

# jTEP

## JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN No. 2407-0475 E-ISSN No. 2338-8439

Vol. 6, No. 3, Desember 2018



Publikasi Resmi  
**Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia**  
(Indonesian Society of Agricultural Engineering)  
bekerjasama dengan  
**Departemen Teknik Mesin dan Biosistem - FATETA**  
Institut Pertanian Bogor



Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) terakreditasi berdasarkan SK Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Ristek Dikti Nomor I/E/KPT/2015 tanggal 21 September 2015. Selain itu, JTEP juga telah terdaftar pada Crossref dan telah memiliki Digital Object Identifier (DOI) dan telah terindeks pada ISJD, IPI, Google Scholar dan DOAJ. JTEP terbit tiga kali setahun yaitu bulan April, Agustus dan Desember, dan mulai tahun ini berisi 15 naskah untuk setiap nomornya. Peningkatan jumlah naskah pada setiap nomornya ini dimaksudkan untuk mengurangi masa tunggu dengan tidak menurunkan kualitas naskah yang dipublikasikan. Jurnal berkala ilmiah ini berkiprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Jurnal ini diterbitkan dua kali setahun baik dalam edisi cetak maupun edisi online. Penulis makalah tidak dibatasi pada anggota PERTETA tetapi terbuka bagi masyarakat umum. Lingkup makalah, antara lain meliputi teknik sumberdaya lahan dan air, alat dan mesin budidaya pertanian, lingkungan dan bangunan pertanian, energi alternatif dan elektrifikasi, ergonomika dan elektronika pertanian, teknik pengolahan pangan dan hasil pertanian, manajemen dan sistem informasi pertanian. Makalah dikelompokkan dalam invited paper yang menyajikan isu aktual nasional dan internasional, review perkembangan penelitian, atau penerapan ilmu dan teknologi, technical paper hasil penelitian, penerapan, atau diseminasi, serta research methodology berkaitan pengembangan modul, metode, prosedur, program aplikasi, dan lain sebagainya. Penulisan naskah harus mengikuti panduan penulisan seperti tercantum pada website dan naskah dikirim secara elektronik (online submission) melalui <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>.

**Penanggungjawab:**

Ketua Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia  
Ketua Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

**Dewan Redaksi:**

Ketua : Wawan Hermawan (Scopus ID: 6602716827, Institut Pertanian Bogor)  
Anggota : Asep Sapei (Institut Pertanian Bogor)  
Kudang Boro Seminar (Scopus ID: 54897890200, Institut Pertanian Bogor)  
Daniel Saputra (Scopus ID: 6507392012, Universitas Sriwijaya - Palembang)  
Bambang Purwantana (Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta)  
Yohanes Aris Purwanto (Scopus ID: 6506369700, Institut Pertanian Bogor)  
Muhammad Faiz Syuaib (Scopus ID: 55368844900, Institut Pertanian Bogor)  
Salengke (Scopus ID: 6507093353, Universitas Hasanuddin - Makassar)  
I Made Anom Sutrisna Wijaya (Scopus ID: 56530783200, Universitas Udayana - Bali)

**Redaksi Pelaksana:**

Ketua : Rokhani Hasbullah (Scopus ID: 55782905900, Institut Pertanian Bogor)  
Sekretaris : Lenny Saulia (Scopus ID: 16744818700, Institut Pertanian Bogor)  
Bendahara : Hanim Zuhrotul Amanah (Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta)  
Anggota : Dyah Wulandani (Scopus ID: 1883926600, Institut Pertanian Bogor)  
Usman Ahmad (Scopus ID: 55947981500, Institut Pertanian Bogor)  
Satyanto Krido Saptomo (Scopus ID: 6507219391, Institut Pertanian Bogor)  
Slamet Widodo (Scopus ID: 22636442900, Institut Pertanian Bogor)  
Liyantono (Scopus ID: 54906200300, Institut Pertanian Bogor)  
Administrasi : Diana Nursolehat (Institut Pertanian Bogor)

**Penerbit:** Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA) bekerjasama dengan Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

**Alamat:** Jurnal Keteknikan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus Institut Pertanian Bogor, Bogor 16680.  
Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026,  
E-mail: [jtep@ipb.ac.id](mailto:jtep@ipb.ac.id) atau [jurnaltep@yahoo.com](mailto:jurnaltep@yahoo.com)  
Website: [web.ipb.ac.id/~jtep](http://web.ipb.ac.id/~jtep) atau <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>

**Rekening:** BRI, KCP-IPB, No.0595-01-003461-50-9 a/n: Jurnal Keteknikan Pertanian

**Percetakan:** PT. Binakerta Makmur Saputra, Jakarta

---

## Ucapan Terima Kasih

Redaksi Jurnal Keteknikan Pertanian mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bebestari yang telah menelaah (*me-review*) Naskah pada penerbitan Vol. 6 No. 3 Desember 2018. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Prof.Dr.Ir. Sutrisno, M.Agr. (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Prof.Dr.Ir. Slamet Budijanto, M.Agr. (Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Institut Pertanian Bogor), Prof.Dr.Ir. Daniel Saputra, MS. (Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya), Prof.Ir. Loekas Susanto, MS., Ph.D. (Fakultas Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman), Prof.Dr.Ir. Muhammad Idrus Alhamid (Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Indonesia), Prof.Dr.Ir. Sobir, M.Si. (Departemen Agronomi dan Hortikultura (AGH), Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Bambang Susilo, M.Sc.Agr. (Program Studi Teknik Pertanian, Universitas Brawijaya), Dr. Radi, STP., M.Eng. (Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. Evi Savitri Iriani M.Si. (Balai Besar Litbang Pascapanen Pertanian), Dr.Ir. Hermantoro, MS. (Institut Pertanian Stiper (INSTIPER) Yogyakarta), Dr.Ir. Ridwan Rachmat, M.Agr. (Balai Besar Penelitian Tanaman Padi), Dr.Ir. Rokhani Hasbullah, M.Si. (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Usman Ahmad, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr. Leopold Oscar Nelwan, STP., M.Si. (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr. Slamet Widodo, STP., M.Sc. (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr. Muhamad Yulianto, ST., MT. (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr. Nora H. Pandjaitan, DEA. (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor), Dr. Chusnul Arif, STP., M.Si. (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor), Dr. Satyanto Krido Saptomo, STP, M.Si. (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor), Wilson Palelingan Aman, STP., M.Si. (Fakultas Pertanian dan Teknologi Pertanian, Universitas Negeri Papua), Andri Prima Nugroho, STP., M.Sc., Ph.D. (Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Gadjah Mada), Asna Mustofa, STP., MP. (Program Studi Teknik Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman), Diding Suhandy, S.TP., M.Agr., Ph.D. (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Lampung) Agus Ghautsum Ni'am, STP., M.Si. (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor).

---

*Technical Paper*

## **Variasi Intersepsi Cahaya dan Model Pendugaan Biomassa Tanaman Bayam Merah (*Amaranthus gangeticus*) dalam Sistem *Plant-Factory***

### *Variations of Light Interception and Biomass Prediction Model of Red Spinach (*Amaranthus gangeticus*) in Plant-Factory System*

Ardiansyah, Laboratorium. Teknik Manajemen dan Kontrol Bio-Lingkungan,  
Departemen Teknik Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman, Email: ardi.plj@gmail.com  
Eni Sumarni, Laboratorium. Teknik Manajemen dan Kontrol Bio-Lingkungan,  
Departemen Teknik Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman, Email: arny0565@gmail.com  
Sidharta Sahirman, Laboratorium. Teknik Manajemen dan Kontrol Bio-Lingkungan,  
Departemen Teknik Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman, Email: sidhartas@hotmail.com

#### **Abstract**

*Artificial lighting given in plant-factory planting system is inseparable from uniformity problem. Spatial variation in the catch of light (radiation) will occur due to the position of the plant against the lamp. The purpose of this research was; a) to determine the relationship between biomass growth and the intensity of artificial irradiation in plant-factory systems, and b) to apply the mechanical model of plant growth based on radiation interception and temperature. Six boxes containing red spinach plants were placed on plant factory system in the form of two racks (each rack is placed 3 boxes). In each box, intercepted light was measured and then converted to radiation value. The air temperature in plant-factory space was measured during growth to harvest. Observations showed that there was a difference in light interception in plant-factory growing spaces that caused variations in plant biomass growth. Mathematical models were used to predict the relationship between light interception and biomass growth. This research concludes that the variation of light occurring in plant-factory planting cannot be ignored, as this leads to markedly different plant-end biomass differences. Modeling can be applied to design optimal lighting to improve plant biomass.*

**Keywords:** *biomass growth model, heat unit, intercepted radiation, plant-factory*

#### **Abstrak**

Pencahayaan buatan yang diberikan dalam sistem penanaman dalam ruang (*plant factory*) tidak terlepas dari masalah keseragaman. Variasi spasial dalam tangkapan cahaya (radiasi) akan terjadi karena posisi tanaman terhadap lampu. Tujuan dari penelitian ini adalah; a) untuk mengetahui hubungan antara pertumbuhan biomassa dan intensitas penyinaran buatan dalam sistem *plant-factory*, dan b) menerapkan model mekanik pertumbuhan tanaman berdasarkan intersepsi radiasi dan temperatur. Enam buah kotak berisi tanaman bayam merah diletakkan pada sistem *plant factory* berupa dua buah rak (masing-masing rak ditempatkan 3 buah kotak). Pada masing-masing kotak diukur cahaya terintersepsi yang kemudian dikonversi menjadi nilai radiasi. Suhu udara dalam ruang *plant-factory* diukur selama pertumbuhan hingga panen. Pengamatan menunjukkan bahwa dalam ruang tumbuh *plant-factory* terdapat perbedaan intersepsi cahaya yang menyebabkan adanya variasi pada pertumbuhan biomassa tanaman. Model matematika digunakan untuk memprediksi hubungan antara intersepsi cahaya dan pertumbuhan biomassa. Kesimpulan menunjukkan bahwa variasi cahaya yang terjadi dalam penanaman sistem *plant-factory* tidak dapat diabaikan, karena menyebabkan terjadinya perbedaan biomassa akhir tanaman yang cukup tajam. Permodelan dapat diterapkan untuk merancang pemberian cahaya yang optimal untuk meningkatkan biomassa tanaman.

**Kata kunci :** *heat unit, model pertumbuhan biomassa, plant-factory, radiasi terintersepsi*

*Diterima: 13 November 2018; Disetujui: 12 Desember 2018*

## Latar Belakang

Perancangan *plant-factory* membutuhkan pengendalian dalam banyak hal, diantaranya parameter lingkungan mikro yang meliputi suhu, kelembaban dan radiasi matahari (Solahudin dan Nurista, 2009). Disamping itu, pengendalian EC dan pH larutan nutrisi juga diterapkan dalam menciptakan kondisi optimum untuk pertumbuhan.

*Greenhouse* dan *plant-factory* pada dasarnya mirip dalam berbagai aspek, baik teknologi maupun cara penanaman. Perbedaan mendasar hanya pada sumber cahaya yang digunakan. Permasalahan mendasar pada *greenhouse* adalah kesulitan menurunkan suhu udara pada kondisi radiasi matahari yang besar (Margiwiyatno dan Sumarni, 2011). Pendinginan temperatur udara dengan mesin pendingin, maupun pengkabutan (Sumarni, Setiawan, dan Suhardiyanto, 2007) akan membebani penggunaan energi. Masalah pencahayaan pada *plant-factory* diselesaikan dengan penggunaan pencahayaan buatan. Di sisi lain, temperatur udara pada *plant-factory* lebih mudah dikendalikan karena ruang yang relatif kecil dibandingkan *greenhouse*. Pengendalian suhu udara pada *plant-factory* dapat dilakukan dengan lebih efisien.

Penggunaan *Light Emitting Diode (LED)* sudah diperkenalkan di *plant-factory* pada akhir tahun 2000-an (Watanabe, 2011). LED diharapkan dapat menurunkan biaya penggunaan listrik karena efisiensi dalam konversi listrik ke cahaya. Disamping itu, spektrum cahaya LED lebih mudah untuk dirancang agar sesuai dengan kebutuhan (Goto 2012). Selain LED, penggunaan lampu *fluorescent* juga sering digunakan dalam *plant-factory* (Yorio *et al.* 2001). Lampu *fluorescent* sering dikenal dengan lampu TL atau *CWF (Cool-White Fluorescent)*. Selama ini sebaran cahaya dalam *plant-factory* tidak terlalu diperhatikan pengaruhnya ke biomassa tanaman karena selalu dianggap seragam. Namun belum diketahui apakah perbedaan pencahayaan yang sangat kecil akan berpengaruh ke perbedaan biomassa.

Model pertumbuhan yang membahas pertumbuhan tanaman dengan intensitas radiasi

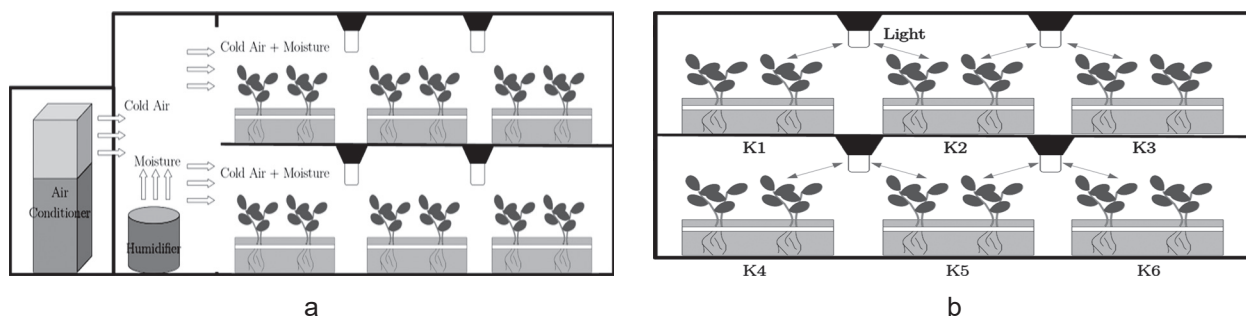
normal bagi tanaman sudah banyak dibahas (McAvoy *et al.*, 1988; Stanghellini dan de Jong, 1995; Peart dan Shoup, 1997; Maruyama *et al.*, 2007). Namun pertumbuhan tanaman dengan intensitas radiasi rendah dan pengaruhnya terhadap perbedaan biomassa perlu pengkajian lebih lanjut. Pendekatan model dan eksperimen untuk mengetahui fenomena tersebut juga belum banyak disinggung dalam penelitian tentang *plant-factory*

Tujuan dari penelitian ini adalah; 1) untuk mengetahui hubungan antara pertumbuhan biomassa dan intensitas penyinaran buatan dalam sistem *plant factory*, dan 2) menerapkan model mekanistik pertumbuhan tanaman berdasarkan intersepsi radiasi dan temperature.

## Metode Penelitian

Enam buah kotak (K1, K2, K3, K4, K5, dan K6) berisi tanaman bayam merah diletakkan pada sistem *plant factory* berupa dua buah rak (masing-masing rak ditempatkan 3 buah kotak). Posisi lampu diletakkan secara menyilang. Pada siang hari pencahayaan buatan diberikan pada tanaman (Gambar 1), sedangkan pada malam hari lampu dimatikan. Pengaruh cahaya tidak langsung yang diperoleh dari luar jendela diabaikan karena tutup pada rak tanaman. Skema rak tanaman dapat dilihat pada Gambar 1

K1 hingga K6 tidak mewakili perlakuan cahaya khusus yang diberikan, namun mewakili besar cahaya yang diterima oleh masing-masing kotak, relatif terhadap lampu. Penerimaan cahaya dari tiap kotak diukur menggunakan luxmeter yang dikalibrasi dengan piranometer. Penerimaan cahaya dari masing-masing kotak dinyatakan sebagai pengamatan K1, K2, K3, K4, K5, dan K6. Suhu dan kelembaban yang diberikan disesuaikan dengan kebutuhan tanaman bayam. Mesin pendingin *portable* dengan pengaturan otomatis digunakan untuk menurunkan temperatur sekaligus kelembaban dalam ruang rak tanaman. Nilai stabil dari temperatur dan kelembaban relatif masing-masing adalah 20°C dan 70%. Variabel yang diukur



Gambar 1. Skema Pelaksanaan Penelitian, a) Pengaturan Suhu, Kelembaban, dan Cahaya di *Plant-Factory*. b) Penerimaan Cahaya pada K1-K6

meliputi : Hari Setelah Tanam (HST), Intensitas cahaya pada atas kanopi ( $Q_{top}$ ) dan bawah kanopi ( $Q_{bot}$ ), temperatur udara ( $T_a$ ), biomassa akhir tanaman ( $W$ ) dan luas daun.

Pengukuran  $Q_{top}$  dan  $Q_{bot}$  dilakukan dengan menggunakan luxmeter, yang dikalibrasi ke besaran radiasi.  $T_a$  diukur menggunakan sensor suhu, sedangkan luas daun didekati dengan metode *image processing*.

**Model Pertumbuhan Tanaman**

Berdasarkan teori pertumbuhan, dalam kondisi normal tanpa stress air (kekurangan air), biomassa potensial merupakan konversi langsung dari nilai radiasi yang terintersepsi oleh tanaman dan dipengaruhi oleh temperatur lingkungan (Gambar 2) . Radiasi yang terintersepsi akan digunakan untuk proses fotosintesis, sementara temperatur akan mempengaruhi pengambilan  $CO_2$  oleh daun, melalui pembukaan stomata. Peningkatan temperatur akan meningkatkan pembukaan stomata dan memungkinkan lebih banyak  $CO_2$  terdifusi ke dalam daun (Stalfelt, 1962; Schulze *et al.*, 1973; Urban *et al.*, 2017).

Setiap tahap pertumbuhan (fase) memerlukan akumulasi panas minimum (Murakami 1973; Marques *et al.* 2014; Yuliawan dan Handoko 2016). Jika tanaman mendapatkan akumulasi panas lebih kecil dari yang dibutuhkan, tanaman tersebut memerlukan waktu yang lebih lama untuk menyelesaikan fase tersebut.

Fase-fase pertumbuhan dan perkembangan tanaman terjadi menurut konsep “*Thermal Unit (TU)*” (Parthasarathi, Velu, dan Jeyakumar 2013). Konsep tersebut menjelaskan bahwa pada tiap fase perkembangan tanaman diperlukan sejumlah unit (akumulasi) termal (TU, °C day) agar dapat berlanjut ke fase selanjutnya. Singkatnya, tanaman merekam temperatur lingkungannya setiap hari dan menjumlahkan rata-rata harian temperatur yang diterimanya hingga mencukupi untuk pindah ke fase berikutnya.

Produksi biomassa potensial ( $dW$ ) dirumuskan dengan persamaan (Handoko 1994; Sihombing 2006) :

$$dW = \epsilon \cdot Q_{intercept} \tag{1}$$

$\epsilon = 25g MJ^{-1}$  adalah efisiensi konversi radiasi ke biomassa. Radiasi terintersepsi ( $Q_{intercept}$ ,  $MJ.m^{-2}$ ) dihitung berdasarkan persamaan :

$$Q_{intercept} = (1 - T) \cdot Q_s \tag{2}$$

$$T = e^{-k \cdot LAI} \tag{2b}$$

Dimana  $T$  adalah proporsi radiasi yang ditransmisikan dibawah kanopi (Persamaan 2b) dan  $Q_s$  = radiasi surya harian ( $MJ.m^{-2}$ )

Pertumbuhan biomassa pada Persamaan 1

kemudian dialokasikan ke bagian-bagian tanaman dengan proporsi yang berbeda pada tiap fase perkembangan tanaman. Perhitungan alokasi biomassa ini dapat dilihat pada Persamaan 3 (Sihombing 2006; Dewanto 2015).

$$dW_x = \eta_x dW - R_g - R_m \tag{3}$$

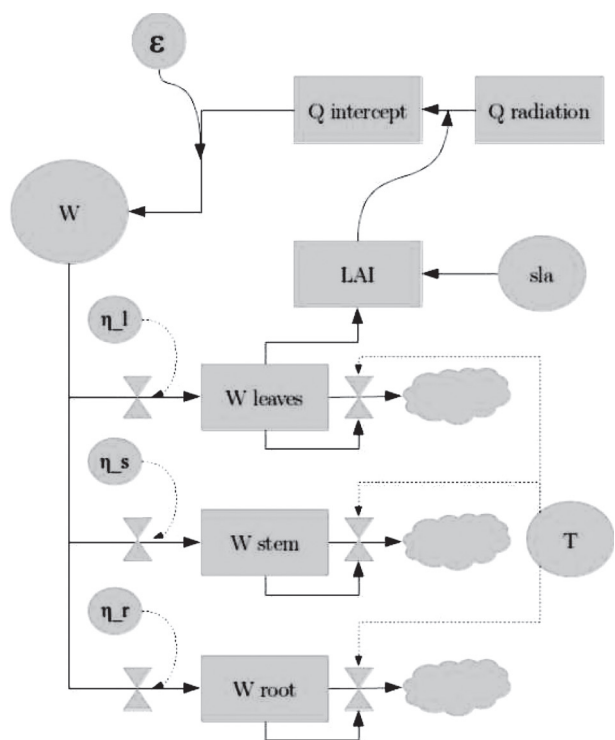
$dW_x$  = penambahan massa organ x ( $gm^{-2}$ ), dan  $\eta_x$  = proporsi biomassa yang dialokasikan ke organ x (akar, batang, atau daun). Respirasi pertumbuhan ( $R_g$ ,  $gm^{-2}$ ) dan respirasi pemeliharaan ( $R_m$ ,  $gm^{-2}$ ) dianggap mengurangi pertumbuhan biomassa, sehingga dikurangkan dari proporsi biomassa organ x. Persamaan 4 dan Persamaan 5 digunakan untuk menghitung  $R_g$  dan  $R_m$

$$R_g = k_g \cdot \eta_x \cdot dW \tag{4}$$

$$R_m = k_m \cdot W_x \cdot Q_{10} \tag{5}$$

$k_g$  = koefisien respirasi pertumbuhan yaitu sebesar 0.0108, dan  $k_m$  = koefisien respirasi pemeliharaan, yaitu sebesar 0.13.  $W_x$  = biomassa tanaman pada saat penghitungan ( $g$ ),  $Q_{10}$  dinyatakan sebagai Persamaan 5b:

$$Q_{10} = \left( \frac{K_2}{K_1} \right)^{\frac{10}{(T_2 - T_1)}} \tag{5b}$$



Gambar 2. Bagan Konsep Pertumbuhan dan Perkembangan Biomassa.

Tabel 1. Parameter Input Simulasi Pertumbuhan dan Perkembangan Tanaman.

Parameter Input	Nilai	Satuan
<i>Specific Leaf Area (SLA) Initial</i>	0.01	m <sup>2</sup> /g
Efisiensi penggunaan radiasi surya	10	g/MJ
<i>Potential length of day</i>	12	Hour
<i>Base Temperature</i>	10	°C
sp1	0.16	
sp2	0.17	
sp3	0.11	
sp4	0.36	
TU1	160	°C day
TU2	170	°C day
TU3	110	°C day
TU4	360	°C day
TUpanen	800	°C day
km	0.01	
kg	0.13	

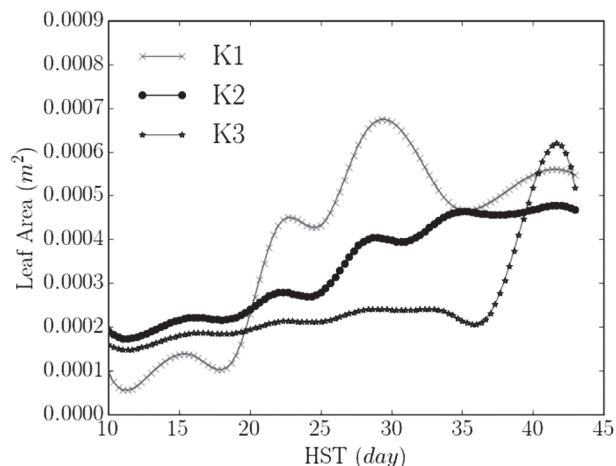
Selanjutnya  $Q_{10}$  dinyatakan sebagai Persamaan 6:

$$Q_{10} = 2^{\frac{10}{T-20}} \tag{6}$$

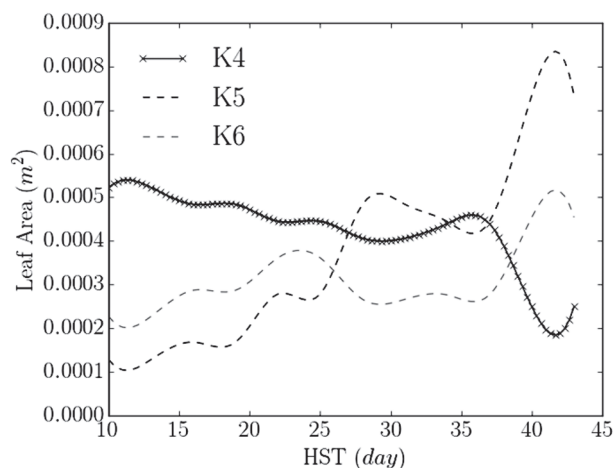
Perkembangan tanaman menentukan pembagian hasil fotosintesis pada model pertumbuhan berdasarkan proporsi biomassa pada tiap bagian (organ) tanaman. Tiap fase perkembangan memiliki fraksi pembagian sendiri yang bisa berbeda dengan fase lainnya. Perpindahan dari suatu fase ke fase lain bergantung pada ketercapaian  $TU$  untuk fase tersebut (konsep akumulasi panas). Dalam kondisi panas yang tidak cukup, diperlukan waktu lebih lama bagi tanaman untuk menyelesaikan sebuah fase.

Persamaan-persamaan tersebut membentuk model pertumbuhan biomassa tanaman yang dapat disimulasikan melalui program komputer. Penelitian ini menggunakan pemrograman bahasa Python yang dijalankan pada sistem operasi Linux. Parameter input yang digunakan dalam simulasi ditunjukkan pada Tabel 1.

Input berupa data *time series* (berdasarkan HST) untuk K1 hingga K6 berbeda. Data-data tersebut meliputi radiasi di atas tajuk tanaman ( $Q_{top}$ ), radiasi di bawah tajuk tanaman ( $Q_{bot}$ ) dan temperatur udara ( $T_a$ ).



Gambar 3. Pertumbuhan Luas Daun pada Kotak 1, 2, dan 3.



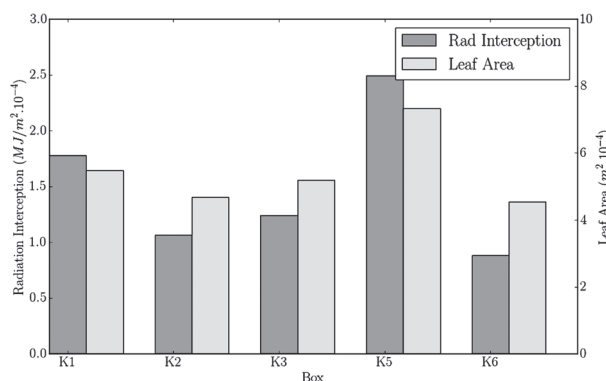
Gambar 4. Pertumbuhan Luas Daun pada Kotak 4, 5, dan 6.

### Hasil dan Pembahasan

#### Pertumbuhan Luas Daun dan Radiasi Terintersepsi

Grafik pertumbuhan luas daun pada masing-masing kotak dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4. Gradien tertinggi menunjukkan perkembangan luas daun yang paling cepat. Nilai gradien tertinggi terlihat pada K5.

Hubungan antara intersepsi cahaya pada tanaman ditunjukkan dengan laju pertumbuhan luas daun dalam observasi ditentukan memiliki keterkaitan. Semakin banyak radiasi yang diserap, semakin besar nilai biomassa total tanaman yang timbul.



Gambar 5. Luas Daun dan Radiasi Terintersepsi

Tabel 2. Proporsi Biomassa ke Organ Tanaman pada Tiap Fase Pertumbuhan

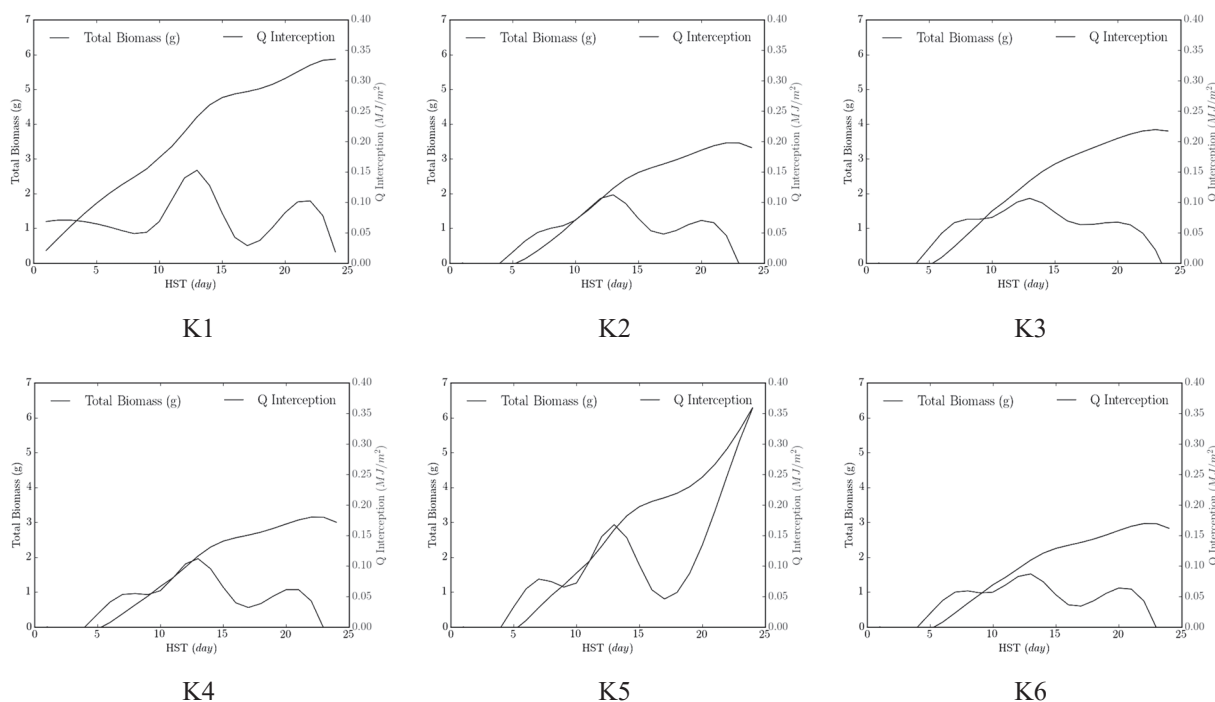
Persamaan Fraksi Biomassa			
	Akar	Batang	Daun
Fase 1	$\eta_a = 0.29 * e^{(-3.21*sp)}$	$\eta_b = 0.12 * e^{(3.68*sp)}$	$\eta_d = 0.2187 * e^{(-2.65*sp)}$
Fase 2	$\eta_a = 0.18 * e^{(-1.19*sp)}$	$\eta_b = -0.22 * e^{(-2.65*sp)}$	$\eta_d = 0.2187 * e^{(-2.65*sp)}$
Fase 3	$\eta_a = -0.70 * sp + 0.54$	$\eta_b = 0.28 * sp + 0.0053$	$\eta_d = (-0.70 * sp) + 0.54$
Fase 4	$\eta_a = -0.27 * sp + 0.34$	$\eta_b = -0.24 * sp + 0.25$	$\eta_d = (-0.27 * sp) + 0.34$

Gambar 5 menunjukkan radiasi terintersepsi ( $Q_{intrcpt}$ ) dengan luas daun rata-rata tanaman untuk setiap kotak. Terdapat kesesuaian antara jumlah energi radiasi yang terintersepsi dengan luas daun. Radiasi yang jatuh pada tanaman lebih banyak ditangkap oleh tanaman dengan luas daun yang lebih besar. Semakin besar luas daun, semakin banyak pula radiasi terintersepsi. Sebaliknya, luas daun yang lebih kecil akan menurunkan radiasi terintersepsi. Penurunan tersebut bersifat eksponensial. Pilau *et al.* (2015) menyatakan bahwa efisiensi radiasi juga akan menurun. Persamaan (1) dan (2) menggambarkan hubungan keduanya. Pada Gambar 5, K3 dan K6 menunjukkan perbedaan yang relatif besar antara luas daun dan  $Q_{intrcpt}$ . Mengacu pada Gambar 3 dan Gambar 4, tampak bahwa hal tersebut terjadi karena laju pertumbuhan luas daun yang lambat pada K3 dan K6, sehingga radiasi yang datang diintersepsikan oleh daun dalam jumlah yang relatif sedikit.

**Biomassa Tanaman Hasil Permodelan**

Pengamatan terhadap biomassa tanaman selama pertumbuhan mendapatkan persamaan fraksi alokasi biomassa ke organ-organ tanaman. Alokasi tersebut jika dipisahkan menurut fase pertumbuhan akan menghasilkan tren seperti pada Tabel 2. Fase 1 (awal tanam) ditandai dengan pertumbuhan yang lambat. Fase 2 (vegetatif) menggambarkan ada peningkatan terhadap biomassa keseluruhan tanaman dan ditandai dengan peningkatan kebutuhan air. Fase 3 (generatif) dan Fase 4 (pematangan). Penelitian ini hanya mengevaluasi tanaman hingga fase vegetatif, dimana tanaman seharusnya dipanen daunnya untuk konsumsi.

Simulasi menggunakan model pertumbuhan dan perkembangan tanaman menunjukkan hasil pertumbuhan seperti pada Gambar 6. Grafik menunjukkan pola intersepsi cahaya pada tiap kotak pengamatan K1 hingga K6. Total intersepsi cahaya yang diterima tanaman selama pertumbuhan dan

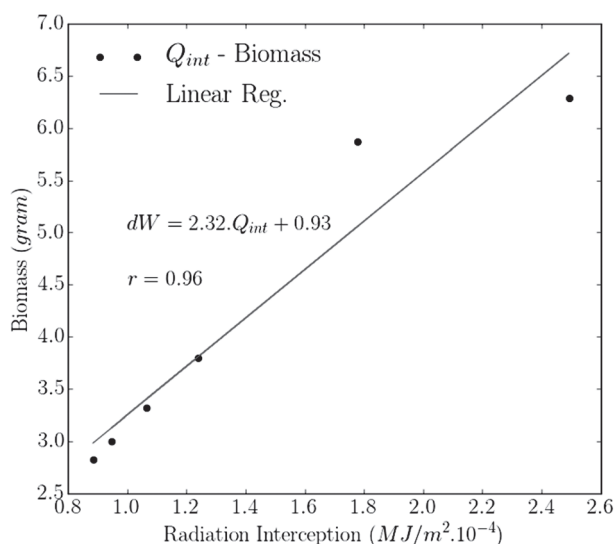


Gambar 6. Simulasi Perkembangan Biomassa dan Radiasi Terintersepsi

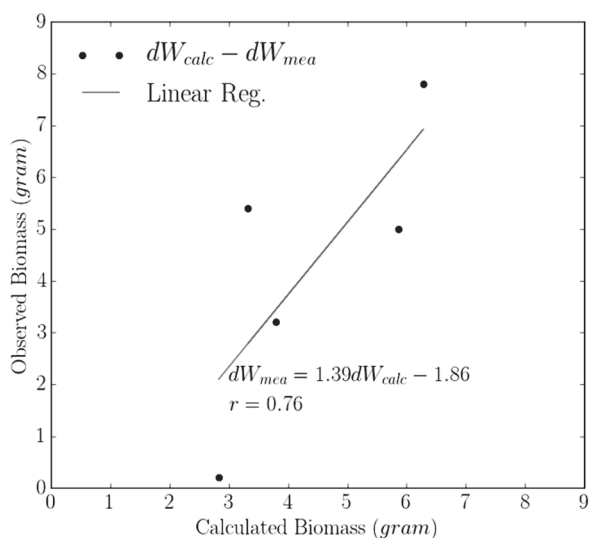


pengaruhnya terhadap biomassa ditunjukkan pada Gambar 7. Pengaruh ini merupakan pengaruh linier. Peningkatan intersepsi cahaya akan meningkatkan total biomassa yang terbentuk pada akhir masa pertumbuhan.

Pengamatan K1 dan K5 menunjukkan biomassa yang lebih besar dibanding lainnya. Total radiasi yang diterima oleh tanaman pada pengamatan K1 dan K5 masing-masing sebesar 1.8 MJ/musim dan 2.5 MJ/musim, lebih besar dibandingkan pengamatan K2, K3, K4, dan K6, yang masing-masing sebesar (MJ/musim) 1.1, 1.2, 0.9 dan 0.9. Variasi spasial ini ditentukan kedekatan kotak pengamatan ke lampu penerangan. Terdapat kesesuaian antara biomassa organ-organ tanaman hasil prediksi model dan observasi (Gambar 8). Kesesuaian ini mengkonfirmasi pentingnya parameter cahaya (radiasi) pada lingkungan mikro tanaman. Penggunaan air, meskipun hal yang penting mempengaruhi biomassa tanaman, tidak



Gambar 7. Simulasi Radiasi Terintersepsi dan Biomassa



Gambar 8. Perbandingan Biomassa Akhir Tanaman Hasil Perhitungan dan Pengamatan

menjadi pertimbangan dalam *plant factory*. Alasan utamanya adalah sistem irigasi yang ada pada *plant factory* menyediakan air dalam jumlah yang cukup sehingga tanaman tidak berada dalam kondisi stress. Meskipun demikian, transpirasi yang juga sebagai indikator terjadinya fotosintesis, dikendalikan oleh faktor eksternal berupa kelembaban udara di sekitar daun dan pembukaan stomata.

## Simpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa variasi cahaya, yang diakibatkan oleh posisi lampu menjadi faktor yang tidak bisa diabaikan dalam budidaya tanaman sistem *plant-factory*. Penggunaan lampu dengan penyebaran secara merata pada intensitas kecil, lebih diutamakan dibandingkan penggunaan lampu dengan penyebaran terpusat, meskipun dengan intensitas penyinaran besar.

Observasi dan hasil simulasi menunjukkan adanya pengaruh antara ketersediaan cahaya dan biomassa akhir tanaman. Pengaruh tersebut merupakan pengaruh linier, dimana semakin tinggi radiasi terintersepsi, maka akan semakin besar laju pertumbuhan dan biomassa akhir tanaman. Model pertumbuhan dan perkembangan tanaman yang diuji disini dapat dikalibrasi untuk menentukan kebutuhan penyinaran yang optimal bagi tanaman.

## Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi (Kemristekdikti) atas pendanaan penelitian ini pada tahun 2017-2018 dengan Surat Keputusan No. Kept.1632/UN23.14/PN.01.00/2018

## Daftar Pustaka

- Dewanto, R.A. 2015. Model simulasi tanaman padi Varietas Ciherang, Inpari 10, dan Inpari 13. (Skripsi) Departemen Geofisika dan Meteorologi Fakultas MIPA. IPB. Bogor. <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/75476>.
- Goto, E. 2012. Plant production in a closed plant factory with artificial lighting. *Acta Horticulturae*, 956(October):37–49. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.956.2>.
- Handoko, I. 1994. Dasar penyusunan dan aplikasi model simulasi komputer untuk pertanian. Jurusan Geofisika dan Meteorologi-IPB.
- Margiwiyatno, A., dan E. Sumarni. 2011. Modifikasi iklim mikro pada bawang merah hidroponik dalam rangka memperoleh bibit bermutu. *Jurnal Keteknik Pertanian* Vol.25(1):43-47
- Marques, B.S., A.P.P. Silva, R.S.O. Lima, E.C.R. Machado, M.F. Gonçalves, and S.J.P. Carvalho.

2014. Growth and development of sourgrass based on days or thermal units. *Planta Daninha* Vol.32(3):483–90. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582014000300003>.
- Maruyama, A., T. Kuwagata, K. Ohba, and T. Maki. 2007. Dependence of solar radiation transport in rice canopies on developmental stage. *Jarq-Japan Agricultural Research Quarterly* Vol.41(1):39–45.
- McAvoy, R.J., H.W. Janes, and G.A. Giacomelli. 1988. Development of a plant factory model: i. the organizational and operational model ii. a plant growth model: the single truss tomato crop. *Proceeding of International Symposium on Models for Plant Growth, Environmental Control and Farm Management in Protected Cultivation* 248:85–94. [http://www.actahort.org/books/248/248\\_7.htm](http://www.actahort.org/books/248/248_7.htm).
- Murakami, T. 1973. Paddy rice ripening and temperature. *Japan Agricultural Research Quarterly*. Vol.7(1):1.
- Parthasarathi, T., G. Velu, and P. Jeyakumar. 2013. Impact of crop heat units on growth and developmental physiology of future crop production: a review. *Journal of Crop Science and Technology*. Vol.2(1):2319–3395.
- Peart, R.M., and W.D. Shoup. 1997. *Agricultural Systems Modeling and Simulation*. CRC Press.
- Pilau, F.G. and L.R. Angelocci. 2015. Leaf area and solar radiation interception by orange tree top. *Bragantia*. Vol.74(4):476–82. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.0130>.
- Schulze, E.D., O.L. Lange, L. Kappen, U. Buschbom, and M. Evenari. 1973. Stomatal responses to changes in temperature at increasing water stress. *Planta* Vol.110(1):29–42. <https://doi.org/10.1007/BF00386920>.
- Sihombing, D. 2006. Model simulasi pertumbuhan dan perkembangan tanaman kentang (*Solanum tuberosum*. L). (Skripsi) Departemen Geofisika dan Meteorologi Fakultas MIPA. IPB. Bogor. <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/9338>.
- Solahudin, M. dan R. Nurista. 2009. Pengembangan sistem pemantauan dan peringatan dini parameter lingkungan mikro dalam rumah kaca berdasarkan pendekatan logika fuzzy berbasis teknologi *Short Message Services* (SMS). *Jurnal Keteknikan Pertanian* Vol. 23(2):99-104
- Stålfelt, M.G. 1962. The effect of temperature on opening of the stomatal cells. *Physiologia Plantarum* Vol.15(4):772–79. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08126.x>.
- Stanghellini, C., and T.D. Jong. 1995. A model of humidity and its applications in a greenhouse. *Agricultural and Forest Meteorology*. Vol.76(2):129–48. [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(95\)02220-R](https://doi.org/10.1016/0168-1923(95)02220-R).
- Sumarni, E., B.I. Setiawan dan H. Suhardiyanto. 2007. Analisis kesalahan perhitungan laju aliran udara pada pendinginan rumah tanaman dengan sistem pengkabutan. *Jurnal Keteknikan Pertanian* Vol.1(1):99-104
- Urban, J., M.W. Ingwers, M.A. McGuire, and R.O. Teskey. 2017. Increase in leaf temperature opens stomata and decouples net photosynthesis from stomatal conductance in *Pinus Taeda* and *Populus Deltoides* X *Nigra*. *Journal of Experimental Botany* Vol.68(7): 1757–67. <https://doi.org/10.1093/jxb/erx052>.
- Watanabe, H. 2011. Light-controlled plant cultivation system in Japan - development of a vegetable factory using leds as a light source for plants. *Acta Horticulturae*, No. 907(September):37–44. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.907.2>.
- Yorio, N.C., G.D. Goins, H. R. Kagie, R.M. Wheeler, and J.C. Sager. 2001. Improving spinach, radish, and lettuce growth under red light-emitting diodes (Leds) with blue light supplementation. *HortScience*. Vol.36 (2):380–83.
- Yuliawan, T., and I. Handoko. 2016. The effect of temperature rise to rice crop yield in Indonesia uses Shierary Rice Model with Geographical Information System (GIS) Feature. *Procedia Environmental Sciences* Vol.(33):214–220.

Halaman ini sengaja dikosongkan