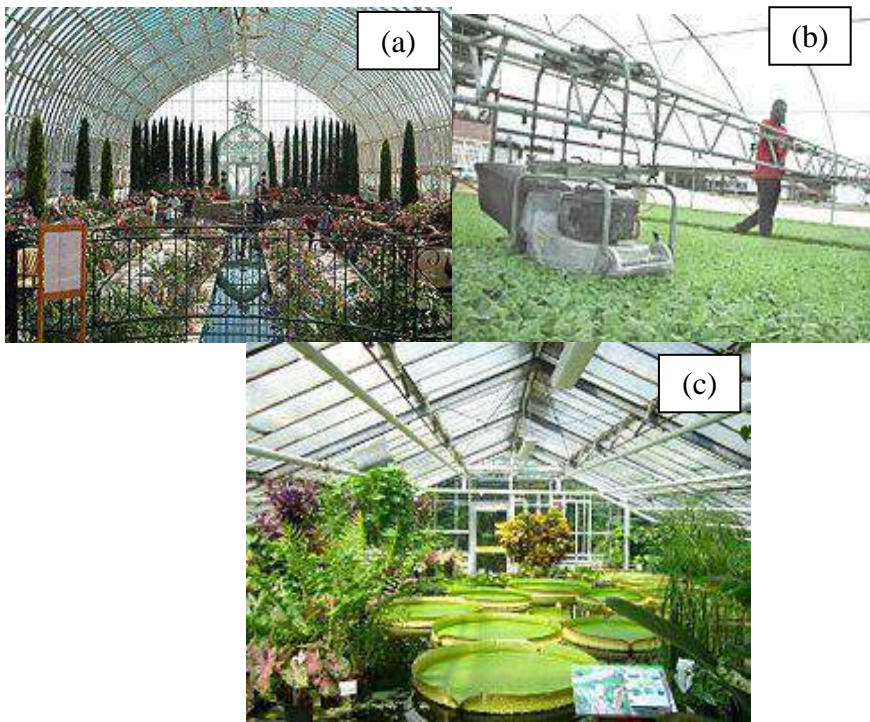
2. Rumah Kaca (*Green house*)

a. Definisi Rumah Kaca

Bangunan untuk produksi tanaman umum disebut *green house* atau rumah kaca atau rumah tanaman; istilah terakhir muncul sejak pembangunan *green house* tidak lagi menggunakan kaca, tetapi juga plastik dan fiberglass dengan alasan teknis maupun ekonomi. Istilah *green house* yang diciptakan di Amerika, disebut demikian karena merupakan bangunan tempat menumbuhkan tanaman yang dapat sepanjang tahun hijau terus, meskipun di luar sedang musim gugur atau musim dingin. Atap dan dinding rumah ini dulu terbuat dari kaca, sehingga orang Eropa menyebut bangunan beratap kaca itu *glass house* (Soeseno, 1991).

Rumah kaca yang disebut juga rumah hijau atau rumah tanaman adalah sebuah bangunan di mana tanaman dibudidayakan. Sebuah rumah kaca terbuat dari kaca atau plastik. Rumah kaca menjadi panas karena radiasi elektromagnetik yang datang dari matahari memanaskan tumbuhan, tanah, dan barang lainnya di dalam bangunan ini. Kaca yang digunakan untuk rumah kerja bekerja sebagai medium transmisi yang dapat memilih frekuensi spektral yang berbeda-beda, dan efeknya adalah untuk menangkap energi di dalam rumah kaca, yang memanaskan tumbuhan dan tanah di dalamnya yang juga memanaskan

udara dekat tanah dan udara ini dicegah naik ke atas dan mengalir keluar. Oleh karena itu rumah kaca bekerja dengan menangkap radiasi elektromagnetik dan mencegah konveksi. Rumah kaca sering kali digunakan untuk mengembangkan bunga, buah dan tanaman tembakau. Lebah dari genus *Bombus* adalah polinator pilihan untuk banyak polinasi rumah kaca, meskipun tipe lebah lain juga digunakan, dan juga polinasi buatan (Anonim, 2015a). Beberapa contoh rumah hijau ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. (a) Sebuah Rumah Hijau di Saint Paul, Minnesota; (b) Tanaman Tembakau di Dalam Rumah Tanaman Sedang Disiangi, di Hemingway, South Carolina; (c) Rumah Tanaman, Salah Satu Jenis Bangunan untuk Budidaya Pertanian yang Paling Umum (Sumber: Anonim, 2015a; 2015b)

b. Manfaat dan Penerapan Rumah Kaca

Orang mau bersusah payah membangun *green house* karena dengan bangunan itu suhu, kelembapan, cahaya, dan lain keperluan

tanaman dapat diatur sampai sayuran musiman dapat ditanam sepanjang tahun. Sayuran ini dapat dijual diluar musim dengan harga yang selalu berlipat ganda. Biaya pengusahaan dapat dengan mudah ditutup oleh keuntungan yang diperoleh (Soeseno, 1991). Banyak sayuran dan bunga yang dikembangkan di rumah kaca pada akhir musim dingin atau awal musim semi, yang kemudian dipindahkan ke luar begitu cuaca menjadi hangat. Ruangan yang tertutup dari rumah kaca mempunyai kebutuhan yang unik, dibandingkan dengan produksi luar ruangan. Hama dan penyakit, dan panas tinggi dan kelembapan, harus dikontrol, dan irigasi dibutuhkan untuk menyediakan air. Rumah kaca menjadi penting dalam penyediaan makanan di negara garis lintang tinggi. Kompleks rumah kaca terbesar di dunia terletak di Leamington, Ontario (dekat tempat paling selatan Kanada) di mana sekitar 200 "acre" (0.8 km²) tomat dikembangkan dalam kaca.

Rumah kaca melindungi tanaman dari panas dan dingin yang berlebihan, melindungi tanaman dari badai debu dan "blizzard", dan menolong mencegah hama. Pengontrolan cahaya dan suhu dapat mengubah tanah tak subur menjadi subur. Rumah kaca dapat memberikan suatu negara persediaan bahan makanan, di mana tanaman tak dapat tumbuh karena keganasan lingkungan. Hidroponik dapat digunakan dalam rumah kaca untuk menggunakan ruang secara efektif (Anonim, 2015a). Bentuk *green house* di negeri asalnya bermacam-macam. Ada yang berbentuk los seperti gudang tembakau dan berdiri sendiri di tengah lapangan terbuka. Ada yang menempel pada dinding rumah, dan ada pula yang berukuran kecil, sebagai *window green house* dan *sun room*, menempel pada rumah juga (Soeseno, 1991). Prihmantoro dan Indriani (1996) menyatakan bentuk *green house* beraneka ragam. Dapat seperti rumah biasa atau dibuat melengkung. Bila bentuknya seperti rumah biasa, tinggi *green house* dibuat sekitar 2,5 m. Adapun *green house* yang bentuknya melengkung tingginya dapat mencapai 4 m.

Rumah kaca umumnya dibangun di wilayah subtropis dan wilayah dengan empat musim. Bangunan ini diperlukan agar kegiatan bercocok tanam dapat dilakukan ketika temperatur cuaca mematikan bagi tanaman pertanian. Dengan rumah kaca, tanaman yang didalamnya terlindungi dari temperatur lingkungan serta mendapatkan temperatur yang cukup untuk pertumbuhannya. Hal ini dikarenakan cahaya matahari masih dapat menembus atap dan dinding rumah kaca, sedangkan panas yang dihasilkan dari elemen-elemen di dalam rumah kaca sulit keluar dan terperangkap di dalam, sehingga temperatur di dalam rumah kaca menumpuk dan mengimbangi temperatur dingin di luar, hal ini memungkinkan bagi tanaman untuk hidup.

Efek rumah kaca tidak dapat diterapkan di wilayah tropis karena temperatur yang meningkat akan mematikan tanaman yang didalamnya, mengingat bahwa temperatur lingkungan di wilayah tropis sudah cukup untuk pertumbuhan tanaman. *Green house* yang dibangun di wilayah tropis umumnya tidak melindungi tanaman dari temperatur udara luar. Hal ini karena konstruksi tembok yang tidak kedap udara dan atap yang berventilasi, memungkinkan udara panas naik dan keluar dari *green house*. Namun *green house* ini dapat melindungi tanaman dari hujan dan serangan hama (Anonim, 2015b).

Kebutuhan *green house* di Indonesia sebenarnya tidak terlalu vital karena iklim Indonesia telah sesuai dengan lingkungan hidup tanaman. Oleh karena itu, umumnya penggunaan *green house* di Indonesia lebih diutamakan untuk menjaga tanaman dari hujan, angin, mengurangi penguapan air dari daun dan media, serta memudahkan perawatan tanaman. Dengan adanya *green house* umumnya keadaan tanaman lebih baik, sehingga untuk usaha komersial keberadaan *green house* sangat penting (Prihmantoro dan Indriani, 1996).

Faktor lingkungan yang ada dalam *green house* adalah cahaya, temperatur, kelembapan, aliran udara, komposisi udara, dan media tanam. Sedangkan arah pengendalian faktor lingkungan tersebut

bergantung pada tujuan penggunaan *green house*. Pada daerah dengan empat musim, *green house* digunakan untuk melakukan kegiatan bercocok tanam di musim dingin atau menanam tanaman pertanian yang tidak sesuai dengan iklim dan musim setempat dengan mengendalikan kondisi lingkungan didalamnya. Misalnya, untuk menghindari udara dingin, ventilasi diminimalisasi sehingga udara dingin luar tidak dapat masuk dan panas yang terperangkap di dalam tidak keluar dengan mudah.

Untuk penggunaan di wilayah tropis, *green house* umumnya digunakan untuk melindungi tanaman dari hujan dan mencegah serangan hama dan penyakit, akibat tingginya kelembapan udara wilayah tropis karena curah hujan yang tinggi serta temperatur yang tinggi. Untuk itu, dinding *green house* umumnya terbuat dari kain kasa yang cukup rapat namun masih memungkinkan aliran udara dari luar masuk ke dalam maupun sebaliknya. Selain itu, atapnya berventilasi sehingga udara panas di dalam dapat keluar dengan mudah. Untuk pemilihan bahan konstruksi bangunan, tipe *green house* ini tidak membutuhkan jenis bahan pertanian khusus melainkan bahan yang tahan terhadap korosi mengingat wilayah tropis memiliki kelembapan udara yang tinggi.

Untuk penggunaan di daerah gurun, rumah kaca berfungsi untuk menurunkan temperatur udara di dalam, sehingga tidak sepanas udara di lingkungan luar. Hal ini bertujuan agar tanaman dapat tumbuh, karena pada umumnya kondisi gurun terlalu ekstrem untuk tanaman pertanian. Tipe *green house* seperti ini umumnya tertutup dengan atap yang tidak bening, namun agak teduh untuk mengurangi intensitas cahaya yang masuk. Pengendalian kelembapan udara juga diperhatikan, mengingat lingkungan gurun sangat kering.

3. Hidroponik

a. Pengertian Hidroponik

Hidroponik adalah budidaya menanam dengan memanfaatkan air tanpa menggunakan tanah dengan menekankan pada pemenuhan kebutuhan nutrisi bagi tanaman. Kebutuhan air pada hidroponik lebih sedikit daripada kebutuhan air pada budidaya dengan tanah. Hidroponik menggunakan air yang lebih efisien, jadi cocok diterapkan pada daerah yang memiliki pasokan air yang terbatas (Anonim, 2015c). Pengertian pertanian hidroponik atau yang dalam bahasa Inggris ditulis *hydroponic* adalah berasal dari kata Yunani, yaitu "*hydro*" artinya air dan "*ponos*" berarti kerja atau daya. Hidroponik juga merupakan *soiless culture* atau budidaya tanaman tanpa menggunakan tanah. Jadi, pengertian hidroponik adalah budidaya tanaman dengan memanfaatkan air dan tanpa menggunakan tanah sebagai media tanam atau *soiless* dari tanaman, serta menekankan pada pemenuhan kebutuhan nutrisi bagi tanaman (Anonim, 2015d).

Pengertian hidroponik secara bebas adalah teknik bercocok tanam dengan menekankan pada pemenuhan kebutuhan nutrisi bagi tanaman, atau dalam pengertian sehari-hari bercocok tanam tanpa tanah. Berdasarkan pengertian ini terlihat bahwa munculnya teknik bertanam secara hidroponik diawali oleh semakin tingginya perhatian manusia akan pentingnya kebutuhan pupuk bagi tanaman (Anonim, 2015c). Tanaman yang tumbuh dimanapun akan tetap dapat tumbuh dengan baik apabila nutrisi (unsur hara) yang dibutuhkan selalu tercukupi. Dalam hal ini fungsi dari tanah adalah untuk penyangga tanaman dan air yang ada merupakan pelarut nutrisi, untuk kemudian bisa diserap tanaman. Pola pikir inilah yang menjadi dasar teknik bertanam dengan hidroponik, di mana yang ditekankan adalah pemenuhan kebutuhan nutrisi.

b. Jenis-jenis Hidropoik

Beberapa jenis hidroponik antara lain (Anonim, 2015c):

- 1) *Static solution culture* (kultur air statis). Di Indonesia, *static solution culture* lebih dikenal dengan istilah sistem sumbu (*wick system*) ataupun teknik apung. Merupakan salah satu sistem hidroponik yang paling sederhana sekali dan biasanya digunakan oleh kalangan pemula. Sistem ini termasuk pasif, karena tidak ada part-part yang bergerak. Nutrisi mengalir ke dalam media pertumbuhan dari dalam wadah menggunakan sejenis sumbu.
- 2) *Continuous-flow solution culture*, contoh: NFT (*Nutrient Film Technique*/Teknik Lapisan Nutrisi), DFT (*Deep Flow Technique*). Sistem NTF adalah cara yang paling populer dalam istilah hidroponik. Sistem NTF ini secara terus menerus mengalirkan nutrisi yang terlarut dalam air tanpa menggunakan *timer* untuk pompanya. Nutrisi ini mengalir ke dalam *gully* melewati akar-akar tumbuhan dan kemudian kembali lagi ke penampungan air, begitu seterusnya.
- 3) *Aeroponics* (aeroponik). Merupakan sistem hidroponik yang paling canggih dan mungkin memberikan hasil terbaik, serta tercepat dalam pertumbuhan dalam berkebun hidroponik. Hal ini dimungkinkan karena larutan nutrisi diberikan atau disemprotkan berbentuk kabut langsung ke akar, sehingga akar tanaman lebih mudah menyerap larutan nutrisi yang banyak mengandung oksigen. Sementara tanaman sangat membutuhkan nutrisi dan oksigen dalam pertumbuhannya.
- 4) *Drip system* (sistem tetes). Merupakan system hidroponik yang sering digunakan untuk saat ini. Sistem operasinya sederhana yaitu dengan menggunakan *timer* untuk mengontrol pompa. Pada saat pompa dihidupkan, pompa meneteskan nutrisi ke masing-masing tanaman. Supaya berdiri tegak, tanaman ditopang

menggunakan media tanam lain, seperti cocopit, sekam bakar, zeolit, pasir, dan lain-lain selain tanah.

- 5) *Ebb and flow* atau *flood and drain sub-irrigation*. Menggunakan tanki larutan nutrisi yang ditempatkan di bawah ketinggian tanaman yang ditanam, dimana larutan nutrisi dipompakan secara berkala dan kemudian dialirkan kembali ke tanki. Pengaliran larutan nutrisi ini dapat secara mudah dilakukan dengan mekanisme otomatis.
- 6) *Deep water culture*. Merupakan sistem hidroponik sederhana yang menumbuhkan tanaman secara mengambang di atas larutan nutrisi. Tanaman ditahan menggunakan jaring dengan akar tanaman di dalam air. Larutan nutrisi mengalir gelembung udara yang memperkaya oksigen dalam larutan yang berguna bagi akar untuk tumbuh.
- 7) *Bubbleponics*. Pada masa awal pertumbuhan akar larutan nutrisi dipompakan melalui pembentuk gelembung untuk memperkaya kandungan oksigen di dalam larutan yang terbukti membantu pertumbuhan akar dari tanaman.
- 8) *Passive sub-irrigation*.
- 9) *Run to waste*.
- 10) *Bioponic*.

Media tanam inert adalah media tanam yang tidak menyediakan unsur hara. Pada umumnya media tanam inert berfungsi sebagai *buffer* dan penyangga tanaman. Beberapa contoh di antaranya adalah arang sekam, spons, *expanded clay*, *rock wool*, *coir*, *perlite*, *pumice*, *vermiculite*, pasir, kerikil, dan serbuk kayu (Anonim, 2015c). Gambar 4 menampilkan beberapa contoh budidaya hidroponik.



Gambar 4. Contoh Budidaya Hidroponik.

Jenis-jenis tanaman yang biasa ditanam menggunakan media hidroponik meliputi:

- 1) Tanaman sayur-sayuran, seperti selada, sawi, pakchoi, tomat, wortel, asparagus, brokoli, cabai, seledri, bawang merah, bawang putih, bawang daun, terong, dan lain-lain.
- 2) Tanaman buah, seperti melon, tomat, mentimum, semangka, strawberi, paprika, dan lain-lain.
- 3) Tanaman hias, seperti krisan, gerbera, anggrek, kaladium, kaktus, dan lain-lain.

Selain ketiga jenis tanaman tersebut, beberapa jenis tanaman untuk keperluan pertamanan dan tanaman obat-obatan juga dapat dibudidayakan dengan sistem hidroponik. Pada hakekatnya cara hidroponik berlaku untuk semua jenis tanaman, baik tahunan, biennial, maupun annual. Namun pada umumnya jenis yang dipilih dalam penanaman hidroponik adalah tanaman annual (semusim). Untuk keperluan hiasan, pot dan tanaman akan relatif lebih bersih, sehingga untuk merancang interior ruangan dalam rumah akan bisa lebih leluasa dalam menempatkan pot-pot hidroponik. Bila tanaman yang digunakan adalah tanaman bunga, untuk bunga tertentu bisa diatur warna yang dikehendaki, tergantung tingkat keasaman dan basa larutan yang dipakai dalam pelarut nutrisinya.

Soeseno (1991) mengelompokkan jenis-jenis tanaman yang dapat dihidroponikkan menjadi bunga-bunga, semak hiasan, perdu dan pohon hiasan, sayur, dan buah-buahan. Lingga (2006) menyebutkan menanam tanaman secara hidroponik pada dasarnya dapat dibagi menjadi dua, yaitu menanam untuk hobi dan menanam untuk usaha. Untuk hobi, tanaman hidroponik dapat ditempatkan di dalam ruangan (rumah) maupun di halaman. Beberapa tanaman hias bunga yang telah sukses dihidroponikkan, yaitu begonia, anyelir, cyclamen, delphinium, fuchia, geranium, bakung, kenikir, pansy, petunia, arcis manis, kalla kuning, kembang kertas, anggrek, mawar, aralia, dan bromelia. Tanaman yang dihidroponikkan dalam skala usaha umumnya ditempatkan dalam rumah plastik yang terletak di kebun. Jenis tanaman yang diusahakan biasanya dipilih yang bernilai ekonomis tinggi (tanaman eksklusif), seperti paprika, lettuce, tomat, melon, mentimun Jepang, dan sebagainya.

c. Kelebihan dan Kekurangan Hidropik

Tanaman hidroponik bisa dilakukan secara kecil-kecilan di rumah sebagai suatu hobi ataupun secara besar-besaran dengan tujuan

komersial. Beberapa keuntungan teknik pertanian hidroponik, yaitu (Anonim, 2015c; Anonim, 2015d; Lingga, 1986; Lingga, 2006):

- 1) Tidak membutuhkan tanah.
- 2) Air akan terus bersirkulasi di dalam sistem dan bisa digunakan untuk keperluan lain, misal disirkulasikan ke akuarium.
- 3) Mudah dalam pengendalian nutrisi sehingga pemberian nutrisi bisa lebih efisien.
- 4) Relatif tidak menghasilkan polusi nutrisi ke lingkungan.
- 5) Hasil produksi lebih kontinu dan lebih tinggi dibanding dengan penanaman di tanah.
- 6) Mudah dalam memanen hasil.
- 7) Steril dan bersih.
- 8) Bebas dari tumbuhan pengganggu.
- 9) Media tanam dapat dilakukan selama bertahun-tahun.
- 10) Bebas dari tumbuhan pengganggu/gulma.
- 11) Tanaman tumbuh lebih cepat.
- 12) Harga jual produk hidroponik lebih tinggi dari produk non-hidroponik.
- 13) Beberapa jenis tanaman bisa dibudidayakan di luar musim.
- 14) Tidak ada resiko banjir, erosi, kekeringan, atau ketergantungan pada kondisi alam.
- 15) Tanaman hidroponik dapat dilakukan pada lahan atau ruang yang terbatas, misalnya di atap, dapur, atau garasi.

Menanam dengan sistem hidroponik terbukti memiliki beberapa kelebihan dibanding sistem konvensional berkebun dengan tanah. Tingkat pertumbuhan tanaman pada sistem hidroponik adalah 30-50 persen lebih cepat dari tanaman yang menggunakan media tanah, tumbuh di bawah kondisi yang sama. Selain itu, hasil tanaman juga lebih besar. Beberapa kelebihan tanaman dengan sistem hidroponik, antara lain (Lingga, 1986; Lingga, 2006):

- 1) Ramah lingkungan karena tidak menggunakan pestisida atau obat hama yang dapat merusak tanah, menggunakan air hanya 1/20 dari tanaman biasa, dan mengurangi CO₂ karena tidak perlu menggunakan kendaraan atau mesin.
- 2) Tanaman ini tidak merusak tanah karena tidak menggunakan media tanah dan juga tidak membutuhkan tempat yang luas.
- 3) Bisa memeriksa akar tanaman secara periodik untuk memastikan pertumbuhannya.
- 4) Pemakaian air lebih efisien, karena penyiraman air tidak perlu dilakukan setiap hari, sebab media larutan mineral yang dipergunakan selalu tertampung di dalam wadah yang dipakai.
- 5) Hasil tanaman bisa dimakan secara keseluruhan termasuk akar, karena terbebas dari kotoran dan hama.
- 6) Lebih hemat karena tidak memerlukan penyiraman air setiap hari, tidak membutuhkan lahan yang banyak, media tanaman bisa dibuat secara bertingkat.
- 7) Pertumbuhan tanaman lebih cepat dan kualitas hasil tanaman dapat terjaga.
- 8) Bisa menghemat pemakaian pupuk tanaman.
- 9) Tidak perlu banyak tenaga kerja.
- 10) Lingkungan kerja lebih bersih.
- 11) Tidak ada masalah hama dan penyakit tanaman yang disebabkan oleh bakteri, kulat dan cacing nematode yang banyak terdapat dalam tanah.
- 12) Dapat menanam di mana saja, bahkan di garasi dan tanah yang berbatu.
- 13) Dapat ditanam kapan saja, karena tidak mengenal musim.

Selain beberapa kelebihan budidaya hidroponik, terdapat beberapa kelemahan budidaya hidroponik antara lain:

- 1) Ketersediaan dan pemeliharaan perangkat hidroponik agak sulit.

- 2) Memerlukan keterampilan khusus untuk menimbang dan meramu bahan kimia.
- 3) Investasi awal yang mahal.
- 4) Kendala perusahaan skala besar adalah persaingan dengan produk sejenis dari pertanian tradisional yang harganya lebih murah.

Beberapa faktor penting yang harus diperhatikan adalah:

- 1) Larutan nutrisi. Larutan nutrisi yang digunakan harus memperhatikan jumlah dan unsur pH yang sesuai. Unsur pH berkisar 5,5 hingga 7,5. Larutan nutrisi ini mengandung konsentrasi N, P, K, Ca, Mg, dan S dalam jumlah yang besar, sedangkan unsur Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo, dan Cl dalam jumlah yang kecil. Larutan hara dibuat dengan cara melarutkan garam-garam pupuk dalam air. Berbagai garam jenis pupuk dapat digunakan untuk larutan hara, pilihan biasanya atas harga dan kelarutan garam pupuk tersebut.
- 2) Media tanam. Media tanam yang digunakan, antara lain batu bata, pasir, kerikil, arang sekam, spons, batu apung, dan lain-lain.
- 3) Air. Ketersediaan air harus diperhatikan baik kualitas yang digunakan, tingkat salinitas tidak melebihi 2500 ppm dan nilai EC tidak lebih dari 6,0 mmhos/cm. Air tidak boleh mengandung terlalu banyak unsur logam berat.
- 4) Oksigen. Oksigen memegang peranan penting dalam hidroponik. Kekurangan oksigen akan menyebabkan dinding sel sulit untuk ditembus, sehingga tanaman akan kekurangan air. Dengan demikian tanaman akan cepat layu, karena larutan tidak mengandung oksigen. Pemberian larutan ke dalam larutan dapat melalui gelembung udara, seperti pompa air gelembung yang dipakai akuarium, penggantian larutan nutrisi secara rutin, membersihkan atau mencabut akar tanaman yang terlalu panjang, dan memberikan lubang ventilasi pada tempat penanaman.

Budidaya tanaman dengan menggunakan sistem hidroponik dengan berbagai kelebihan dan kelemahannya dapat menjadi alternatif dalam pemilihan teknik penanaman. Sistem penanaman hidroponik dapat dikembangkan mulai dari cara yang sangat sederhana hingga modern, baik untuk sekedar keperluan mengembangkan hobi, dalam skala kecil hingga skala besar yang komersial (Karyati, 2016).

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2010. Hubungan Epidemiologi dengan Ilmu Klimatologi. Tersedia di laman <http://sikeceng.blogspot.com/2010/07/hubungan-epidemiologi-dengan-ilmu.html>. Diakses pada 15 Juli 2010.
- Anonim. 2014a. Ekologi Tanaman. Tersedia di laman <http://adspinter.blogspot.com/2011/08/ekologi-tanaman.html>. Diakses pada 9 September 2014.
- Anonim. 2014b. Pengaruh Cuaca Iklim dan Tanaman. Tersedia di laman <http://yprawira.wordpress.com/pengaruh-cuaca-iklim-dan-tanaman/>. Diakses pada 12 Mei 2014.
- Anonim. 2014c. Optimalisasi Pemanfaatan Lahan Pekarangan. Tersedia di laman <http://epetani.deptan.go.id/budidaya/optimalisasi-pemanfaatan-lahan-pekarangan-8408>. Diakses pada 12 Mei 2014.
- Anonim. 2014d. Hujan Buatan dan Cara Membuat Hujan Buatan. Tersedia di laman <http://iqbalparabi.com/hujan-buatan-dan-cara-membuat-hujan-buatan/>. Diakses pada 17 Agustus 2014.
- Anonim. 2014e. Hujan Buatan atau Modifikasi Cuaca. Tersedia di laman <http://indonesiaindonesia.com/f/86063-hujan-buatan-modifikasi-cuaca>. Diakses pada 17 Agustus 2014.
- Anonim. 2014f. Bahan Semai. Tersedia di laman http://id.wikipedia.org/wiki/Bahan_semai. Diakses pada 9 September 2014.
- Anonim. 2014g. Biaya Rekayasa Cuaca Mencapai Rp 20 Miliar. Tersedia di laman <http://www.tempo.co/read/news/2014/01/21/206546824/Biaya-Rekayasa-Cuaca-Mencapai-Rp-20-Miliar>. Diakses pada 18 November 2014.
- Anonim. 2015a. Rumah Kaca. Tersedia di laman http://id.wikipedia.org/wiki/Rumah_kaca. Diakses pada 9 September 2015.
- Anonim. 2015b. Lingkungan dan Bangunan Pertanian. Tersedia di laman http://id.wikipedia.org/wiki/Lingkungan_dan_bangunan_pertanian. Diakses pada 9 September 2015.

- Anonim. 2015c. Hidroponik. Tersedia di laman <http://id.wikipedia.org/wiki/Hidroponik>. Diakses pada 27 Mei 2015.
- Anonim. 2015d. Pengertian Pertanian Hidroponik dan Aeroponik. Tersedia di laman <http://hutantani.blogspot.com/>. Diakses pada 27 Mei 2015.
- Arief, A. 1994. Hutan, Hakikat dan Pengaruhnya Terhadap Lingkungan. Yayasan Obor Indonesia. Jakarta.
- Arifin, M. 1993. Pengaruh Kebakaran Hutan Terhadap Beberapa Aspek Hidrologis dan Mikroklimat di Taman Bukit Soeharto. Proyek Peningkatan Perguruan Tinggi. Jurusan Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan, Universitas Mulawarman. Samarinda.
- Assholihat, N.K., Karyati dan Syafrudin, M. 2019. Suhu dan Kelembapan Tanah Pada Tiga Penggunaan Lahan di Kota Samarinda, Provinsi Kalimantan Timur Ulin Jurnal Hutan Tropis, 3(1): 41-49.
- Beredi. 2010. Studi Tentang Fluktuasi Suhu Tanah pada Kedalaman Berbeda pada Tegakan Jati di Kelurahan Lempake Samarinda Utara. Skripsi Sarjana Fakultas Kehutanan Universitas Mulawarman. Samarinda. (Tidak Dipublikasikan).
- Biantary, M.P. 2003. Studi tentang Hutan Kota Sebagai Pengatur Iklim Mikro di Wilayah Kota Samarinda Kalimantan Timur. Tesis Magister Ilmu Kehutanan. Program Pasca Sarjana Universitas Mulawarman. Samarinda. (Tidak Dipublikasikan).
- Daldjoeni, N. 1986. Pokok-pokok Klimatologi. Penerbit Alumni. Bandung.
- Dephut R.I. 1989. Kamus Kehutanan. Edisi Pertama. Departemen Kehutanan Republik Indonesia. Jakarta.
- Ernas, A. 2002. Kondisi Iklim Mikro pada Hutan Koleksi Lempake. Skripsi Sarjana Fakultas Kehutanan Universitas Mulawarman. Samarinda. (Tidak Dipublikasikan).
- Fageria, N.K., Baligar, V. C. & Jones, C. A. 1997. Growth and Mineral Nutrition of Field Crops. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Faisal, 2009. Pengaruh Iklim Mikro terhadap Laju Dekomposisi Serasah Tegakan Jati pada Umur yang Berbeda di Daerah Lempake. Skripsi Sarjana Fakultas Kehutanan Universitas Mulawarman. Samarinda. (Tidak Dipublikasikan).

- Gardner, F.P, R.B. Pearce dan R.L. Mitchell. 1991. Fisiologi Tanaman Budidaya. Universitas Indonesia Press. Jakarta.
- Hadriyanto, D. 2007. Perkembangan Morfologis Semai *Shorea pauciflora* King pada Intensitas dan Kualitas Cahaya Berbeda. Rimba Kalimantan, 12(2): 92-101.
- Harris, R. W. 1992. Arboriculture: Integrated Management of Landscape Trees, Shrubs, and Vines. Prentice Hall Career & Technology. New Jersey.
- Kartasapoetra, A.G., 1993. Klimatologi: Pengaruh Iklim Terhadap Tanah dan Tanaman. Bumi Aksara. Jakarta.
- Karyati. 2004. Pengaruh Iklim dalam Konservasi Tanah dan Air. Buletin Bappeda Kaltim, VI(57): 33-38.
- Karyati. 2007. Pengaruh Perbedaan Intensitas Cahaya Terhadap Pertumbuhan dan Respon Morfologi Jati (*Tectona grandis* Linn.f.) dan Mahoni (*Swietenia mahagoni* King and (L.) Jacq.). Rimba Kalimantan, 12(2): 82-91.
- Karyati. 2014a. Persyaratan Faktor Iklim dan Tanah Beberapa Jenis Sayur-sayuran. Lembusuana, XIV(159): 41-46.
- Karyati. 2014b. Kesesuaian Iklim dan Tanah untuk Penanaman Buah-buahan. Lembusuana, XIV(162): 11-16.
- Karyati. 2014c. Interaksi antara Iklim, Tanah dan Tanaman Tahunan. Magrobis, 14(2): 39-45.
- Karyati. 2015. Pengaruh Iklim Terhadap Jumlah Kunjungan Wisata di Kebun Raya Unmul Samarinda (KRUS). Jurnal Riset Kaltim, 3(1): 50-57.
- Karyati. 2016. Hidroponik Alternatif Budidaya Tanaman Tanpa Tanah. Lembusuana, XVI(185): 1-6.
- Karyati dan Ardianto, S. 2016. Dinamika Suhu Tanah pada Kedalaman Berbeda di Hutan Pendidikan Fakultas Kehutanan Universitas Mulawarman. Jurnal Riset Kaltim, 4(1): 1-12.
- Karyati, Ardianto, S. dan Syafrudin, M. 2016. Fluktuasi Iklim Mikro di Hutan Pendidikan Fakultas Kehutanan Universitas Mulawarman. Agrifor, XV(1): 83-92.

- Karyati, Ramadhani, D.S. dan Syafrudin, M. 2017a. Karakteristik Morfologis dan Anatomis Daun Tumbuhan Tingkat Semai pada Paparan Cahaya Berbeda di Hutan Pendidikan Fakultas Kehutanan Universitas Mulawarman. *Ulin*, 1(1): 29-38.
- Karyati, Ransun, J.R. & Syafrudin, M. 2017b. Karakteristik Morfologis dan Anatomis Daun Tumbuhan Herba pada Paparan Cahaya Berbeda di Hutan Pendidikan Fakultas Kehutanan Universitas Mulawarman. *Agrifor*, XVI(2): 243-256.
- Karyati, Putri, R.O. dan Syafrudin, M. 2018. Suhu dan Kelembapan Tanah pada Lahan Revegetasi Pasca Tambang di PT Adimitra Baratama Nusantara, Provinsi Kalimantan Timur. *Agrifor*, XVII(1): 103-114.
- Kasperbauer MJ. 1994. Light and Plant Development. In *Plant-Environment Interactions* (Wilkinson RE, ed.), pp. 83- 123. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Kimball, M.H. dan Gilbert, D.E. 1967. Plantclimate Mapping: The Key to Conservation of Resources). Dalam *Dalam Ground Level Climatology* (Shaw, R.H. Ed.). American Association for the Advancement of Science. Washington, D.C.
- Kumalasari, L. 2006. Fluktuasi Beberapa Unsur Cuaca pada Kebun Jati dan Alang-alang di Lempake Skripsi Sarjana Fakultas Kehutanan Universitas Mulawarman. Samarinda (Tidak Dipublikasikan).
- Lakitan, B. 1994. *Dasar-dasar Klimatologi*. RajaGrafindo Persada. Jakarta.
- Lesmono, B. 2006. Studi Karakteristik Iklim Mikro pada Areal Agroforestri di Desa Loleng. Skripsi Sarjana Fakultas Kehutanan Universitas Mulawarman. Samarinda. (Tidak Dipublikasikan).
- Lingga, P. 1986. *Hidroponik Bercocok Tanam Tanpa Tanah*. Seri Pertanian. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Lingga, P. 2006. *Hidroponik Bercocok Tanam Tanpa Tanah (Edisi Revisi)*. Seri Agritekno. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Manan, M.E. dan A. Suhardianto., 1999. *Klimatologi Pertanian*. Universitas Terbuka Depdikbud. Jakarta.

- Marlatt, W.E. 1965. The Effect of Weather Modification on Physical Processes in the Microclimate. Dalam *Ground Level Climatology* (Shaw, R.H. Ed.). American Association for the Advancement of Science. Washington, D.C.
- Munn, R.E. 1966. *Descriptive Micrometeorology*. Academic Press Inc. New York.
- Nakasone, H.Y. & Paull R.E. 1998. *Tropical Fruits*. CAB International. UK.
- Pancel, L. 1993. Species Selection. In: Pancel, L. (Ed.) *Tropical Forestry Handbook*. Vol.1. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg.
- Prihmantoro, H. dan Indriani, Y.H. 1996. *Hidroponik Tanaman Buah untuk Bisnis dan Hobi*. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Putri, R.O., Karyati dan Syafrudin, M. 2018. Iklim Mikro Lahan Revegetasi Pasca Tambang di PT Adimitra Baratama Nusantara, Provinsi Kalimantan Timur. *Ulin Jurnal Hutan Tropis*, 2(1): 26-34.
- Purwoto, H. 2007. Studi Tentang Fluktuasi Suhu Tanah pada Kedalaman Berbeda di Areal Agroforestri dan Lahan Kritis di Desa Loleng Kecamatan Kota Bangun Kabupaten Kutai Kartanegara. Skripsi Sarjana Fakultas Kehutanan Universitas Mulawarman. Samarinda. (Tidak Dipublikasikan).
- Rosenberg, N.J. 1967. The Influence and Implications of Windbreaks on Agriculture in Dry Regions. Dalam *Ground Level Climatology* (Shaw, R.H. Ed.). American Association for the Advancement of Science. Washington, D.C.
- Sabaruddin, L. 2012. *Agroklimatologi: Aspek-aspek Klimatik untuk Sistem Budidaya Tanaman*. Alfabeta. Bandung.
- Salunkhe, D.K. & Deshpande, S.S. 1991. *Foods of Plant Origin: Production, Technology, and Human Nutrition*. Van Nostrand Reinhold. New York.
- Saputra, M.G. 2007. Pengaruh Iklim Mikro Terhadap Laju Dekomposisi Serasah Tanaman Jati di Kecamatan Samboja Kabupaten Kutai Kartanegara. Skripsi Sarjana Fakultas Kehutanan Universitas Mulawarman. Samarinda (Tidak Dipublikasikan).
- SFMP. 1999. *Petunjuk Teknis Rehabilitasi Hutan Bekas Terbakar di Areal HPH*. SFMP. Samarinda.

- Siswo. 2017. Gambar Awan Cumulus beserta Pengertian, Ciri-ciri, dan Jenis-jenisnya. Tersedia di laman <https://satujam.com/awan-cumulus/>. Diakses pada 9 April 2019.
- Soeseno, S. 1991. Bercocok Tanam Secara Hidroponik. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Sopandie, D. 2013. Fisiologi Adaptasi Tanaman terhadap Cekaman Abiotik pada Agroekosistem Tropika. IPB Press. Bogor.
- Sosrodarsono, S. dan Takeda, K. 1999. Hidrologi untuk Pengairan. Paradnya Paramita. Jakarta.
- Sudaryono. 2001. Pengaruh Bahan Pengkondisi Tanah Terhadap Iklim Mikro pada Lahan Berpasir. Jurnal Teknologi Lingkungan. 2(2): 175-184.
- Sutedjo, M.M. 2004. Analisis Tanah, Air, dan Jaringan Tanaman. Rineka Cipta. Jakarta.
- Tim Kashiko. 2004. Kamus Lengkap Biologi. Kashiko Publisher. Surabaya.
- Tjasyono, B. 1999. Klimatologi Umum. ITB. Bandung.

MIKROKLIMATOLOGI HUTAN

Keberadaan hutan berpengaruh terhadap tanah, iklim dan lingkungan disekitarnya. Pengaruh hutan terhadap iklim, baik iklim mikro, iklim meso dan iklim makro yang terjadi dalam jangka waktu singkat maupun jangka waktu yang panjang. Hubungan vegetasi dalam hutan dan iklim saling mempengaruhi satu sama lain. Unsur-unsur cuaca dan iklim berpengaruh terhadap berbagai parameter pertumbuhan tanaman. Buku ini membahas pengaruh unsur-unsur cuaca dan iklim terhadap berbagai parameter pertumbuhan tanaman disertai dengan berbagai hasil penelitian terkait. Informasi yang disajikan dalam buku ini diharapkan dapat berguna bagi para mahasiswa dan mereka yang mempelajari dan berkecimpung di bidang pertanian, kehutanan, dan lingkungan serta bidang terkait lainnya.



Dr. Karyati, S.Hut, M.P. adalah Lektor Kepala di Universitas Mulawarman. Telah menempuh pendidikan S1 (Sarjana Kehutanan) di Fakultas Kehutanan, Universitas Mulawarman (1991-1996), S2 (Magister Pertanian) di Program Pasca Sarjana Kehutanan, Universitas Mulawarman (1996-1998), dan Program Doktorat (S3) di Faculty of Resource Science and Technology (Fakulti Sains dan Teknologi Sumber), Universiti Malaysia Sarawak (2009-2013). Sejak tahun 1999 menjadi dosen di Fakultas Kehutanan, Universitas Mulawarman dan

mengajar mata kuliah Agroklimatologi, Mikroklimatologi Hutan, Konservasi Tanah dan Air, dan Teknologi Konservasi Tanah dan Air. Sejumlah artikel penelitian terkait bidang ilmu yang diteliti telah dipublikasikan dalam jurnal ilmiah internasional dan nasional. Aktif mengikuti kegiatan pelatihan, seminar nasional dan internasional, serta pengabdian pada masyarakat. Telah menulis buku berjudul "Jenis-jenis Tumbuhan Bawah di Hutan Pendidikan Fakultas Kehutanan Universitas Mulawarman" dan "Teknologi Konservasi Tanah dan Air" yang diterbitkan oleh Mulawarman University Press pada tahun 2018.



Penerbit
Mulawarman University PRESS
Gedung LP2M Universitas Mulawarman
Jl. Krayan, Kampus Gunung Kelua
Samarinda - Kalimantan Timur - Indonesia 75125
Telp/Fax (0541) 747433, Email - mup@ppm.unmul.ac.id

ISBN 978-623-7480-04-4



9 786237 480044