

PENGARUH CAHAYA TERHADAP PERTUMBUHAN TANAMAN
(Suatu Kajian Pustaka)



Oleh
Ir. U T A M I , M S
NIP. 19540527 1983 03 2001
Prodi : AGROEKOTEKNOLOGI

FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS UDAYANA
2018

Daftar Isi

Daftar Isi	2
Daftar Tabel	3
I PENDAHULUAN.....	4
1.1 Latar Belakang	5
1.2 Cahaya Matahari	6
1.3 Kuantitas Cahaya	8
1.4 Kualitas Cahaya	9
II CAHAYA SEBAGAI FAKTOR TUMBUH.....	12
2.1 Karakteristik Radiasi Matahari	13
2.2 Respon Tanaman terhadap Radiasi Matahari	17
2.3 Sifat Optik Tanaman	18
2.4 Radiasi Neto	20
2.5 Distribusi Radiasi di dalam Tajuk Tanaman	23
III INTENSITAS CAHAYA DAN PENGGOLONGAN TANAMAN	26
3.1 Struktur Kanopi dan Intersepsi Cahaya	28
3.2 Biomassa dan Intersepsi Cahaya.....	31
IV RESPON TANAMAN TERHADAP INTENSITAS CAHAYA RENDAH	34
V KESIMPULAN	38
DAFTAR PUSTAKA	40

Daftar Tabel

Table 1 A&B Tabel Intensitas Cahaya Jenuh Untuk Beberapa Kultivar Tanaman	8
Table 2 Rincian Spektrum Radiasi Matahari dan Pengaruhnya pada Tumbuhan.....	11
Table 3 Intensitas Cahaya Jenuh Untuk Beberapa Kultivar Tanaman	11
Table 4 Istilah yang digunakan dalam pengukuran radiasi	16
Table 5 Beberapa konversi satuan yang berhubungan dengan energy	17

Daftar Gambar

Gambar 1 Respon luas daun ketimun (<i>Cucumis sativus</i>) terhadap jumlah cahaya harian. Nilainya mencapai maksimum pada saat cahaya mencapai 2,5 MJ m ⁻² hari ⁻¹	7
Gambar 2 Gambaran ideal hubungan antara reflektivitas, transmisivitas dan absorpsivitas pada daun hijau	20
Gambar 3 Diagram pertukaran energy gelombang panjang dan gelombang pendek antara daun dan lingkungan (Catatan diff = baur, dir = langsung).	21
Gambar 4 Hubungan antara indeks luas daun dengan fraksi radiasi yang diintersepsi tajuk tanaman, sesuai persamaan $f = 1 - e^{-kL}$ (Squire,1990,dalam Impron,2000)	25

I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Cahaya matahari, suhu, CO₂, air, dan nutrisi tanaman merupakan faktor penunjang utama untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Akan tetapi, pada karya tulis ini hanya akan dibahas satu parameter penting bagi syarat tumbuh tanaman yaitu cahaya matahari atau radiasi matahari yang sangat menentukan terhadap aktivitas organisme di alam, tanpa bermaksud untuk mengurangi pentingnya unsur-unsur lainnya didalam mempengaruhi proses-proses fisiologi tanaman.

Cahaya matahari merupakan sumber energy bagi segala aktivitas kehidupan organisme hidup di permukaan bumi. Hampir 99% dari energy yang dipergunakan bumi berasal dari cahaya matahari dan sisanya berasal dari aktivitas vulkanik, proses penghancuran sisa-sisa organisme yang telah mati, proses fermentasi serta pembakaran fosil-fosil yang tersimpan dalam tanah, seperti gas alam, minyak bumi, batubara, mineral, panas bumi, air terjun dan lain sebagainya (Arifin, 1989) Berdasarkan hal tersebut di atas maka secara global radiasi matahari berperan sebagai :

1. Sumber energy bagi berbagai aktivitas proses-proses fisik yang terjadi di permukaan bumi.
2. Penyebab utama terjadinya perubahan-perubahan terhadap keadaan cuaca ataupun faktor iklim lainnya.
3. Sebagai sumber energy dalam proses penguapan air, yang selanjutnya akan sangat menentukan proses penyebaran air di permukaan bumi.
4. Sebagai sumber energy bagi aktivitas kehidupan organisme dalam berbagai proses-proses metabolisme, serta sumber energy untuk proses fotosintesis bagi tanaman.

Jika ditinjau secara langsung, hubungan radiasi matahari dengan sifat pertumbuhan tanaman maupun makhluk lain, maka dapat dilihat dari pengaruh intensitas, kualitas, dan lama penyinaran (fotoperiodism) (Arifin, 1988). Dilihat dari segi fisika maka radiasi matahari yang lebih populer dengan sebutan cahaya matahari, memiliki sifat kembar yakni sebagai gelombang cahaya (gelombang elektro magnetik) dan sebagai partikel (foton) yang dikaidkan dengan kualitas dan kuantitas cahaya,

sehingga cahaya matahari dapat dibagi dua kategori yaitu kualitas dan kuantitas cahaya (Jumin, 1989).

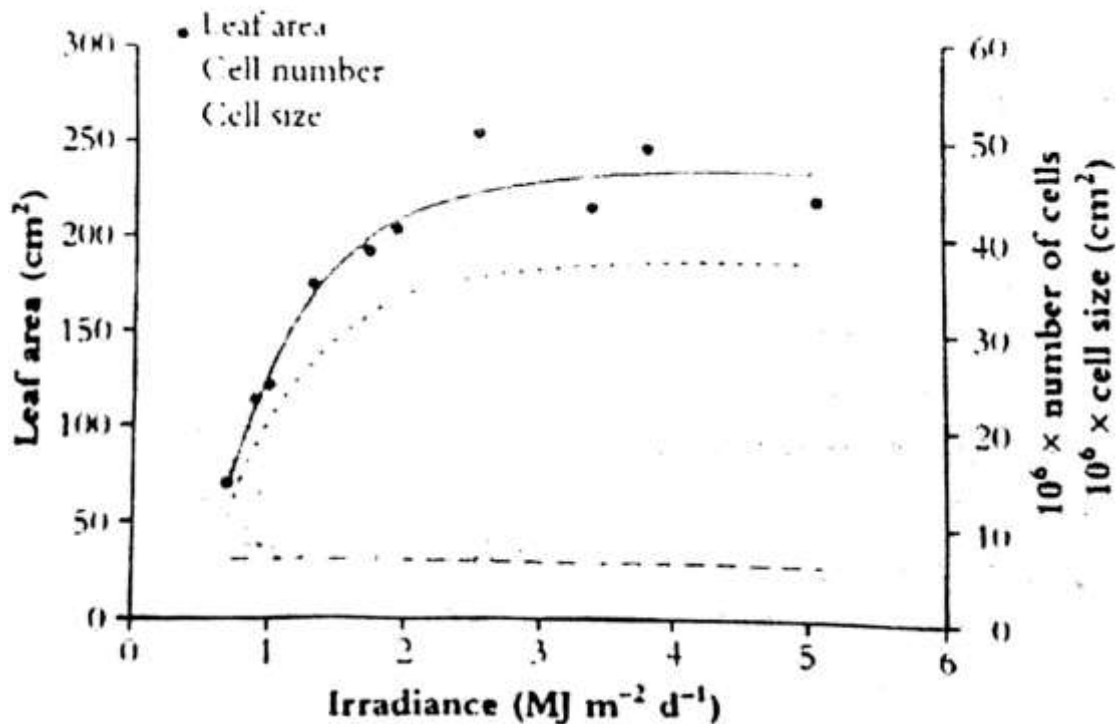
1.2 Cahaya Matahari

Eksistensi dari ekosistem terrestrial dapat dipertahankan keberlangsungannya karena adanya radiasi matahari, atau lebih tepatnya karena adanya Photosynthetically Active Radiation (PAR), yaitu panjang gelombang radiasi yang dipergunakan di dalam proses fotosintesis (panjang gelombang antara 380 dan 720 nm). Cahaya matahari merupakan faktor utama penentu fotosintesis global, sehingga terdapat hubungan kuantitatif yang erat diantara penyerapan cahaya matahari dan produksi biomassa dunia. Hubungan yang erat ini biasanya terlihat dengan lebih jelas pada komunitas tanaman yang dibudidayakan, seperti tanaman pertanian, perkebunan, dan tanaman hortikultura.

Tanaman secara menakjubkan dapat beradaptasi pada berbagai kondisi lingkungan cahaya, dari kondisi sangat gelap di bawah kanopi ekosistem hutan sampai kondisi sangat terang di daerah gurun pasir dan puncak pegunungan. Pada kondisi lingkungan cahaya yang rendah, tanaman harus dapat menyerap cahaya dengan cukup untuk dapat tetap hidup. Untuk dapat melakukan hal ini, mereka harus memaksimalkan terhadap jumlah cahaya yang diserap. Sebaliknya, pada kondisi lingkungan cahaya yang tinggi, selain tanaman harus memaksimalkan kapasitas penggunaan cahaya, mereka juga harus mempunyai kemampuan menangani kelebihan cahaya ketika cahaya matahari yang mereka terima lebih besar dari kapasitas fotosintesisnya. Sebagai akibat dari tekanan lingkungan ini tanaman mempunyai beberapa mekanisme untuk dapat mengoptimalkan intersepsi, penyerapan, dan penggunaan cahaya, berdasarkan lingkungan cahaya dimana mereka tumbuh dan berkembang.

Sebagai contoh hubungan antara luasan daun tanaman dalam penggunaan radiasi matahari yaitu pada tanaman ketimun (*Cucumis sativus*), pertumbuhan daunnya (yang ditunjukkan dengan indeks luas daun (LAI) atau leaf area index) bertambah dengan meningkatnya cahaya matahari (Newton, 1963). Meningkatnya indeks luas daun ini disebabkan karena bertambah banyaknya jumlah sel daun

(ditunjukkan pada Gambar 1). Ketebalan daun juga dipengaruhi oleh radiasi matahari, dimana lapisan palisade daun semakin tebal dengan meningkatnya cahaya matahari yang diterima oleh daun. Volume sel-sel daun ketumun tersebut berlipat dua besarnya di bawah tingkat radiasi yang sangat tinggi ($3,11 \times 10^{-5} \text{ mm}^3$ pada radiasi $3,2 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, dibandingkan dengan $1,46 \times 10^{-5} \text{ m m}^3$ pada radiasi $0,5 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$).



Gambar 1 Respon luas daun ketimun (*Cucumis sativus*) terhadap jumlah cahaya harian. Nilainya mencapai maksimum pada saat cahaya mencapai $2,5 \text{ MJ m}^{-2} \text{ hari}^{-1}$

Daun-daun yang mempunyai lapisan palisade yang lebih tebal ini akan mempunyai kapasitas fotosintesis yang lebih besar (per m^{-2}) pula, sehingga net assimilation rate (NAR) atau laju asimilasi bersih akan lebih besar, dan relative growth rate (RGR) atau laju tumbuh relative secara potensial bisa lebih tinggi. Jika tumbuh pada kondisi radiasi matahari yang rendah, maka daun-daun ini akan menjadi lebih tipis dan potensi laju tumbuh relative (RGR) nya akan menurun.

1.3 Kuantitas Cahaya

Walaupun sifat-sifat yang di bawa oleh ke dua sifat cahaya tersebut yaitu sifat gelombang dan sifat foton yang dapat berbentuk paket-energy yang sebanding dengan frekwensinya, maka yang sangat penting bagi respon terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman sebagai energy cahaya dan energy panasw (Jumin,1989). Intensitas cahaya matahari (jumlah cahaya) yang diterima pada permukaan bumi di tentukan oleh letak lintang dan musim. Lintang yang berhubungan langsung dengan sudut datangnya sinar matahari terhadap permukaan bumi. Sudut datang matahari berhubungan langsung dengan musim, terutama kemiringan (slope), dan topografi bumi (Arifin,1089, Jumin, 1989). Selanjutnya Arifin (1989) memberikan uraian tentang jumlah energi matahari yang diterima langsung pada permukaan bumi maupun pada lapisan luar atmosfer yang dibedakan atas derajat lintang dan kedudukan matahari yang dapat dilihat pada Table 1 berikut :

A. Radiasi yang Sampai pada Batas Luar Atmosfer

Lintang tempat/ bulan	Waktu						
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-90
21 Desember	0,549	0,465	0,273	0,273	0,173	0,079	0,006
21 Maret	0,619	0,601	0,563	0,509	0,441	0,358	0,211
21 Juni	0,570	0,729	0,664	0,684	0,689	0,683	0,703
23 September	0,610	0,592	0,556	0,503	0,435	0,353	0,208

B. Radiasi yang Masuk Atmosfer dan Sampai di Bumi

Lintang tempat/ bulan	Waktu						
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-90
21 Desember	0.164	0.161	0.135	0.083	0.036	0.013	0.001
21 Maret	0.191	0.224	0.206	0.161	0.116	0.096	0.055
21 Juni	0.144	0.170	0.216	0.233	0.183	0.139	0.133
23 September	0.170	0.162	0.201	0.183	0.131	0.079	0.028

Table 1 A&B Tabel Intensitas Cahaya Jenuh Untuk Beberapa Kultivar Tanaman

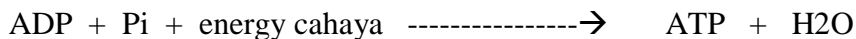
Sumber : Arifin,(1989)

1.4 Kualitas Cahaya

Kualitas cahaya adalah merupakan mutu cahaya yang diterima atau yang sampai pada permukaan bumi yang dinyatakan dengan panjang gelombang (cahaya mempunyai sifat elektro magnetic). Cahaya tampak (PAR) mempunyai panjang gelombang antara 400 s/d 760 nm yang terdiri ataws berbagai panjang gelombang, yang berpengaruh langsung pada aktivitas pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Panjang gelombang di luar cahaya tampak mempunyai pengaruh specific terhadap pertumbuhan tanaman atau terhadap iklimat, seperti suhu tanah (Arifin,1989; Chang,1976).

Radiasi matahari terdiri dari spectra ultraviolet (panjang gelombang < 0,38 m yang berpengaruh merusak karena daya bakarnya sangat tinggi, spectra photosynthetically active radiation (PAR) yang berperan membangkitkan proses fotosintesis dan spectra infra merah (> 0,74 m) yang merupakan pengatur suhu udara. Spektra radiasi PAR dapat dirinci lebih lanjut menjadi pita-pita spectrum yang masing-masing memiliki karakteristik tertentu (dapat dilihat pada Tabel 2. Ternyata spectrum biru memberikan sumbangaan yang paling potensial dalam aktivitas fotosintesis pada tanaman.

Pada proses fotosintesis pengikatan energy cahaya berlangsung di saat terjadi asimilasi fosfat yaitu sebagai berikut;



Terlihat bahwa adhenosin diphosphate (ADP) pada sel khlorofil setelah memperoleh cahaya cukup akan mengikat ion fosfat (Pi) untuk membentuk ade3nosin triphosphate (ATP) sebagai persenyawaan fosfat yang sangat tinggi kndungan energy kimianya. Pada saatnya nanti tubuh tanaman memerlukan energy dan sebagian ATP akan dibakar dan diurai kembali menjadi ADP pada proses respirasi. Dari proses kebalikan fotosintesis tersebut dihasilkan energy (energy kimia) . Penurunn intensitass cahaya, khususnya spectrum biru menyebabkan turunnya kdar ATP dan NADPH₂ (dihidroxy nikotin amide dinucleotide phosphate) sehingga laju fotosintesis berkurang. Di siang hari terik dan langit bersih di waktu musim kemarau intensitas cahaya matahari dapat

mendekati jumlah 10.000 ft.c (foot condle) tetapi hanya 25 – 30 % yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman (pada umumnya) sesuai dengan tingkat kejenuha cahaya. Kadangkala dapat mencapai 60%. Hanya daun paling luar dari tajuk suatu tanaman yang dapat mencapai jenuh cahaya, sedangkan lapisan daun sebelah dalam / bawah hanya dapat menggunakan cahaya dalam jumlah semakin kecil karena terlindung. Pada tingkat cahaya jenuh penambahan intensitas cahaya tidak meningkatkan intensitas fotosintesis. Tingkat kejenuhan cahaya beberapa kultivar tanaman dapat dilihat pada Tabel 3.

Nomor Pita	Nama Spektrum	Pjg. Gelombang (micron)	Pengaruh pada tumbuhan
I.	Infra Merah	> 1.00	- Diserap dan diubah tumbuhan menjadi panas sensible. - Tidak mempengaruhi proses biokimia.
II.	Merah Jauh (far red)	0.72 – 1.00	- Pemanjangan batang dan organ lainnya. - Mempengaruhi fotoperiodisme, perkecambahan, pembungaan dan pewarnaan buah.
III.	Merah	0.61 – 0.72	- Sebagian besar diserap klorofil untuk fotosintesis - Mempengaruhi fotoperiodisme
IV.	Hijau dan kuning	0.51 – 0.61	- Pengaruhnya lemah, terhadap fotosintesis maupun aktifitas pembentukan sel
V.	Biru	0.41 – 0.51	- Spektrum yang terkuat penyerapannya oleh klorofil - Terkuat pengaruhnya pada fotosintesis dan pembentukan organ, khususnya pada spectrum violet-datar biru.
VI.	Ultraviolet	0.315 – 0.41	- Mempengaruhi pembentukan organ daun menjadi lebih sempit dan tebal
VII.	Ultraviolet	0,280 – 0.315	- Merusak sel tumbuhan

VIII.	Ultraviolet	< 0.280	- Mematikan sel tumbuhan dengan cepat - Membunuh jasad renik
-------	-------------	---------	---

Table 2 Rincian Spektrum Radiasi Matahari dan Pengaruhnya pada Tumbuhan

(sumber data Chang, 1976)

Tabel 3 Intensitas Cahaya Jenuh Untuk Beberapa Kultivar Tanaman

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

Table 3 Intensitas Cahaya Jenuh Untuk Beberapa Kultivar Tanaman

II CAHAYA SEBAGAI FAKTOR TUMBUH

Cahaya matahari merupakan sumber energy bagi berbagai proses yang terjadi di permukaan bumi. Khusus bagi kehidupan tanaman yang merupakan organisme autotroph yang dapat menyediakan makanan organisme lain dalam bentuk zat organik melalui proses fotosintesis dan fotorespirasi. Pengaruh cahaya memiliki arti penting bagi pertumbuhan tanaman, terutama peranannya dalam kegiatan-kegiatan fisiologis (Jumin, 1989) Ditinjau dari faktor cahaya matahari sebagai factor tumbuh bagi tanaman, maka cahaya dapat dibedakan menjadi tiga komponen yaitu :

1) intensitas cahaya ,2) kualitas cahaya, dan 3) lama penyinaran (Chang, 1968).

Diantara ke tiga komponen cahaya tersebut diatas, maka intensitas cahaya matahari yang merupakan komponen kritis yang mempengaruhi langsung hasil fotosintat pada tanaman. Selanjutnya dua komponen cahaya lainnya yaitu foto periodisma dan kualitas cahaya dalam tulisan ini tidak diuraikan lebih lanjut. Hasil fotosintesis tanaman akan berkurang apabila intensitas cahaya berkurang tergantung pada species tanaman. Menurut Trehow(1971 dalam Subronto dkk. 1977) , menyatakan bahwa penghambatan proses fotosintesis pada intensitas cahaya yang tinggi (>10.000 foot candle) merupakan pengaruh tidak langsung dari intensita cahaya tersebut, dimana pada intensitas cahaya yang tinggi akan menyebabkan terjadinya penutupan dari stomata dan mengurangi evapotranspirasi terutama melalui daun. Selanjutnya terjadi penghambatan pembentukan khlorofil dan kerusakan organ-organ fotosintesis yaitu terjadinya lisis khlorofil dan semua hal tersebut akan menyebabkan penghambat proses fotosintesis pada daun secara keseluruhan (Chang, 1968) .

Intensitas cahaya yang tinggi di daerah tropis tidak seluruhnya dapat digunakan oleh tanaman (Suseno, 1974) Energi cahaya yang digunakan oleh tanaman dalam proses fotosintesis berkisar antara 0,5 sampai dengan 2 % dari jumlah total energy matahari yang tersedia untuk proses pertumbuhan. Sedangkan hasil fotosintesis yang terbentuk tersebut akan berkurang apabila intensitas cahaya matahari yang di terima kurang dari batas optimal yang dibutuhkan oleh tanaman, dan ini sangat tergantung pada jenis tanaman (Suseno, 1975).

2.1 Karakteristik Radiasi Matahari

Sebagai gelombang elektromagnetik, radiasi matahari mempunyai dwi sifat yaitu sifat gelombang dan sifat partikel. Sifat gelombang lebih menonjol dalam kondisi vakum. Tetapi pada saat gelombang tersebut berinteraksi dengan atom atau molekul, maka gelombang tersebut berperilaku seperti berkas korpuskul (benda kecil) yang dinamai foton (photon) atau kuantum cahaya (quanta) (Jones, 1986)

Energi (E) suatu foton ditentukan oleh panjang gelombang (λ) atau frekuensi (f) sesuai persamaan:

$$E = hf = hc/\lambda$$

$h = 6,63 \times 10^{-34}$ J.s (konstanta Plank) dan $c = 3 \times 10^8$ m.s⁻¹(kecepatan cahaya).

Contoh :

Cahaya merah dengan $\lambda = 650$ nm memiliki $E = (6,63 \times 10^{-34} \text{ J. s } \times 3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1} / (6,5 \times 10^{-7} \text{ m})) = 3,06 \times 10^{-19} \text{ J}$; sedangkan cahaya biru ($\lambda = 450$ nm) memiliki $E = 4,42 \times 10^{-19} \text{ J}$ (E_{λ} - biru 44% lebih tinggi dari pada E_{λ} - merah). Bila 1 mol foton = $6,023 \times 10^{23}$ foton (Bilangan Avogadro) , maka E per mol λ -Merah = $1,84 \times 10^{-5} \text{ J mol}^{-1}$ (yaitu $3,06 \times 10^{-19} \text{ J} \times 6,023 \times 10^{23}$).

Total energy foton yang dapat diserap oleh suatu mol senyawa sering disebut 1 Einstein. Jadi 1 einstein λ - merah = $1,84 \times 10^5 \text{ J.S}$. Energi foton dapat juga dinyatakan dalam satuan e V (electron volt). Satu e V adalah tenaga yang diperoleh electron dengan muatan electron (dengan muatan electron $e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$) yang dipercepat melalui beda potensial sebesar 1 volt, atau $1\text{eV} = (e) (1\text{V}) = (1,602 \times 10^{-19} \text{ C}) \times (1\text{V}) = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$. Total energy foton per mol adalah $(1,602 \times 10^{-19} \text{ J} \times 6,023 \times 10^{23} = 9,65 \times 10^4 \text{ J})$. Maka, dalam eV, E_{λ} -biru = $(4,42 \times 10^{-19} \text{ J}) / (1,602 \times 10^{-19} \text{ J} / 1 \text{ eV}) = 2,76 \text{ eV}$. Sedangkan satu mol cahaya merah ($\lambda = 650 \text{ nm}$) adalah $1,9 \text{ eV}$ (yaitu $1,84 \times 10^5 / 9,65 \times 10^4$).

Matahari memiliki suhu permukaan sekitar 6000 K, memancarkan energy yang terkonsentrasi pada gelombang antara 0,3 – 3 micron (Monteith 1973, Chang 1968).

Jumlah energy maksimum per unit panjang gelombang terjadi pada $\lambda = 0,48$ micron sesuai dengan hukum Wein ($\lambda_m = 2897/6000$). Integrasi dari seluruh spektrum radiasi matahari memberikan nilai kerapatan fluks radiasi sebesar 74 juta $W m^{-2}$ (dapat didekati dengan persamaan Stefan – Boltzmann), dan T (suhu permukaan matahari) = 6000 K. Setelah menempuh jarak 150 juta km menuju bumi dengan waktu tempuh sekitar 8 menit, akan diperoleh nilai kerapatan fluks radiasi matahari yang sampai puncak atmosfer sebesar $1360 W m^{-2}$. Pada saat melalui atmosfer, radiasi matahari akan mengalami proses refleksi (R) dan absorbs (A) akibat adanya awan, debu, uap air, dan molekul udara sehingga jumlah yang benar-benar ditransmisi (T) mencapai permukaan bumi – dalam bentuk radiasi global (I_0) yaitu gabungan radiasi langsung (*direct*) dan baur (*diffuse*) akan lebih kecil dari nilai $1360 W m^{-2}$. Wang & Ray (1984) memperkirakan bahwa nilai R, A dan T berturut-turut adalah 29,6%, 17% dan 53,4%. Sebagian dari T akan direfleksikan kembali sebesar 6,1% (albedo bumi) dan yang 47,3% sisanya diserap oleh permukaan bumi yang digunakan untuk proses pemanasan air dan daratan, dan tentunya udara atmosfer melalui proses konveksi. Angka yang ditunjukkan disini adalah estimasi umum sedangkan nilai sebenarnya untuk waktu tertentu tergantung pada kondisi actual atmosfer.

Presentase konsentrasi energy pada masing-masing gelombang dipengaruhi oleh lintang dan kondisi atmosfer (Wang & Ray 1984). Pada lintang 30° persentase konsentrasi energy pada gelombang ultra violet ($\lambda < 0.4$ micron) adalah sekitar 9%, pada gelombang cahaya tampak ($\lambda = 0.4 - 0.72$ micron) sekitar 41%, dan pada gelombang infra merah ($\lambda > 0,72$ micron) sekitar 50%. Secara umum dinyatakan bahwa sekitar 45 – 50% radiasi matahari terkonsentrasi pada $\lambda = 0.4 - 0.7$ micron (secara garis besar sama dengan cahaya tampak) yang sering disebut *photosynthetically active radiation* (PAR). Pada spectrum cahaya tampak terdapat berbagai macam warna; missal violet ($\lambda = 400$ nm), biru ($\lambda = 450 - 500$), hijau ($\lambda = 550$ nm), kuning ($\lambda = 600$ nm), orange-merah ($\lambda = 650$ nm), dan merah ($\lambda = 700$ nm).

Beberapa istilah yang sering dipakai untuk menyatakan radiasi surya ditampilkan pada Tabel 1. Jumlah energy (dalam J) yang diemis, transmisi, atau diterima per unit waktu disebut fluks (pancaran) radiasi (Q_e) dengan satuan $J s^{-1}$ atau

W. Net fluks radiasi yang melalui suatu unit area permukaan disebut kerapatan fluks radiasi (Φ_e , $W m^{-2}$). Komponen fluks radiasi matahari yang jatuh pada suatu permukaan datar disebut irradiansi (I_e , $W m^{-2}$) sedangkan yang diemisikan oleh suatu permukaan disebut emitansi ($W m^{-2}$). Penggunaan istilah terkadang tidak konsisten terutama pada bahasan yang bersifat non-fisika. Istilah intensitas radiasi (I , $W sr^{-1}$) seting digunakan untuk menyatakan kerapatan fluks radiasi (Φ_e , $W m^{-2}$), padahal $\Phi_e = \pi I$. Sedangkan radiasi untuk suatu selang waktu tertentu, misalnya, actual total radiasi yang diterima oleh suatu permukaan dalam satu hari dinyatakan dalam $MJ m^{-2} hari^{-1}$, yaitu hasil kali $W m^{-2}$ dengan waktu. Sehingga perlu diperhatikan cara konversi yang benar antar satuan radiasi, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 4. Istilah yang digunakan dalam pengukuran radiasi

Istilah	Simbol	Satuan	Definisi
<i>Radiant energy</i>	E	J	Energy dalam bentuk radiasi electromagnet
<i>Number of photons</i>	N_p	Mol	
<i>Radiant exposure</i>		$J m^{-2}$	Insiden energy radiasi per unit area
<i>Photon exposure</i>		$Mol m^{-2}$	Jumlah insiden foton per unit area
<i>Radiant flux</i>	$Q_e = E/dt$	$J s^{-1} = W$	Energy radiasi yang dipancarkan atau diserap oleh permukaan per unit waktu
<i>Photon flux</i>	$Q_p = n_p/dt$	$Mol s^{-1}$	Jumlah faton yang dipancarkan atau diserap permukaan

			per unit waktu
<i>Radiant flux density</i>	$\Phi_e = Q_e/dA$	$W m^{-2}$	Flux radiasi netto (<i>net radiant flux</i>) yang melalui suatu permukaan per unit area
<i>Photon flux density</i>	$\Phi_p = Q_p/dA$	$Mol m^{-2}$	Flux insiden foton (<i>net photon flux</i>) yang melalui suatu permukaan per unit area
<i>Irradiance</i>	$I_e = Q_e/dA$	$W m^{-2}$	Flux insiden radiasi pada suatu unit area permukaan datar
<i>Emittance</i>	Q_e/dA	$W m^{-2}$	Flux radiasi yang diemisi oleh suatu unit area permukaan datar
<i>Radiant intensity</i>	$I = Q_e/d\Omega$	$W sr^{-2}$	Flux radiasi dari suatu sumber per unit solid angle (Ω) dteradian pada arah tertentu.

Table 4 Istilah yang digunakan dalam pengukuran radiasi

Tabel 2. Beberapa konversi satuan yang berhubungan dengan energy

1 J = 0,239 cal = 0,738 ft.lb = 10^7 erg 1 eV = $1,602 \times 10^{-19}$ J 1 cal = $4,184 \times 10^7$ erg = 4,184 J	1 ly min ⁻¹ = 7440 f.c.min ⁻¹ (mendung) = 7000 f.c.min ⁻¹ (berawan) = 6700 f.c.m ⁻¹ (cerah). Di daerah lintang rendah, saat
---	---

<p>1 langley (ly) = 1cal cm⁻² 1 ly menit = 4,184 x 10⁷ erg cm⁻² menit⁻¹ = 220 BTU ft⁻² jam⁻¹ = 69,8 mW cm⁻² J s⁻¹ = watt (W) 1 BTU = 1055 J = 252 cal 1 hp = 550 ft.lb s⁻¹ = 746 W</p> <p>Konversi ly menit⁻¹ ke foot-candles (f.c) menit⁻¹ tergantung pada lintang surya dan zenith serta kondisi atmosfer</p>	<p>musim panas cerah tengah hari, 1 ly min⁻¹ = antara 8000 sampai 10000 f.c.min⁻¹ Konversi umum 1 ly min⁻¹ =6500 f.c.min⁻¹ 1 f.c. = 10,7 lux.</p> <p>f.c mengukur iluminasi spectrum cahaya tampak, sedangkan Langley mengukur energy (heat) seluruh panjang gelombang dari infra merah sampai ultra violet</p>
---	--

Table 5 Beberapa konversi satuan yang berhubungan dengan energy

2.2 Respon Tanaman terhadap Radiasi Matahari

Secara singkat, Wang & Ray (1984) menyatakan bahwa respon tanaman terhadap spectrum radiasi adalah sebagai berikut. Radiasi dengan $\lambda < 0.25$ micron mempunyai efek mematikan. Mendekati $\lambda = 0.30$ micron mempunyai efek terapeutik. Pada kenyataannya, radiasi $\lambda < 0,3$ micron tidak pernah teramati dipermukaan bumi. Cahaya dengan $\lambda = 0,30 - 0,55$ dan $0,70 - 1,0$ micron mempunyai efek fotoperiodik. Proses fotosintesis paling aktif terjadi pada $\lambda = 0,40 - 0,69$ micron, dimana klorofil menyerap sebagian besar cahaya dengan $\lambda = 0,40 - 0,77$ micron. Diatas $\lambda = 0,77$ micron adalah rejim spectrum infra merah, meningkatkan respirasi dan mendominasi efek termal.

Proses fisik yang terjadi pada masing-masing panjang gelombang dapat diterangkan sebagai berikut. Sebagian besar cahaya ultra violet (UV) tersaring oleh uap air dan molekul ozon yang ada di atmosfer. Pada λ antara 400-700 nm terjadi penyerapan kuantum. Dalam proses ini, terjadi reaksi fotokimia yang disertai dengan pelepasan energy termal sehingga memanaskan jaringan. Molekul tertentu yang mampu secara selektif menyerap radiasi pada gelombang tertentu disebut pigmen. Spektrum dengan $\lambda < 400$ nm, kandungan energy kuantum cukup tinggi sehingga saat diserap oleh suatu molekul akan tersedia cukup energy yang diteruskan kesuatu electron dan molekul tersebut menjadi bermuatan listrik menghasilkan radikal yang

sangat reaktif yang secara biologi umumnya bersifat merusak. Sebagai misal, ikatan kimia dalam sel kulit manusia dapat diputuskan oleh energy foton 3,5 eV. Panjang gelombang untuk menghasilkan energy ini adalah 355 nm, termasuk dalam cahaya ultra violet yang dapat membakar kulit manusia. Spektru dengan $\lambda > 700$ nm, kuantita diserap oleh molekul. Energi serapan tersebut meningkatkan energy translasional dan getaran dari molekul yang termanifestasi oleh adanya kenaikan suhu dari materi penyerap radiasi tersebut.

2.3 Sifat Optikil Tanaman

Kanopi tanaman memiliki tiga sifat optikal yaitu : Pertama, reflektifitas (ρ) kanopi yaitu proporsi kerapatan fluks radiasi matahari yang direfleksikan ($\rho = I_r/I_o$) oleh unit indeks luas daun atau kanopi. Kedua, transmisivitas (τ) yaitu proporsi kerapatan fluks radiasi yang ditransmisikan ($\tau = I_t/I_o$) oleh unit indeks luas daun. Ketiga, absorpsivitas (α) yaitu proporsi kerapatan fluks radiasi yang diabsorpsi ($\alpha = I_a/I_o$) oleh unit indeks luas daun (Charles-Edward et al.). Hukum kekekalan energy memberikan dasar bagi penulisan :

$$(\rho) + (\tau) + (\alpha) = 1,0$$

Sifat optikal pada tanaman terutama ditentukan oleh adanya pigmen-pigmen yang mampu menyerap radiasi pada panjang gelombang tertentu. Selain itu kandungan air yang merupakan komponen utama tanaman juga mempengaruhi serapan spectrum pada gelombang radiasi 1 – 3 mikron. Kadar air pada tanaman mempunyai korelasi yang kuat dengan refleksi dan transmisi pada spectrum cahaya tampak. Sedangkan pada $\lambda > 3$ mikron, hamper semua benda bersifat seperti benda hitam dengan daya absorpsi mendekati 100% dan refleksi – 0%.

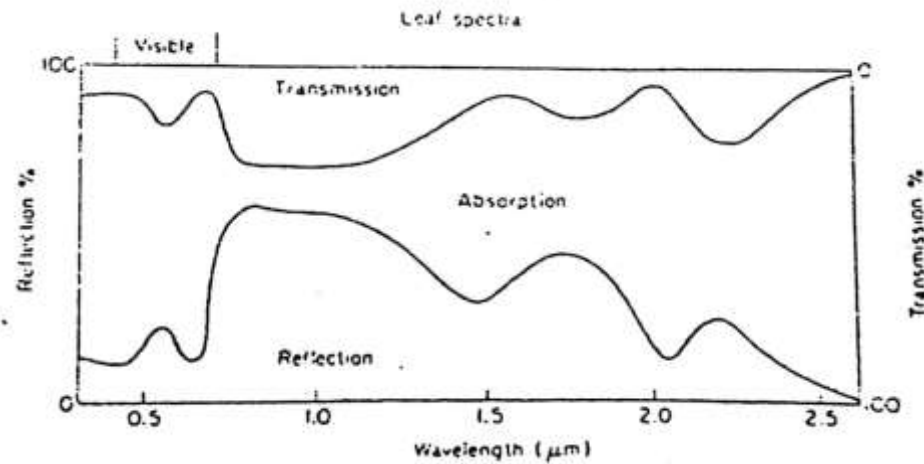
Tanaman yang tumbuh diatas suatu lahan, terutama sebelum mencapai penutupan tajuk penuh (100%) maka sifat lingkungan radiasi pada komunitas tanaman tersebut juga dipengaruhi oleh sifat optikal lahan. Monteith (1973) menyatakan bahwa reflektivitas tanah tergantung pada kadar bahan organic, kadar air, ukuran partikel, dan sudut datang sinar. Reflektivitas tanah umumnya kecil pada spectrum biru dan meningkat sejalan dengan semakin panjangnya gelombang sinar dan mencapai maksimum pada $\lambda = 1 - 2$ micron. Saat ada air absorbs tampak nyata pada band 1,45

dan 1,95 micron. Pada gelombang yang semakin panjang, sifat emisivitas tanah mencapai 0,90 - 0,95 micron. Integrasi seluruh panjang gelombang spektrum matahari akan memberikan nilai refleksi sekitar 10% (pada tanah dengan kadar bahan organik tinggi) sampai 30% untuk gurun pasir. Reflektivitas mineral akan meningkat dengan naiknya ukuran butir. Reflektivitas tanah akan menurun apabila tanah menjadi basah karena radiasi ditangkap oleh refleksi internal pada interface udara-air pada pori-pori tanah.

Dalam komunitas tanaman akan terjadi transmisi dan refleksi yang besarnya tergantung pada sudut datang sinar (Monteith, 1973). Koefisien refleksi dan transmisi untuk sudut datang $0 - 50^\circ$ hampir konstan. Dengan semakin membesarnya sudut datang sinar, koefisien refleksi meningkat dan koefisien transmisi menurun, dimana perubahan tersebut bersifat komplementer sehingga secara keseluruhan nilai absorpsi yang dapat dimanfaatkan untuk proses fotosintesis besarnya relative konstan.

Pada spektrum cahaya tampak, sebagian besar radiasi menembus epidermis dan diserap oleh pigmen dalam kloroplas terutama oleh klorofil dan karotenoid (Monteith, 1973). Absorpsi λ hijau (0,50 - 0,54 micron) tidak sekuat absorpsi pada λ biru (0,40 - 0,54 micron) atau λ merah (60 - 70 micron). Sehingga daun yang sehat menampilkan warna hijau yang kuat. Absorpsi pada spektrum cahaya tampak sekitar 80 - 90 %, sedang yang 10 - 20 % dipancarkan ke segala arah oleh refleksi ganda dinding-dinding sel.

Jumlah radiasi cahaya tampak yang ditransmisi dan refleksi oleh daun sering hampir sama besar dengan distribusi spectral yang serupa seperti yang terlihat pada Gambar 2. (Monteith, 1973). Antara $\lambda = 0,70 - 1,0$ pigmen daun menyerap sedikit radiasi. Penyerapan pada $\lambda = 0,73$ micron oleh phytochrome mempunyai arti yang penting bagi control perkembangan tanaman. Pada selang λ ini, sebagian besar daun hampir bersifat translucent penuh, merefleksikan dan mentransmisi sekitar 40 - 50 %. dan radiasi yang sampai pada daun. Pada $\lambda > 1,0$ micron, terjadi dominasi serapan oleh air dan pada $\lambda > 3,0$ micron, daun nyaris berfungsi seperti benda hitam sempurna.



Gambar 2 Gambaran ideal hubungan antara reflektivitas, transmisivitas dan absorpsivitas pada daun hijau

Nilai (ρ) diasumsikan sama dengan (τ) yaitu sekitar 0,1 untuk $\lambda = 0,40 - 0,70$ micron dan 0,4 untuk $\lambda = 0,7 - 3,0$ micron. Bila spectrum cahaya tampak merupakan setengah dari spectrum radiasi matahari maka dapat dihitung sebagai :

$$(\rho) = (\tau) = (0,1 \times 0,5) + (0,4 \times 0,5) = 0,25.$$

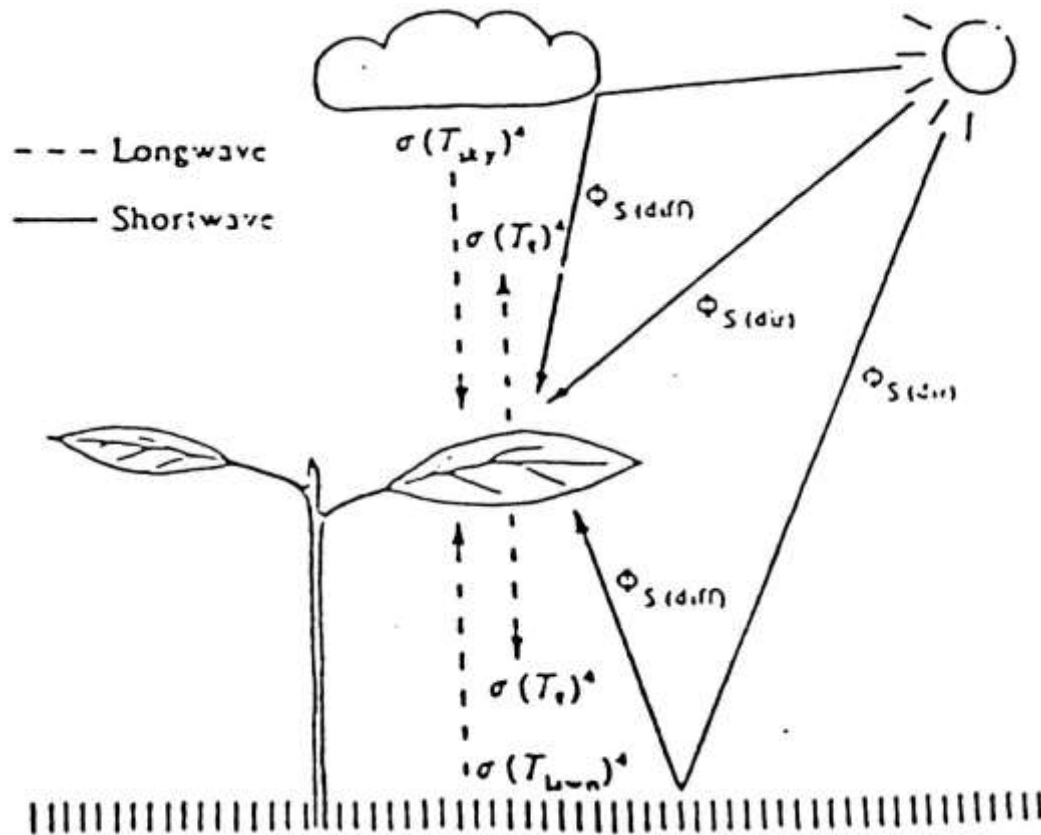
yang umumnya konsisten dengan hasil pengukuran untuk tanaman dengan penutupn tajuk rapat. Beberapa nilai (ρ) dan (α) untuk radiasi gelombang pendek dapat dilihat pada Tabel

Jenis Permukaan	(ρ , %)	(α , %)
Daun tunggal		
Berbagai jenis tanaman pangan (<i>crops</i>)	29-33	40-60
Konifer	12	88
Nilai tipikal rata-rata untuk total radiasi gelombang pendek	30	50
Nilai tipikal rata-rata untuk PAR	9	85
Vegetasi		
Rumputan	24	-
Tanaman pangan (<i>crops</i>)	15-26	
Hutan	12-18	
Nilai tipikal rata-rata untuk total radiasi gelombang pendek	20	
Nilai tipikal rata-rata untuk PAR	5	
Permukaan lain		
Salju	75-95	
Tanah basah	9 +/- 4	
Tanah kering	19 +/- 19	
Air	>20	

Gambar 3 Beberapa nilai (ρ , %), dan (α , %) daun, vegetasi dan permukaan lain untuk radiasi gelombang pendek (Jones, 1983)

2.4 Radiasi Neto

Radiasi neto adalah neto pancaran radiasi semua gelombang (gelombang pendek (subscript S) dan gelombang panjang (subscript L) yang menuju ke bawah atau atas (subscript D dan U) pada suatu permukaan datar (Jones, 1983). Atau sebagai alternative dapat dikatakan bahwa radiasi neto yang sampai pada suatu obyek adalah jumlah dari semua pancaran yang datang dikurangi dengan semua pancaran yang meninggalkan objek tersebut, sebagaimana tertera pada Gambar 4.



Gambar 4 Diagram pertukaran energy gelombang panjang dan gelombang pendek antara daun dan lingkungan (Catatan diff = baur, dir = langsung).

Radiasi yang datang mencakup semua bentuk radiasi matahari langsung dan baur serta radiasi gelombang panjang yang diemisikan oleh langit dan sekitarnya. Sedangkan kehilangan energy mencakup emisi radiasi termal, atau semua bentuk radiasi yang direfleksikan oleh objek tersebut. Sehingga untuk suatu tanaman/pekarangan yang dianggap sebagai permukaan horizontal yang tidak

memtransmisikan radiasi, persamaan radiasi neto berikut ini mirip dengan yang diberikan oleh Monteith (1973)

$$\Phi_n = I_s + I_{Ld} - I\rho_s(\text{lawn}) - \varepsilon\sigma(T_{\text{lawn}})^4$$

$$\Phi_n = I_s(\alpha_s(\text{lawn}) + (I_{Ld} - \sigma(T_{\text{lawn}})^4$$

Dimana I adalah irradiance, α_s dan ρ_s adalah koefisien absorpsi dan koefisien refleksi. Semua pancaran direferensikan ke permukaan datar (W m^{-2}), dan ε diasumsikan sama dengan satu.

Objek yang memiliki dua permukaan, seperti daun yang diekspos di atas pekarangan akan memberikan persamaan sebagai berikut ;

$$\Phi_n = (I_s + I_s\rho_s(\text{lawn})\alpha_s(\text{leaf}) + I_{Ld} + \sigma(T_{\text{lawn}})^4 - 2\sigma(T_{\text{leaf}})^4$$

Perlu diperhatikan bahwa semua pancaran dinyatakan dalam unit proyeksi area. Untuk pekarangan atau pertanaman, area tersebut sama dengan area dari lahan tapi untuk daun hanya proyeksi dari satu sisi luas daun

Radiasi neto yang tersedia pada suatu objek selanjutnya akan didisipasi menjadi berbagai komponen radiasi untuk berbagai keperluan. Persamaan berikut mencontohkan disipasi energy dan persamaan neraca energy sebagaimana diuraikan Oleh (Wang dan Ray,1984)

$$\Phi_n = L + G + H + M + P + S$$

Dimana :L = kerapatan fluks energy laten (yaitu yang berasosiasi dengan perubahan bentuk air, bernilai negative bila terjadi kondensasi)

G = kerapatan fluks energy (konduksi) ke dalam tanah

H = kerapatan fluks energy terqsa (konveksi) ke arah atmosfer

M = Kerapatan fluks energy yang dilepaskan untuk metabolisme

P = kerapatan fluks energy yang digunakan untuk fotosintesis

S = kerapatan fluks energy yang disimpan (laten, terasa)

Karena mempunyai magnitude yang relative kecil, maka terkadang M, P dan s diabaikan dalam beberapa perhitungan.

Berdasarkan pengukuran yang dilakukan oleh (Bowen 1926, dalam Impron 2000) diatas permukaan air , dan telah disimpulkan bahwa ratio H / L adalah relative konstan. Kekonstanan ini yang selanjutnya disebut sebagai Nisbah Bowen. Nilai B dapat diduga dari pengukuran suhu dan tekanan uap sebagai :

$$B = H/L = 0,46 (ts - ta) / (es - ea)$$

Dimana ts dan ta adalah suhu permukaan dan suhu udara diatasnya ($^{\circ}\text{C}$), dan es serta ea adalah tekanan uap air di permukaan dan di udara di atasnya (mmHg).

Substitusi B kedalam neraca energy neto untuk diaplikasikan pada lahan pertanian akan menghasilkan persamaan :

$$\Phi_n = H(1 + (1/B)) + G$$

$$H = (\Phi_n - G) / (1 + 1/B)$$

$$L = (\Phi_n - G)/(1 + B)$$

Penerapan persamaan diatas dapat digunakan untuk menghitung L sebagai pendekatan perhitungan evapotranspirasi. Akan tetapi berbagai kendala telah diuraikan oleh Wang & Ray (1984):

- a. Rasio tidak cukup reliable pada waktu dekat matahari terbit dan terbenam, sehubungan dengan gradient suhu dan tekanan uap yang kecil.
- b. Rasio tidak konstan pada permukaan tanah gundul yang kering khususnya pada tanah berpasir, dimana terjadi pemanasan local yang menyebabkan adanya aliran panas keatas.
- c. Rasio akan negative jika terjadi adveksi udara panas yang kuat, dan bila rasio mendekati nol, maka tidak memberikan kegunaan yang nyata
- d. Rasio bervariasi dengan ketinggian pengukuran diatas permukaan. Rasio pada level ketinggian yang lebih rendah umumnya lebih besar.

2.5 Distribusi Radiasi di dalam Tajuk Tanaman

ipsi secara tepat pola distribusi radiasi di dalam tajuk tanaman adalah sulit dilakukan karenan memerlukan perhitungan arsitektur kanopi, distribusi angular insiden radiasi dan sifat-sifat optic daun secara detil. Melalui penyederhanaan, pola distribusi radiasi

di dalam tajuk tanaman dapat ditentukan secara cukup teliti. Diasumsikan bahwa secara horizontal tanaman memiliki tajuk yang seragam pada setiap lapisan horizontal tajuk, hanya berubah dengan ketinggian dia dalam tajuk. Dengan demikian rata-rata *irradiance* pada lapisan yang semakin masuk kedalam tajuk akan cenderung menurun secara eksponensial mengikuti hukum Beer dengan mengasumsikan bahwa tajuk merupakan penyerapan radiasi secara homogeny.

Bila dianggap satu lapisan kanopi memiliki indeks luas daun dL yang akan mengintersep radiasi sebanding dengan $IodL$, dimana I_o adalah irradiasi pada puncak tajuk. Jika daun-daun bersifat *opaque*, perubahan irradiant (dL) saat melewati lapisan tajuk adalah sebanding dengan $-IodL$. Integrasi kebawah melalui total indeks luas daun L akan memberikan rata-rata irradiasi pada permukaan horizontal di bawah indeks luas daun tersebut sesuai:

$$I = I_o e^{-L} \quad \text{atau} \quad I/I_o = e^{-L}$$

Dimana I adalah iradiasi pada suatu ketinggian tajuk. Dari rumus tersebut, maka I/I_o adalah fraksi lahan dibawah indeks luas daun yang masih terkena sinar matahari. Sehingga undeks luas daun yang masih terkena sinar matahari L_{sunlit} didalam kanopi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$L_{sunlit} = 1 - I/I_o = 1 - e^{-L}$$

Persamaan ini memberikan nilai maksimum mendekati 1 pada nilai indeks luas daun yang tinggi, dan mengindikasikan bahwa indeks luas daun yang dapat berada pada penyinaran radiasi matahari secara penuh adalah 1.

Penerapan persamaan untuk pola distribusi daun yang berbeda haris mengikuti prinsip umum bahwa bayangan diproyeksikan terhadap bidang permukaan datar, dan menggunakan area ini sebagai eksponen dalam persamaan $I = I_o e^{-L}$. Jika k adalah rasio antara area ternaungi dengan actual area daun, akan diperoleh persamaan:

$$I = I_o e^{-kL} \quad \text{Tu} \quad f = (1 - I/I_o) = 1 - e^{-kL}$$

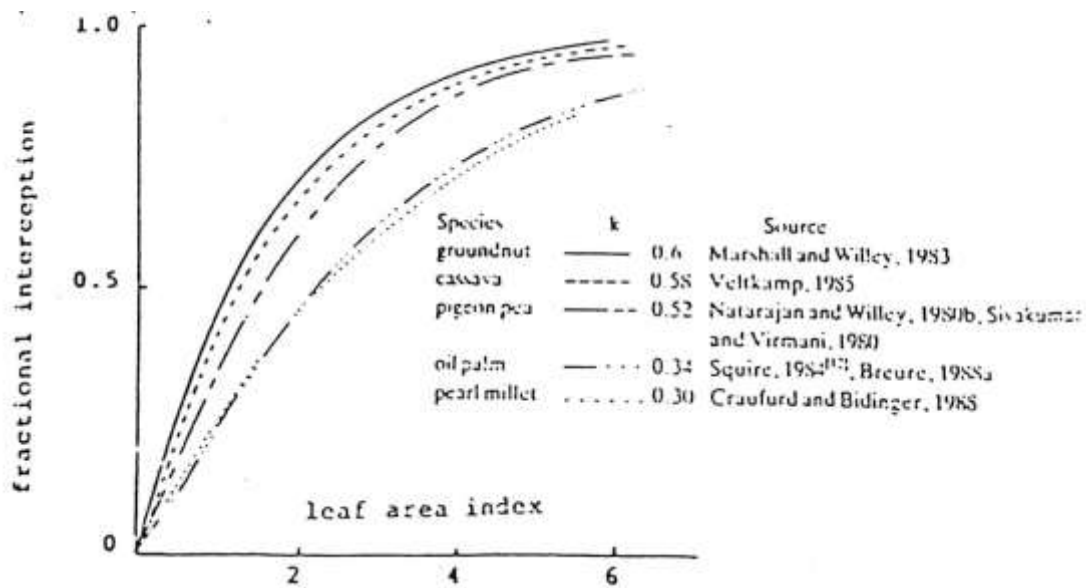
Dimana k adalah koefisien pepadaman. Fraksi radiasi yang diintersep oleh daun ($1 - I/I_o = f$) akan meningkat dengan semakin besarnya nilai k . Nilai k dapat ditentukan secara sederhana sebagai kemiringan dari garis regresi linear $\ln(1 - I/I_o)$ terhadap L .

Nilai k tergantung pada cara pengukuran fraksi radiasi f, apakah radiasi diukur dengan sensor radiasi total ($\lambda = 0,4 - 3$ micron, FT) atau dengan sensor radiasi PAR ($\lambda = 0,4 - 0,7$ micron, FP). Hasil pengukuran tersebut dapat saling dihubungkan dengan persamaan:

$$\ln(I - FP) = 1,4 \ln(1-FT)$$

Dimana, factor 1,4 didasarkan pada pengukuran dari berbagai spesies tanaman. Nilai k ternyata tergantung pada ukuran dan arsitektur kanopi seperti diperlihatkan pada gambar 3. Nilai k total radiasi berkisar antara 0,3 – 0,45 untuk tanaman yang memiliki daun tegak (misal berbagai jenis serealina) sampai nilai 0,8 pada tanaman yang memiliki tipe daun horizontal (misal kacang tanah). Sedangkan nilai k bunga matahari mengikuti persamaan $k = 1,38 L^{-0,532}$ ($R^2=0,86$) dan berlaku untuk $0,5 < L < 4,0$.

Gambar 3.



Gambar 5 Hubungan antara indeks luas daun dengan fraksi radiasi yang diintersepsi tajuk tanaman, sesuai persamaan $f = 1 - e^{-kL}$ (Squire, 1990, dalam Impron, 2000)

III INTENSITAS CAHAYA DAN PENGGOLONGAN TANAMAN

Ditinjau dari respon tanaman terhadap intensitas cahaya menurut Bohning dan Burside (1956) maka tanaman dapat digolongkan menjadi dua kelompok yaitu : 1) tanaman yang memerlukan cahaya matahari langsung atau tanaman yang memerlukan cahaya relative tinggi (heliophyt), dan 2) tanaman yang memerlukan cahaya matahari tidak langsung atau tanaman yang memerlukan intensitas cahaya yang relative rendah (sciophyt). Bohning dan Burside (1956) meneliti lebih mendalam terhadap ke dua kelompok tanaman tersebut diatas, yang didasarkan pada kejenuhan intensitas cahaya dan titik kompensasi cahaya, dan menyimpulkan bahwa bagi tanaman yang memerlukan cahaya matahari langsung mempunyai kejenuhan terhadap intensitas cahaya berkisar antara 2.000 sd 2.500 fc (foot candle) dengan titik kompensasi yang berkisar antara 100 fc sd 150 fc.

Sedangkan untuk tanaman yang memerlukan cahaya matahari tidak langsung mempunyai kejenuhan terhadap intensitas cahaya tertinggi pada 1.000 fc dengan titik kompensasi yang berkisar pada 50 fc. Selanjutnya dikemukakan pula bahwa tidak terdapat perbedaan laju fotosintesis antara ke dua kelompok tanaman tersebut, tetapi perbedaannya terletak pada laju respirasi dan titik kompensasi.

Di dalam mempelajari toleransi tanaman terhadap intensitas cahaya dapat dipakai naungan buatan atau naungan alami. Naungan dalam hal ini sebagai pengatur masuknya intensitas cahaya matahari yang mengenai tanaman, sehingga dapat mengurangi intensitas cahaya matahari yang mengenai tanaman. Naungan yang diberikan pada tanaman tidak hanya mengurangi intensitas cahaya yang mengenai tanaman, akan tetapi naungan juga dapat menyebabkan terjadinya perubahan kualitas cahaya (komposisi cahaya) yang mengenai tanaman, sehingga respon tanaman terhadap naungan tergantung pada tingkat naungan yang terjadi. Selanjutnya berdasarkan adaptasi tanaman terhadap naungan, maka Smith (1981) menggolongkan tanaman menjadi dua tipe yaitu:

- 1) Tanaman yang menghindari naungan (shade avoiderrrrs) menunjukkan respon terhadap naungan dengan pertumbuhan yang ekstrim dengan mengutangi

percabangan, luas daun, dan ketebalan daun, serta meningkatkan luas spesifik daun (SLA atau specific leaf area) sebagai akibat menurunnya ketebalan daun.

- 2) Tanaman yang tahan terhadap naungan (shade tolerance) yaitu tanaman yang sedikit atau tidak mengalami stimulasi pertumbuhan (kadang-kadang menghambat), meningkatkan luas daun, ketebalan dan luas daun spesifik sebagai akibat dari peningkatan luas daun yang dapat meningkatkan kandungan klorofil.

Sedangkan menurut Loach (1967) menunjukkan bahwa toleransi tanaman terhadap cahaya (naungan) yang dihubungkan dengan pertumbuhan tanaman, maka tanaman dapat dikategorikan menjadi lima kelompok yaitu : (1) tanaman yang sangat toleran (2) tanaman yang toleran, (3) tanaman intermediate, (4) tanaman yang tidak toleran, dan (5) tanaman yang sangat tidak toleran.

Pada dasarnya penggolongan tanaman menurut Loach (1967) sesuai dengan penggolongan Bohning dan Burside (1956), hanya saja antara tanaman yang toleran dengan tanaman yang tidak toleran terhadap naungan terdapat satu kelompok tanaman lagi yaitu tanaman yang bersifat intermediate yang merupakan peralihan antara tanaman yang toleran dengan tanaman yang tidak toleran. Selain pembagian tanaman seperti yang disebutkan di atas Kuroiwa (1964 dalam Leopold dan Kriedeman, 1975) memberikan suatu batasan untuk menentukan apakah suatu jenis tanaman termasuk tanaman yang toleran atau tidak terhadap intensitas rendah (naungan) yang didasarkan atas rasio antara bagian tanaman yang melakukan fotosintesis dengan bagian tanaman yang tidak berfotosintesis (rasio antara daun dengan bagian tanaman yang lainnya) yang diberi simbol δ . Nilai δ merupakan petunjuk untuk menentukan toleransi tanaman terhadap intensitas cahaya rendah (naungan), sehingga tingkat toleransi tanaman terhadap intensitas cahaya rendah (naungan) tergantung dari δ , dimana nilai δ biasanya < 1 . Selanjutnya, dikatakan bahwa tanaman yang toleran terhadap intensitas cahaya rendah (naungan) mempunyai nilai δ yang konstan selama pertumbuhan tanaman tidak tergantung pada umur tanaman atau penambahan berat kering tanaman .

Sebaliknya, tanaman yang tidak toleran terhadap intensitas cahaya rendah (naungan) mempunyai nilai δ yang makin kecil dengan makin meningkatnya umur tanaman atau berat kering tanaman sampai pertumbuhan daun yang maksimal. Cara lain yang dipakai untuk mengetahui toleransi tanaman terhadap intensitas cahaya rendah (naungan) yaitu dengan analisis pertumbuhan tanaman, terutama LAR atau leaf area ratio atau rasio luas daun dengan berat kering total tanaman) dapat dipakai untuk mengkategorikan tanaman yang toleran terhadap intensitas cahaya rendah (naungan). Tanaman yang toleran terhadap intensitas cahaya rendah menunjukkan perubahan yang menyolok terhadap nilai LAR dan spontan terutama peningkatan luas daun apabila terjadi penurunan intensitas cahaya (naungan), dan sebaliknya pada tanaman yang tidak toleran perubahan relative kecil.

3.1 Struktur Kanopi dan Intersepsi Cahaya

Langkah pertama dari fotosintesis adalah intersepsi dan penyerapan foton oleh daun tanaman. Intersepsi cahaya bervariasi berdasarkan ukuran, sudut orientasi dan sifat permukaan dari organ fotosintesis, dan juga dipengaruhi oleh perubahan dari susunan jaringan fotosintesis didalam organ yang bersangkutan.

Tanaman yang hidup pada lingkungan cahaya yang rendah dapat meningkatkan intersepsi cahaya dengan memproduksi daun yang lebih besar. Bahkan ukuran daun ini dapat berubah pada satu individu tanaman, dimana daun-daun yang berukuran kecil yang diproduksi di bagian atas tanaman yang mendapatkan cahaya tinggi dan daun-daun yang berukuran yang lebih besar yang diproduksi dibagian bawah tanaman dimana cahaya yang diterima rendah. Cara lain untuk meningkatkan intersepsi cahaya adalah dengan merubah sudut berdirinya daun dan/ atau orientasi. Susunan daun di dalam kanopi yang vertikal akan meningkatkan intersepsi cahaya pada saat sudut datang matahari rendah, yaitu pada pagi atau sore hari, dan mengurangi intersepsi pada saat tengah hari ketika radiasi sangat tinggi. Susunan daun-daun yang horizontal pada kanopi tanaman akan menyebabkan intersepsi terjadi sepanjang hari, terutama pada saat tengah hari.

Banyak tanaman yang dapat merubah sudut daun dan orientasinya dengan berubahnya cahaya agar dapat meningkatkan intersepsi atau menghindari cahaya yang

berlebihan. Respon yang diberikan tanaman terhadap cahaya ini skala waktunya sangat kecil, hanya 6 menit untuk tanaman *Oxalis oregano*, dan 20 menit untuk tanaman *Omalanthus novo-guinensis*. Ke dua tanaman ini merubah sudut kedudukan daunnya dari horizontal menjadi vertikal ketika cahaya meningkat.

Cara lain untuk mengatur penangkapan cahaya ini adalah dengan merubah sifat permukaan daun. Banyak tanaman yang tumbuh pada lingkungan cahaya yang tinggi meningkatkan daya pantul dan daunnya dengan menutup permukaan daun dengan rambut-rambut halus, atau wax atau kristal garam.

Selain faktor-faktor di luar daun yang dibahas di atas, faktor-faktor di dalam daun juga dapat berubah untuk adaptasi yang dilakukan tanaman.

Perubahan-perubahan ini dapat terjadi di sel-sel epidermis daun, atau bisa juga melalui berubahnya densitas dan posisi klorofil di dalam daun, sehingga kapasitas fotosintesis berubah.

Struktur kanopi akan menentukan lingkungan mikro disekitar tanaman, seperti kerapatan fluks radiasi, suhu udara, suhu tanah, tekanan uap air, suhu daun, kecepatan angin, dan intersepsi curah hujan. Sehingga secara keseluruhan struktur kanopi mempunyai pengaruh yang sangat besar terhadap pertukaran massa dan energy antara tanaman dan lingkungannya. Setiap komunitas tanaman mempunyai pola struktur kanopi yang unik, sehingga penyerapan PAR akan unik juga.

PAR yang terdapat pada setiap lapisan kanopi merupakan factor utama yang menentukan laju asimilasi CO₂ setiap lembar daun di dalam lapisan tersebut. Besarnya ditentukan oleh distribusi PAR di dalam kanopi dan total PAR yang diserap oleh seluruh kanopi tanaman. Secara kuantitatif, struktur kanopi dapat dijelaskan oleh LAI dan koefisien penyinaran cahaya di dalam kanopi (extinction coefficient, *k*). Monsi dan Saeki (1953 dalam June, 2000) menemukan hubungan antara LAI, *k* dan intersepsi cahaya sebagai berikut :

$$\ln \frac{I_1}{I} = kLAI \quad (1)$$

dimana $\frac{I_1}{I}$ adalah bagian dari radiasi yang diintersep oleh lapisan kanopi dengan LAI tertentu. Kalau persamaan ini digunakan pada suatu kanopi tanaman, maka

hubungan linier regresi antara $\ln \frac{I_1}{I}$ dengan kumulatif LAI akan menghasilkan suatu garis lurus dengan gradient k.

Persamaan ini dapat menjelaskan secara baik pola penetrasi radiasi ke dalam kanopi tanaman. Nilai k yang diperoleh dapat digunakan untuk membandingkan pola intersepsi radiasi antar kultivar, jenis, lingkungan dan pola penanaman.

Nilai k tanaman sangat erat hubungannya dengan sudut tegaknya daun, dan penyebaran daun di dalam kanopi. Daun-daun yang mempunyai sudut yang tinggi (daun-daun vertical) akan mempunyai nilai k yang rendah, misalnya tanaman gladiol, gandum, barley; (daun-daun horizontal), seperti bunga matahari, mentimun, dan clover, akan mempunyai nilai k yang tinggi. Tanaman yang kanopinya mempunyai nilai k yang tinggi ($> 0,9$), cahaya matahari akan terkonsentrasi di lapisan atas kanopi dan tidak banyak yang diteruskan ke lapisan di bawahnya. Akibatnya cahaya matahari (tengah hari misalnya) yang tertangkap oleh lapisan atas kanopi sangat tinggi dan menyebabkan daun-daun pada lapisan ini menjadi jenuh cahaya dan efisiensi penggunaan cahayanya menurun, sedang lapisan dibawahnya menjadi kekurangan cahaya. Secara keseluruhan tanaman dengan nilai k yang tinggi tidak efisien dalam penggunaan cahayanya. Sebaliknya tanaman yang mempunyai nilai k yang rendah ($< 0,5$) dapat mendistribusikan cahaya matahari dengan lebih merata ke seluruh lapisan kanopi, sehingga kanopi akan dapat bekerja dengan lebih efisien. Tanaman telah melakukan penyesuaian terhadap bentuk penyebaran dan posisi daunnya (nilai k) dengan jumlah maksimum LAI nya, dengan adanya istilah LAI critical (LAI_{crit}). LAI_{crit} adalah LAI tanaman dimana intersepsi maksimum tercapai dan laju pertumbuhan tanaman mencapai tingkat maksimumnya.

Setiap jenis tanaman mempunyai nilai LAI_{crit} yang unik dengan sebaran variasi yang tidak nyata, akan tetapi terdapat perbedaan yang besar antar tanaman. Tanaman clover misalnya mempunyai $LAI_{crit} = 2$, sedangkan tanaman gandum mempunyai $LAI_{crit} = 4 - 9$

Struktur kanopi yang bagaimanakah yang paling baik bagi produktivitas tanaman. Yaitu kanopi yang dapat memaksimumkan LAI_{crit} -nya dan secara bersamaan dapat meningkatkan laju fotosintesis dan pertumbuhannya. Struktur kanopi

yang optimum tergantung kepada : (1) fase pertumbuhan tanaman dan (2) tingkat intensitas cahaya yang jatuh di permukaan kanopi. Kanopi yang daun-daunnya vertikal (k kecil) akan menjadi tidak efisien dalam intersepsi cahaya dibandingkan dengan kanopi yang daun-daunnya horizontal (k besar) pada awal pertumbuhan tanaman dimana LAI masih sangat rendah. Pada kondisi intensitas yang rendah sampai sedang, kanopi dengan daun horizontal akan lebih baik dalam intersepsi cahaya. Kesimpulannya, struktur kanopi yang optimum adalah kanopi yang dapat merubah posisi daun-daunnya dari horizontal di awal pertumbuhan ke posisi vertical di waktu dewasa, seperti yang terjadi pada beberapa jenis sereal dari daerah temperate.

3.2 Biomassa dan Intersepsi Cahaya

Cahaya matahari berhubungan erat dengan produktivitas pertanian melalui produksi biomassa dan alokasi asimilat ke bagian yang di panen. Biomassa tanaman di hasilkan dari proses fotosintesa, tetapi jumlahnya lebih kecil dari total asimilasi karbon karena tingginya kehilangan dari respirasi. Karbon yang hilang melalui proses respirasi merupakan bagian dari fotosintesa yang proporsinya konstan. Oleh karena itu variasi di dalam fotosintesa kanopi sudah cukup baik untuk menggambarkan variasi di dalam produksi biomassa.

Pertumbuhan tanaman merupakan hasil dari transformasi energy matahari menjadi energy kimia potensial berupa karbohidrat pada biji-bijian, umbi atau lipid pada biji-bijian yang mengandung minyak. Transformasi energy ini terjadi melalui tiga proses yaitu :

- (1) Intersepsi cahaya matahari oleh kanopi tanaman
- (2) Konversi energy cahaya matahari yang di intersep menjadi energy kimia potensial (biasanya dinyatakan dalam bentuk berat kering tanaman)
- (3) Partisi berat kering tersebut ke bagian-bagian yang bernilai ekonomis.

Berdasarkan hal diatas, maka hubungan antara produksi tanaman dengan cahaya matahari dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$TDM = Q_i E_c \quad (2)$$

Dimana TDM adalah total berat kering tanaman ($g\ m^{-2}$), Q_i adalah cahaya yang diintersep oleh tanaman (MJ) dan E_0 adalah efisiensi penggunaan cahaya, yaitu efisiensi konversi cahaya yang di intersep menjadi bahan kering tanaman ($g\ MJ^{-1}$). Efisiensi penggunaan radiasi, E_0 , nilainya dipengaruhi oleh struktur kanopi, yang secara kuantitatif dapat dinyatakan dengan LAI dan koefisien penyirnaan PAR, k (light extinction coefficient), sehingga persamaan diatas dapat ditulis kembali menjadi :

$$CGR = I_0 (1 - e^{-kLAI}) E_c \quad (3)$$

dimana CGR adalah laju pertumbuhan tanaman ($g\ m^{-2}hari^{-1}$), yaitu TDM dibagi dengan jumlah hari yang diperlukan untuk mencapai nilai TDM yang bersangkutan), I adalah PAR yang datang di permukaan kanopi ($MJ\ m^{-2}\ hari^{-1}$).

Estimasi penggunaan cahaya, E_c dapat dihitung dari fotosintesis kanopi dan intersepsi cahaya sebagai berikut :

$$E_c = \frac{A_0\gamma}{(1 - e^{-kLAI})I} \quad (4)$$

dimana A_0 adalah fotosintesis kanopi kotor (fotosintesis bersih + respirasi) per harinya ($g\ CO_2\ m^{-2}\ hari^{-1}$), γ adalah efisiensi konversi CO_2 yang diasimilasi menjadi bahan kering tanaman ($g\ TDM\ g^{-1}\ CO_2$), nilai ini dapat diturunkan dari persamaan :

$$\gamma = \frac{\left(1 - \frac{R_c}{A_c}\right)\frac{12}{44}}{C_{biom}} \quad (5)$$

Dimana R_c/A_c adalah rasio antara respirasi kanopi dengan fotosintesis kotor kanopi ($g\ g^{-1}$), $12/44$ adalah karbon yang terdapat di dalam CO_2 ($g\ C\ g^{-1}\ TDM$), C_{biom} adalah konsentrasi karbon di dalam total berat kering ($g\ C\ g^{-1}TDM$). Nilai C_{biom} ini tidak dipengaruhi oleh umur organ tanaman, jenis organ, atau faktor lingkungan seperti konsentrasi CO_2 dan suhu udara, dan nilainya berkisar pada $0,45\ g\ g^{-1}$.

Nilai ratio R_c/A_c tidak dipengaruhi oleh CO_2 dan juga suhu berkisar diantara $0,40$ dan $0,43$. Jika seluruh parameter yang konstan ini dimasukkan ke persamaan (5), maka nilai γ juga akan relative konstan pada $0,4\ g\ TDM\ g^{-1}\ CO_2$.

Dari persamaan (1) sampai (5) di atas, maka dengan mengetahui LAI, k , E_c dan A_c dari suatu pertanaman, maka estimasi produktivitas tanaman dalam bentuk biomassa dapat dilakukan.

IV RESPON TANAMAN TERHADAP INTENSITAS CAHAYA RENDAH

Dalam mempelajari respon tanaman terhadap intensitas cahaya rendah, para peneliti lebih cenderung menggunakan naungan daripada menggunakan intensitas cahaya buatan yang berasal dari penyinaran bola lampu, lebih-lebih penelitian tersebut dilakukan di lapangan berdasarkan adanya kesulitan teknis dalam memvariasi intensitas cahaya yang dibuat atau diperlukan. Penelitian mengenai pengaruh intensitas cahaya rendah (naungan) telah banyak dilakukan sampai saat ini pada berbagai jenis tanaman. Secara keseluruhan dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat ditunjukkan bahwa telah terjadi respon yang berbeda terhadap intensitas cahaya yang semakin rendah (naungan makin meningkat) seperti pada produksi, berat kering total tanaman (berat kering biologis), berat kering bagian-bagian tanaman (berat kering anakan pada jenis sereal) . penelitian –penelitian tersebut antara lain pada tanaman kacang-kacangan oleh Egera dan Jones (1977), pada tanaman kacang hijau oleh Arifin (1988), pada tanaman kentang oleh Sale (1976), Subronto,dkk.(1977) pada bibit kelapa sawit, Tenaya (1979) pada tanaman bawang putih, Nurhayati dkk. (1984) pada tanaman ubujalar, Suara (1985) pada tanaman tomat, Maghfoer (1986) pada tanaman kangkung darat, dan Sudarman (1989) pada bibit cengkeh.

Terhadap pertumbuhan vegetative, naungan menyebabkan tanaman menjadi bertambah tinggi, ruas batang bertambah panjang, akan tetapi terhadap jumlah daun, jumlah akar, dan diameter batang menurun dengan meningkatnya naungan, sedangkan helaian daun menjadi menyempit dan memanjang (Egera dan Jones,1977; Tenaya,1979).

Pengaruh naungan terhadap pertumbuhan generatif dapat diketahui dari hasil penelitian Pendleton dan Weibel (1965) pada wheat, yang mendapatkan bahwa produksi biji menurun dengan menurunnya intensitas cahaya yang mengenai tanaman (meningkatnya naungan). Pengaruh yang hamper sama juga terjadi pada tanaman jagung (Earley et al. 1986). Hasil biji yang rendah disebabkan oleh terjadinya pengurangan berat biji, panjang tongkol, diameter tongkol, dan jumlah biji per tongkol yang juga mengalami penurunan. Penaungan berat dapat menurunkan berat umbi samlai setengahnya (Nurhayati dkk. 1984)

Ditinjau dari analisis pertumbuhan tanaman, hubungan antara intensitas cahaya (naungan) dengan parameter pertumbuhan terhadap:

- 1) LAR (rasio luas daun per berat kering total tanaman)
- 2) NAR (laju fotosintesis bersih)
- 3) RGR (percepatan pertumbuhan relatif)
- 4) SLA atau SLW (luas daun per satuan berat daun).

Masing-masing parameter tersebut mempunyai hubungan yang spesifik terhadap intensitas cahaya dan tergantung pula dari spesies tanaman. Hasil penelitian Blackman dan Wilson (1951a.b.) menunjukkan adanya hubungan yang linier antara LAR, NAR dengan logaritma intensitas cahaya. Sedangkan hubungan antara RGR dengan logaritma intensitas cahaya mempunyai bentuk yang kwadratis. Akan tetapi hasil tersebut juga mendapatkan hubungan antara LAR, NAR dengan logaritma intensitas cahaya tidak selalu linier, bahkan terjadi hubungan yang logaritmik (linier dengan logaritma intensitas cahaya) Memang secara matematis apabila LAR dan NAR masing-masing mempunyai hubungan yang linier dengan logaritma intensitas cahaya maka hubungan antara RGR dengan logaritma intensitas cahaya akan menjadi kwadratis. Hubungan tersebut dapat dijabarkan dengan melihat hasil perkalian dari rumus-rumus dasarnya seperti yang diuraikan menjadi seperti : $RGR = LAR \times NAR$ (linier x linier), maka hasilnya adalah RGR akan menjadi bentuk kuadratis Blackman dan Wilson, 1951 b)

SLA yang dihubungkan dengan intensitas cahaya, belum terdapat hubungan yang pasti, sedangkan Evans (1972) cenderung menunjukkan bahwa hubungan antara SLA dengan intensitas cahaya adalah linier.

Hasil penelitian Ludlow dan Wilson (1974) menunjukkan bahwa peningkatan naungan dari 0 % (tanpa naungan) menjadi 50 % dan 66 % menyebabkan luas daun per tanaman menurun dari 8,2 dm² menjadi 6,3 dm² dan 4,6 dm² pada perlakuan seperti diatas. Terjadi hal sebaliknya dari hasil penelitian diatas yaitu pada penelitian kacang tanah dan penelitian tanaman lucerne (Egera dan Jones, 1977), yaitu terjadi peningkatan luas daun. Brouwer (1966) menyatakan bahwa apabila terjadi penurunan hasil fotosintesis, maka distribusi bahan kering ke akar akan lebih kecil dibandingkan

dengan distribusi ke bagian-bagian tanaman yang lain. Dari hasil penelitian yang lain mendapatkan bahwa rasio antara berat kering bagian di atas tanaman di atas tanah/berat kering di bawah tanah (shoot/root ratio) makin besar dengan makin meningkatnya naungan. Dari hasil penelitian Ludlow dan Wilson (1974) mendapatkan nilai shoot/root ratio sebesar 2,0 , 2,5 , dan 4,9 masing-masing tanpa naungan (0%), naungan 50 % , dan naungan 66% pada sejenis rumput, sedangkan pada siratro dengan naungan seperti di atas nilai shoot/root ratio nya sebesar 4,2 , 4,9, dan 6,2. Selanjutnya dari hasil penelitian Egera dan Jones (1977) mendapatkan nilai shoot/root ratio berkisar 2,3 3,0, dan 4,2 yang masing-masing pada naungan 43%, , dan 65 % pada tanaman lucerne.

Pada penelitian Nurhayati dkk.(1984) pada tanaman ubijalar didapatkan bahwa terjadi penurunan hasil umbi total sebesar 50 % dan berat umbi yang dapat dipasarkan menurun sebesar 40 %, dan berat kering umbi menurun sebesar 11 %, apabila terjadi penanaman sebesar 50 %. Penanaman sebesar 25 % dapat menyebabkan penurunan hasil umbi total sebesar 24 % , berat umbi yang dapat dipasarkan sebesar 42 % , berat umbi yang tidak dapat dipasarkan sebesar 10 % dan berat kering umbi belum menunjukkan penurunan bobot.

Hasil penelitian Suara (1985) pada tanaman tomat dengan tingkat naungan 0 % sampai 35%, didapatkan respon tanaman tomat terhadap naungan sangat bervariasi pada masing-masing varietas yang di teliti. Dengan meningkatnya tingkat naungan didapatkan hasil yang makin meningkat pada varietas marglope, tetapi sebaliknya varietas intan memberikan hasil yang semakin menurun dengan semakin meningkatnya tingkat naungan sampai dengan naungan 35%. Sedangkan pada varietas ronde peningkatan naungan tidak mempengaruhi hasil. Hal ini sangat bermanfaat dalam system bercocok tanaman monokultur atau sistem tumpangsari dengan tanaman tomat.

Dari hasil penelitian Maghfoer (1986) pada tanaman kangkung darat, didapatkan bahwa pemberian naungan sampai 25% tidak menurunkan hasil dibandingkan tanpa naungan. Hasil rata-rata sampai naungan 25% sekitar 2,75 – 2,85 kg/m², jika intensitas naungan ditingkatkan sampai 50% sd 75% respon tanaman

sangat menyolok dengan menurunnya hasil menjadi 2,36 kg/m² pada naungan 50% dan 1,43 kg/m² pada naungan 75%.

Hasil penelitian Arifin (1988) mendapatkan bahwa tanaman kacanghijau yang mendapatkan penaungan yang lebih rendah (25%) memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan yang mendapatkan penaungan yang lebih berat (50% sd 75%). Sedangkan penaungan yang dilakukan lebih dini yaitu tanaman yang ternaung sejak tanam hingga panen, menyebabkan hasilnya relative lebih jelek dibandingkan dengan yang mendapatkan penaungan yang lebih lambat yaitu penaungan sejak 15 hari maupun 30 hari setelah tanam hingga panen. Adapun fenomena tanaman yang terpengaruh oleh akibat penaungan adalah berat kering tanaman, luas daun, panjang tanaman, jumlah polong dan berat biji, produksi biji dan indeks panen. Berdasarkan hasil yang diperoleh menunjukkan bukti bahwa tanaman kacanghijau kurang mampu memberikan hasil yang baik apabila ditanam pada naungan, hal ini dikaidkan dengan tanaman kacanghijau sebagai sisipan dalam system tumpangsari. Sebaliknya pada tanaman kacang hijau mampu berproduksi dengan baik apabila tanaman kacanghijau mendapatkan naungan sesudah tanaman berumur lebih dari 30 hari.

V KESIMPULAN

Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa fotosintesis adalah proses utama pada tanaman. Proses ini menyediakan skeliton karbon dan energy yang dibutuhkan untuk membangun biomassa dan mensintesis berbagai produk yang digunakan oleh tanaman pada proses metabolismenya.

Fotosintesis sangat sensitive terhadap variasi ketersediaan cahaya matahari dan CO₂ yang merupakan bahan utama pada proses tersebut. Oleh karena itu fotosintesis kemudian dipengaruhi oleh factor-faktor lingkungan lain, seperti suhu dan nutrisi. Faktor lingkungan tersebut mempengaruhi pada skala waktu yang berbeda karena perubahan alamiah dari faktor itu sendiri. Sebagai contoh suhu dan radiasi matahari yang diserap oleh daun akan berfluktuasi harian, sedangkan kandungan air jaringan dan nutrisi berfluktuasi dalam waktu yang lebih lama.

Kapasitas fotosintesis tanaman berhubungan langsung dengan kemampuan tanaman menggunakan cahaya, air dan nutrisi yang sekaligus proses fotosintesis itu sendiri sebagai indikator dari kesuksesan tumbuh di suatu habitat.

Tanaman-tanaman budidaya pada umumnya sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari , terutama adanya intensitas cahaya rendah di dalam memproduksi bahan makanan atau karbohidrat..

Respon tanaman terhadap cahaya rendah (naungan) pada masing-masing tanaman tergantung pada waktu penaungan dan intensitas penaungan . Perbedaan respon setiap varietas sangat bervariasi pada satu jenis tanaman. Perbedaan ini akan tampak lebih jelas pada perbedaan jenis tanaman.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin. 1988. Pengelolaan Naungan dalam Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Kacanghijau. *Agrivita* (11) : 17 – 19.
- Arifin. 1989. Dasar-dasar Klimatologi Pertanian. Fakultas Pertanian. Universitas Brawijaya : 13 – 15
- Blackman,G.E, and G.L. Wilson. 1951a. VI. The Constancy for Different Species of A Logaritmik Relationship Between Net Assimilation Rate and Light Intensity and Its Ecological Significance. *Ann. Bot. N.S.* (15) : 64 – 93.
- Blackman,G.E., G. L. Wilson.1951b VII. An Analisis of the Different Effec ofLight Intensity on the Net Assimilation Rate of Different Spesies. *Ann. Bot N. S.* 15: 373 – 408.
- Bohning,R.H.,and C.A. Burside. 1956 The Effect of Light Intensity on Rate of Apparet Photosynthesis in Leaves of Sun and Shade Plant. *Am. J. Bot.* 43 : 557 -561.
- Brouwer,R. 1966. Root Growth of Grasses and Cereals. Dalam the Growth of GrassesnAnd Cereals, by F.H. Milthorpe, and J. D. Ivans. London, Butterworth. P. 153-165.
- Chang,Y.H. 1968. Climate and Agriculture. An Survey of Ecol. Aldine Publ CompnChicago. P. 23 – 86.
- Charles-Edward, D. A., Doley, D., and Rimmington,G.M. 1986. Modelling Plant Growth and Development. Academic Press. Sydney.
- Early, E.B., R. J. Miller, G. L. Reicher, R. H.Hageman, and R. D. Seif. 1966. Effect of Shade on Maize Production Under Field Conditions *Crop Sci.*6 : 1 – 7.
- Egera,K., and R. J. Jones. 1977. Effect of Shading on the Seedling Growth of Leguminous Shrup *Leucocephala*. *Aus. J. Exp. Agric. And Anim. Husb.* 17: 976 -981.
- Evans, G. C. 1972. The Quantitative Analysis of Plant Growth. University of *California Press*. Berkeley and Los Angeles 734 p.
- Jumin, H. B. 1989.

- Ekologi Tanaman. Suatu Pendekatan Fisiologis. Raja Wali Pres Jakarta : 5 – 9.
- Jones, H. G. 1983. *Plants and Microclimate*. Cambridge University Press.
- CambridgeImpron, 2000. *Neraca Radiasi Tanaman*. Bahan Pelatihan Dosen-Dosen Perguruan Tinggi se Jawa Bali dalam Bidang Agroklimatologi, Bogor, 14 – 26 Agustus 2000.
- Loach,K. 1967. *Shade Tolerance in Tree Seedling. I, Leaf Photosynthesis and Respiration in Plant Raised Under Artificial Shade*. *New. Phytol.*69: 273 - 286.
- Ludlow, M. M. , and G. L. Wilson. 1974. *Studies of the Productivity of Tropical Pasture Plant. V. Effect of Shading on Growth, Photosynthesis and Respiration in Two Grasses and Two Legume*. *Aus. J Agric. Res.* 25 : 415 – 423.
- Maghfoer, M. D. 1986. *Pengaruh Naungan dan Kepadatan Tanaman terhadap Pertumbuhan dan Hasil Kangkung Darat*. Tesis S2 Pasca Sarjana KPK Unibraw – UGM. Universitas Brawijaya Malang : 40 – 75. Tidak dipublikasikan.
- Newton, P. 1963 *Studies on the expansion of the leaf surface. II. The influence of Light Intensity and Daylength*. *Journal of Experimental Botany*, 14, 458
- Nurhayati, A., P. Lontoh, dan J. Koswara. 1984. *Pengaruh Intensitas dan Saat Pemberian Naungan trhadap Hasil Ubi Jalar*. *Bul. Agr* (15): 28 – 38.
- Pendleton,J. W, R. O. Weibel. 1965. *Shading Studies on Winter Wheat*.*bAgron. J.* 57: 292 -293
- Sale, P. M. 1976. *Effect of Shading at Different Time on the Growth and Yield of the Potato*. *Aust. J. Agric. Res.* 27: 237 – 281.
- Suseno, H.. 1974. *Metabolisme Dasar*. Departemen Agronomi. IPB. Bogor: 40 – 90.
- Suara, I. K. 1985. *Pengaruh Naungan terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tiga Varietas Tomat pada Dua Taraf Nitrogen*. Tesis S2 Pasca Sarjana KPK Unibraw – UGM. Universitas Brawijaya Malang: 30 – 78. Tidak dipublikasikan.

- Sudaraman. 1989. Pengaruh Taraf Naungan dan Pemulsaan terhadap Pertumbuhan Bibit Cengkeh. Tesis S2 Pasca Sarjana KPK Unibraw – UGM. Universitas Brawijaya Malang.: 30 – 78. Tidak dipublikasikan.
- Suubronto,B., Tani Putra, dan Hastardjo. 1977. Pengaruh Intensitas Cahaya Matahari terhadap Pertumbuhan Bibit Kelapa Sawit. Bull. B. P. P. Medan 8: 125 – 146.
- Tenaya, I. M. 1979. Pengaruh Naungan dan Penutup Tnh terhadap Pertumbuhan Tanaman Bawang Putih. Tesis S1 Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang: 30 – 60.
- Wang, J.W. and Ray,R. K. 1984. Agricultural and Its Environment. Prediction and Control. Kendall/Hunt Publ. Co. Iowa. Monteith, J. L. 1973. Principles of Environmental Physics. Edward Aenold. London.